

MASARYKOVA UNIVERZITA

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA



Slitiny kovů

Diplomová práce

Brno 2008

Jana Nerušilová

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně s využitím literatury uvedené v seznamu.

Bc. Jana Nerušilová

V Brně, 9.května 2008

.....

Poděkování

Za odborné vedení a cenné didaktické podněty děkuji vedoucímu práce RNDr. Aleši Marečkovi, CSc.

Dále děkuji paní Laeticii Vránové-Dytrychové za čas, který mi věnovala a za možnost návštěvy Zvonařské dílny Tomášková-Dytrychová v Brodku u Přerova.

Abstract

Diplomová práce je shrnutím základních informací o vývoji zpracování kovů, jejich vlastnostech, výrobě a možnostech využití. V textu je dále zpracována výroba a stručný přehled slitin kovů. Následující kapitola podává výklad některých základních možností zpracování kovů a jejich slitin, včetně odlévání a tváření kovů. Poslední kapitola je shrnutím dostupných poznatků týkajících se historie zvonařství a technologie výroby zvonů. V závěru této kapitoly jsou stručně popsány významné české i světové zvony a zvonohry.

The thesis presents basic information on development of the usage of metals throughout the course of history, their properties, production, and possibilities of their usage. Furthermore, the thesis covers the processed production, and summary of used metal alloys. The subsequent chapter then explains some of the most basic methods of processing, and utilisation of metals and their alloys. The last chapter briefly summarises all the available information on the history of campanology, and on the production technology of bells as well. The thesis then concludes with a short description of some of the most significant Czech and foreign bells and carillons which are known and recognised throughout the whole world.

Obsah

1	ÚVOD	8
2	KOVY	9
2.1	Vývoj používání kovů.....	9
2.1.1	Zlato	9
2.1.2	Stříbro	10
2.1.3	Měď, bronz	11
2.1.4	Cín.....	12
2.1.5	Olovo	13
2.1.6	Rtuť	13
2.1.7	Železo.....	14
2.1.8	Zinek	16
2.1.9	Hliník	16
2.2	Vlastnosti kovů	17
2.2.1	Chemické vlastnosti přechodných kovů	18
2.2.2	Fyzikální vlastnosti	24
2.2.3	Mechanické vlastnosti.....	27
3	HUTNICTVÍ	28
3.1	Těžba rud, základní metody výroby kovů	28
3.1.1	Pyrometalurgické pochody	28
3.1.2	Hydrometalurgické pochody.....	28
3.1.3	Elektrometalurgické pochody	29
3.2	Průmyslová výroba nejpoužívanějších kovů	29
3.2.1	Výroba surového železa.....	29
3.2.2	Výroba mědi	32
3.2.3	Výroba cínu.....	33
3.2.4	Výroba hliníku	34
3.2.5	Výroba zinku.....	36
4	SLITINY	38
4.1	Slitiny železa.....	38
4.1.1	Ocel	38
4.1.2	Litina	41
4.1.3	Přehled významných slitin železa.....	42
4.2	Slitiny neželezných kovů	47
4.2.1	Vlastnosti	47
4.2.2	Metody výroby.....	48

4.2.3	Přehled významných slitin neželezných kovů	48
5	ZPRACOVÁNÍ KOVŮ A SLITIN	55
5.1	Slévárství	55
5.1.1	Hutní slévárství	55
5.1.2	Strojní slévárství	56
5.2	Tváření kovů	59
5.2.1	Objemové tváření	60
5.2.2	Plošné tváření	65
5.3	Prášková metalurgie	Chyba! Záložka není definována.
5.3.1	Technologie práškové metalurgie	68
6	ZVONAŘSTVÍ	71
6.1	Zvon	71
6.2	Původ zvonů, historie a vývoj zvonařství	73
6.2.1	Zvony a zvonařství ve světě	73
6.2.2	Vývoj zvonařství a historie zvonů na území Čech a Moravy	75
6.2.3	Světové zvonařství v současné době	79
6.3	Technologie tradiční výroby zvonu	80
6.3.1	Výpočty a šablona zvonu	80
6.3.2	Forma zvonu	81
6.3.3	Použitý materiál, zvonovina	83
6.3.4	Tavba kovů, odlévání a závěrečné práce	83
6.4	Technické doplňky zvonů	85
6.4.1	Srdce zvonu, bicí kladiva	85
6.4.2	Zavěšení a umístění zvonu, vyzdvihování na věž	87
6.5	Restaurování zvonů	88
6.5.1	Svařování puklého zvonu, odstranění koroze	89
6.5.2	Poškození technických doplňků zvonu	89
6.6	Zvonohry	90
6.6.1	Vznik, vývoj a konstrukce	90
6.6.2	Mobilní zvonohry	91
6.7	Významné zvony	92
6.7.1	Významné české zvony	92
6.7.2	Významné světové zvony	94
6.7.3	Významné zvonohry	96
7	ZÁVĚR	98
8	POUŽITÁ LITERATURA	99
9	PŘÍLOHY	104

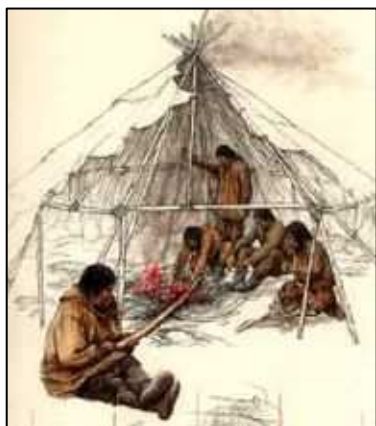
Cíl práce

Cílem mé diplomové práce je na základě dostupné literatury vyhledat informace týkající se historického vývoje zpracování kovů a současných technologií jejich výrob. Součástí této kapitoly bude výklad jejich chemických, fyzikálních a mechanických vlastností. V textu bude dále zpracován přehled slitin včetně obecných metod jejich výroby a využití. Následující kapitola podá popis nejdůležitějších možností zpracování kovů a jejich slitin. Podrobně bude popsáno zejména odlévání a tváření kovů.

V poslední kapitole bude blíže popsána jedna z možností využití slitin - odlévání zvonů. Součástí kapitoly bude nástin původu zvonů, tradiční technologie jejich výroby a přehled významných zvonů doplněný obrázky.

Text bude sloužit jako doplňkový materiál pro vyučující chemie na středních školách a studenty s větším zájmem o studium chemie. Může být vhodným materiálem pro rozšíření znalostí v oblasti technologického zpracování kovů a jejich slitin. Dále je vhodnou formou pro vytváření mezipředmětových vztahů chemie a dějepisu, ale také chemie a technologie chemických výrob, na kterou není na středních školách kladen dostatečný důraz.

1 ÚVOD



První materiály, které člověk začal využívat, byly kámen, dřevo, zvířecí kůže, kosti a hlína. Archeologické nálezy dokazují, že kámen byl opracováván nejrůznějšími technikami – například štípáním, otloukáním, později také vrtáním a broušením. Kromě nástrojů z kamene používal člověk řadu nástrojů dřevěných a kostěných, které opracovával podobnými způsoby jako kámen. Jednoduchými technikami byla také upravována kůže a zuby zvířat. Mezi pravěké znalosti patřila též práce s hlinou a výroba prvních předmětů z pálené hlíny. Archeologické nálezy z pozdější doby jsou dokladem výroby předmětů sestavených z několika součástí (například čepelky z pazourku v dřevěných násadách nebo motyky ze dřeva a kosti).



Obrázky: Štípané nástroje z pazourku, vyvrtaný polotovar sekery (neolit)

2 KOVY

2.1 Vývoj používání kovů

Kovy byly dalším materiálem, který se lidé naučili využívat. Většina vědců se shoduje, že prvním kovem, který lidé začali využívat, bylo zlato. Je nápadné svou barvou, v přírodě se vyskytuje především ryzí a lze ho snadno zpracovat. Ostatní kovy se vyskytují většinou v rudách, a proto se je člověk naučil získávat až později. Pravděpodobně tedy následovalo stříbro, později měď, cín, olovo, rtuť a železo. Teprve později, s rozvojem technických možností, poznal člověk další kovy. Příkladem je zinek, který nebylo možné získat pouhou redukcí uhlíkem při vysokých teplotách.

Objev kovů s možností jejich dalšího zpracování přinesl významný posun úrovně lidské společnosti ve všech oblastech života.

2.1.1 Zlato

Nejstarší a nejjednodušší technikou získávání zlata bylo rýžování zlatých zrněk, při němž se využívalo větší hustoty zlata ve srovnání s hlušinou. K rýžování stačila pouze dřevěná nádoba, která se zaplavila vodou se zlatonosným pískem. Lehké částice se odplavily a těžké (včetně zlata) zůstaly v nádobě. Zlato získané rýžováním sice obsahovalo příměsi, ale většinou se dále zpracovávalo, aniž by se čistilo.

Podle historických spisů Agatharchida byla technologie čištění zlata známa až ve starověkém Egyptě kolem roku 200 př. Kr. Pomleté rudy obsahující zlato se tavily v hliněné nádobě spolu s olověnými hrudkami, zrnky soli, malým množstvím cínu a ječnými otrubami. Vše se zahřívalo nepřetržitě pět dní a pět nocí, až zůstalo v nádobě jen roztavené zlato. Později se zlato získávalo amalgamací – rozdrčená ruda se třela se rtutí, vznikla slitina zlata a rtuti (amalgám). Z amalgámu se zlato získalo oddestilováním rtuti. Rtuť bylo možné znovu použít, takže její spotřeba nebyla velká.

19. století se nazývá obdobím tzv. „zlaté horečky“. Byla objevena nová ložiska zlata, zejména



Obrázek: Zlatý keltský torques

v Americe, Jižní Africe a Austrálii. V roce 1890 se začala používat nová metoda získávání zlata – kyanidové loužení. Metoda je založená na rozpouštění zlata ve vodném roztoku alkalického kyanidu.

Zlato pro svou nedostatečnou tvrdost nenašlo nikdy příliš velké uplatnění. Používalo se zejména jako platidlo a měřítko bohatství, jako surovina pro výrobu šperků, ozdob nebo k pozlacování předmětů vyrobených z jiného kovu.

2.1.2 Stříbro

Archeologové se domnívají, že stříbro bylo jedním z prvních kovů, který lidé využívali. V Malé Asii se podle historických pramenů zpracovávalo již kolem roku 2 500 př. Kr. Jiné prameny uvádějí, že ve starém Egyptě bylo stříbro známo již roku 4 000 př. Kr. Egypt ale neměl vlastní naleziště stříbra, proto se dováželo.

Stříbro se v přírodě vyskytuje ve formě rud, a proto bylo obtížnější je získat. Ve starověku (kolem roku 600 př. Kr.) se k získávání stříbra používal tzv. postup odhánění. Stříbrné rudy se tavily s přídavkem olova (olověné rudy). Vznikající tavenina stříbra a olova se v otevřených pecích povrchově oxidovala vzduchem. Vzniklý klejt (PbO) se nechal odtékat, až se objevil zřetelný lesk vrstvy kovového stříbra. Metoda byla velmi náročná a zisk malý.

V polovině 17. století se začala pro získávání stříbra používat metoda amalgamace (vhodná pro sulfidické a halogenové rudy stříbra). Rozmělněné rudy se smíchaly se síranem měďnatým, kuchyňskou solí, rtutí a vodou. Ze vzniklého amalgámu se stříbro získalo oddestilováním.

Koncem 19. století se začala používat metoda kyanidového loužení. Výroba je založena na louhování stříbra v roztoku alkalického kyanidu. Ze vzniklé komplexní sloučeniny (dikyanostříbrnan draselný, popř. sodný) se stříbro vytěsnilo zinkem.

Stříbro se, podobně jako zlato, využívalo v mincovnictví, klenotnictví, k výrobě příborů a koňských postrojů. Dnes se stříbro využívá také ve farmaceutickém, potravinářském, strojírenském a elektrotechnickém průmyslu.



Obrázek: Sestercius starověká římská mince (stříbrná)

2.1.3 Měď, bronz

Měď se pravděpodobně začala využívat již kolem roku 5 000 př. Kr. V přírodě se vyskytuje ryzí jen zřídka. Většinou je zastoupena v rudách ve formě oxidů, sulfidů nebo uhličitanů. Měď se nejdříve vyráběla redukcí malachitu $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$ v hliněných pecích. Kolem roku 2 000 př. Kr. se začala získávat také ze sulfidických rud. Výroba ze sulfidických rud byla náročnější a značně ztrátová (4/5 původní mědi zůstaly ve strusce). Proces se zefektivnil metodou opakovaného tavení v šachtových pecích vybavených dmychadly. Ve středověku byla tato metoda vylepšena. Sulfidické rudy se nejdříve pražily, čímž se sulfidy převedly na oxidy. Ty byly po přidavku struskotvorných přísad, které měly odstranit zejména přítomné železo, redukovány v šachtových pecích. Vzniklá surová měď se tavila za přítupu vzduchu v plamenné peci. Tavenina se míchala dřevěnou tyčí, aby se odstranila síra, arsen a další nečistoty. Vzniklý oxid měďnatý se nakonec zredukoval dřevěným uhlím.

Čistá měď není příliš tvrdá. Je dokonce měkčí než většina nerostů, které se v pravěku pro výrobu nástrojů používaly. Z tohoto důvodu se čistá měď k výrobě nástrojů téměř nepoužívala. Měděné výrobky většinou obsahovaly příměsi zinku, olova, arsenu, antimonu, železa, niklu, stříbra, zlata, cínu a dalších prvků. Anž byly výroby většiny těchto prvků známy, byly jejich rudy do roztavené mědi záměrně přidávány pro zlepšení vlastností. Některé z příměsí zvyšovaly tvrdost, jiné umožňovaly tvrzení materiálů metodou zahřátí a prudkého ochlazení ve vodě (měď změkla). Nálezy z nejstarší doby jsou dokladem záměrného přidávání olověné rudy v množství 6 až 12 %, která zlepšovala tavitelnost mědi. Dlouho před znalostí výroby kovového zinku byly jeho rudy používány k výrobě mosazi (slitina mědi a zinku). Nejdůležitější příměsí se



Obrázky: Měděné sekeromlaty a bronzové kroužky (2 000 př. Kr.)

stal kassiterit (cínovec SnO_2), jehož přídavkem vznikl cínový bronz (slitina mědi a cínu). Tato slitina se stala tak významnou součástí vývoje lidské společnosti, že je po ní pojmenováno celé období – doba bronzová.

Nejstarší cínové bronzy pocházejí z období kolem roku 3 300 př. Kr. Po přidavku cínových rud do roztavené mědi byl hotový materiál tvrdší a odolnější. Nejstarší bronzy obsahovaly méně než 6 % cínu a bylo možné je kovat i za studena. Později se procentuální zastoupení cínu zvyšovalo, protože bronzy s větším obsahem cínu se lépe odlévaly a byly tvrdší.

2.1.4 Cín

Cín se v přírodě vyskytuje jako cínovec (kassiterit) SnO_2 . V Číně a Japonsku byl cín z kassiteritu vyráběn pravděpodobně již kolem roku 1 800 př. Kr, egyptané jej prokazatelně znali již kolem roku 1 500 př. Kr. V Egyptě se ale naleziště cínovce nevyskytovala, cínové předměty byly pravděpodobně dováženy ze severní Persie.

Pokud byl použitý kassiterit čistý, bylo z něj možné získat cín pouhou redukcí uhlím (stačilo dosáhnout teploty $400\text{ }^\circ\text{C}$). Znečištěné rudy cínovce bylo nutné nejdříve rozemlít, odstranit hlušinu a takto upravenou rudu pražit (odstranění přítomné síry a arsenu). Vyčištěný cínovec se s přídavkem struskotvorných látek taval v úzkých šachtových pecích se šikmým dnem. Velká pozornost byla věnována také rafinaci vzniklého kovu, neboť na jeho čistotě závisela jeho cena.



Obrázek: Cínová nádoba

Ve středověku byl cín oblíbeným materiálem pro výrobu různého kuchyňského nádobí, liturgických předmětů nebo svícňů. Pokud jsou však cínové předměty vystaveny teplotám nižším než $13,2\text{ }^\circ\text{C}$, dochází k přechodu na práškovitou šedou modifikaci. Tento jev se nazývá cínový mor.

2.1.5 Olovo

Také olovo patří k jednomu z nejdéle známých kovů. Prokazatelně bylo známo již ve starém Egyptě, Řecku a Indii. Znali jej také Izraelité i Fénicičané. Ve starověku se získávalo tavením leštěnce olověného (galenitu) PbS. Vedle olova se z galenitu získávalo také stříbro, které se v něm vyskytuje jako příměs. Tavba byla velmi nedokonalá. Velké množství olova i stříbra zůstávalo ve strusce. Ve 100 kg strusky zůstalo 6 – 12 kg olova a asi 30 g stříbra. V pozdějších dobách (v období rozmachu říše římské) byly tyto haldy, které zde starověké civilizace zanechaly, opět zpracovávány. Kromě toho byla založena řada nových dolů (zejména na území dnešního Španělska a Německa).

Římané používali olovo na stavbu vodovodního potrubí, k výrobě mincí, závaží a pečetidel. Ve středověku se olovo uplatnilo s vynálezem knihtisku (součást litéřiny-slitina olova, cínu a antimonu) a střelného prachu (olověné kulky). S rozvojem motorismu, strojírenství a chemického průmyslu v 19. století našlo olovo nové možnosti použití.



Obrázek: Olověný rozvod vody, Řím

2.1.6 Rtuť

Rtuť byla pravděpodobně získána a používána ve starém Egyptě již před 2 500 lety. Důkazem jsou však pouze nálezy v hrobkách. Jisté je, že rtuť byla známa starým Řekům a Římanům, kteří ji podle barvy a skupenství nazývali hydrargyros (vodní stříbro). Římané získávali rtuť zahříváním rumělky (cinabaritu) HgS, kterou těžili ve Španělských dolech v Sisapu. Používali rtuť k extrakci kovů amalgamací. Často využívaná byla také rumělka, která se používala jako červený pigment. Sloužila k barvení soch bohů a tváří vojevůdců.

Ve středověku se rtuť stala předmětem zkoumání alchymistů. Hlavním zdrojem rtuti zůstaly doly v Sisapu, které byly později přejmenovány na Almaden. O škodlivých účincích rtuti se vědělo, a proto v dolech a při výrobě rtuti pracovali převážně otroci a později vězňové.

Postupem času našla rtuť nové možnosti využití, významné je její použití k plnění barometrů a teploměrů. Dále se využívá v lékařství (dentální amalgámy), při elektrolytické výrobě alkalických hydroxidů atd.

2.1.7 Železo [39, 40, 42]

Železo bylo známo již kolem roku 3 000 př. Kr. Jednalo se o meteorické železo, jehož výskyt byl častý zejména na blízkém a středním východě. Předpokládá se, že původ výroby železa souvisí s metalurgií mědi. Železná ruda se pravděpodobně používala při tavně mědi jako struskotvorná přísada. Není přesně známo, kdy se začalo železo vyrábět cíleně. Na základě věcných i písemných pramenů je jisté, že Chetitě vyráběli železo již ve 3. tisíciletí př. Kr. Chetitě tajemství výroby přísně střežili, a tak k rozšíření železa došlo až po rozpadu Chetitské říše kolem roku 1 200 př. Kr. Tímto rokem začíná období doby železné. V Evropě se výroba a používání železa rozšířily později, pravděpodobně v 7. – 6. st. př. Kr.

První železo se vyrábělo v tzv. zkujňovacím ohništi. Železné rudy se zahřívaly v mělkých jamách s dostatečným nadbytkem dřevěného uhlí. Potřebný kyslík zajišťoval zpočátku přírodní vítr, později jednoduché měchy. Protože nebylo možné dosáhnout tak vysoké teploty, aby se železo úplně roztavilo, probíhala redukce v pevném stavu. Výsledkem tavy byla tzv. železná houba – železo silně znečištěné struskou a chudé na uhlík. Vzniklé kusy se kovaly, čímž docházelo k nauhličování.

Tavba železa v 9. – 12. století po Kr.

Později se železo tavilo v šachtových pecích. Šachta se směrem k hornímu okraji (kychtě) zužovala, což umožňovalo snadný pokles vsázky. nad dnem (nístějí) byl otvor s dyšnou, kterou byl do pece vháněn vzduch z měchů. Než se začal používat vodní pohon, byly měchy poháněny ručně. Pohon byl limitujícím faktorem velikosti pece. Proto měly pece celkovou výšku do jednoho metru a jejich průměr nepřesahoval 60 cm.



Obrázek: Šachtová pec

Pece byly postaveny ze žáruvzdorného materiálu, odolného do teplot kolem 1 300 °C. Experimenty potvrdily, že pec bylo možné použít k tavbě i vícekrát. Některé pece byly vestavěné do břehů nebo svahů (okolní terén poskytoval oporu konstrukce a tepelnou izolaci), jiné byly postaveny jako samostatná šachta a izolaci zajišťoval zásyp.

Výroba železa je v podstatě redukce železné rudy uhlíkem a oxidem uhelnatým. Oxid uhelnatý zde vznikal nedokonalým hořením dřevěného uhlí za vysoké teploty, které bylo dosaženo dmýcháním vzduchu do prostoru pece. Vzniklý oxid uhelnatý (při teplotě 1 200 °C) stoupal vzhůru proti vsázce a reagoval s kousky rudy, přičemž odebíral kyslík vázaný v oxidech železa a unikal kychtou z pece ven ve formě tzv. kychtového plynu. Kychtový plyn obsahoval velké množství hořlavého oxidu uhelnatého. Jeho vznícení se nad pecí projevilo nevýrazným modrým plamenem. Železo zde zůstávalo během celé tavby v pevném stavu, k natavení docházelo pouze v mikroobjemech. Železo tak nebylo schopné absorbovat větší množství uhlíku, jak k tomu dochází při tavbě v dnešní vysoké peci. Výsledkem tavby proto bylo měkké železo s nízkým obsahem uhlíku, která se nazývá **železná houba** (svým vzhledem připomíná mořskou houbu).



Obrázky: Historická tavba železa (Stará Huť u Adamova), vpravo železná houba

Celá tavba probíhala 24 – 30 hodin a měla tři fáze. V první fázi byla dobře vysušená pec dostatečně dlouho rozežhřívána (v peci se topilo dřevem). Dostatečně vysušená a rozežhřátá pec se naplnila dřevěným uhlím. Dmýchaným vzduchem bylo nutné dosáhnout maximální možné teploty a tím hoření kychtového plynu. Před další fází pracovala pec ještě asi hodinu na plný výkon. Druhou fází tavby bylo sázení rudy a uhlí v hmotnostním poměru 1:1. Na rozdíl od vysoké pece zde železo zůstávalo nahoře, zatímco struska protekla póry železné houby na dno níže. Spodní část pece se

postupně plnila roztavenou struskou s kusy vyredukovaného železa (tzv. struskový slitek). Zbytek železa (asi 20 %) zůstal nad touto částí ve formě železné houby. Třetí fází byl odpich strusky a vyjmutí železné houby. Pec se nechala pomalu vychladnout a výsledek tavby byl dále zpracován.

2.1.8 Zinek

Zinkové rudy sloužily k výrobě mosazi (slitina mědi a zinku) ve starém Babylóně již kolem roku 3 000 př. Kr. Římané vyráběli poměrně kvalitní mosaz současnou redukcí měděných a zinkových rud.

První zmínky o výrobě kovového zinku pocházejí z Indie z období kolem roku 1 200 př. Kr. Jiné prameny uvádějí, že v Číně se zinek používal k výrobě mincí a zrcadel v 6. a 7. století po Kr. O hutním zpracování zinkových rud se ale dá hovořit až od 13. století. Zinkové rudy se pražily (zastoupené sulfidy přecházely v oxidy) a následně se zahřívaly ve vzduchotěsných nádobách společně s uhlím. Vznikající zinkové páry byly odváděny do speciálních jímadel, kde se srážely.

Do Evropy se výroba zinku dostala později. První písemné zmínky lze najít ve spisech Paracelsa (1. polovina 16. století). Průmyslově se zinek začal vyrábět až v 1. polovině 18. století. Výroba byla technologicky náročná, postupně se zdokalovala. V 19. století vznikla řada zinkových hutí také ve Slezsku. V roce 1825 se zde vyrobilo 12 000 tun zinku, v roce 1 860 to bylo už více než 68 900 tun.

2.1.9 Hliník

Latinský název Aluminium (hliník) pochází ze slova alumen (= hořká sůl), označujícího ve starověku kamenec. Kamenec draselnohlinitý se ve starém Řecku a Římě používal v lékařství jako adstringencium (stahující látka při krvácení). V roce 1754 se německému chemikovi A. S. Marggrafovi podařilo získat oxid hlinitý Al_2O_3 izolací z kamence, jílu a některých břidlic. Samotný kovový hliník se ale podařilo izolovat až o několik desetiletí později. První úspěšné pokusy prováděl v roce 1825 dánský chemik H. Ch. Oersted. Redukcí chloridu hlinitého AlCl_3 draslíkovým amalgamem získal hliník, který byl silně znečištěný draslíkem.



Obrázek: Oersted

Na výsledky jeho práce navázal německý chemik F. Wöhler, který v roce 1827 redukoval bezvodý chlorid hlinitý AlCl_3 draslíkem v porcelánovém kelímku. Ve vodném prostředí se ze vzniklé směsi vyloučil hliník. Tato metoda výroby hliníku byla nesmírně drahá. Teprve v roce 1854 navrhl H. Deville první průmyslový postup výroby hliníku. Začal se vyrábět redukcí AlCl_3 sodíkem. Jeho cena tím poklesla asi desetkrát. Cena hliníku opět značně poklesla v roce 1886 s objevem elektrolytického způsobu výroby hliníku, který se používá dodnes. O objev se zasloužila trojice vědců Ch. M. Hall, P. L. T. Héroult a M. Kiliani.

2.2 Vlastnosti kovů

Většina prvků periodické tabulky jsou kovy. V celém systému najdeme 89 kovů, 18 nekovů a 3 polokovy. Kovy se nacházejí v tabulce vlevo (výjimkou je vodík), směrem doprava kovový charakter klesá. Polokovy Si, As a Te umístěné v diagonále p -bloku oddělují kovy od nekovů. (Někdy bývají mezi polokovy řazeny také Ge, Sb a Po, počet kovů se pak mění na 86 a polokovů je 6.). K posouzení, zda je daný prvek kov, můžeme použít pravidlo:

„Prvek je kovem, jestliže počet elektronů v jeho nejvyšší zaplňované vrstvě je menší nebo roven číslu periody, v níž se prvek nachází.“

1																	18
1 H 1.01																	2 He 4.00
3 Li 6.94	4 Be 9.01											5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 15.99	9 F 18.99	10 Ne 20.18
11 Na 22.99	12 Mg 24.31											13 Al 26.98	14 Si 28.08	15 P 30.97	16 S 32.07	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95
19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.87	23 V 50.94	24 Cr 52.00	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.41	31 Ga 69.72	32 Ge 72.64	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.90	36 Kr 83.80
37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc 98	44 Ru 101.07	45 Rh 101.07	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.29
55 Cs 132.91	56 Ba 137.33	57 La 138.91	58 Ce 138.91	59 Pr 138.91	60 Nd 140.91	61 Pm 140.91	62 Sm 144.91	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97	
87 Fr (223)	88 Ra (226)	89 Ac (227)	90 Rf (261)	91 Db (262)	92 Sg (266)	93 Bh (264)	94 Hs (277)	95 Mt (268)	96 Ds (281)	97 Rg (272)							
		58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.97	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97		
		90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.03	93 Np (237)	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (262)		

Některé kovy se v přírodě vyskytují v elementárním stavu (ryzí), například zlato, stříbro, rtuť. Většina kovů se však v přírodě vyskytuje ve sloučeninách, nejčastěji ve formě oxidů, sulfidů, křemičitanů, síranů nebo fosforečnanů.

2.2.1 Chemické vlastnosti přechodných kovů

Jako přechodný kov je označován prvek, jehož atomy alespoň v jednom ze svých reálných oxidačních stavů vykazují neúplné obsazení orbitalů d valenční sféry. V periodické tabulce prvků jsou přechodné kovy umístěné ve 3. – 11. skupině, často k nim pro značnou podobnost vlastností bývají řazeny i prvky 12. skupiny (i přestože nesplňují podmínku definice).

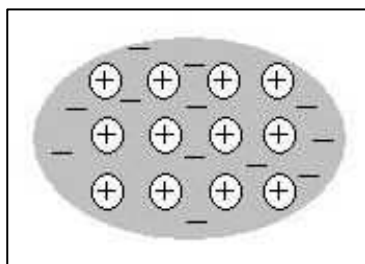
Oxidační stavy přechodných kovů jsou značně rozdílné. Ve středních částech period vyzkávají kovy značnou variabilitu oxidačních čísel. Obecně lze říci že oxidy přechodných kovů v nižších oxidačních stavech jsou zásadité nebo amfoterní, zatímco ve vyšších (V, VI, VII a VIII) mají vlastnosti kyselé.

Přechodné kovy mohou v některých (většinou komplexních) sloučeninách nabývat i záporných hodnot oxidačních čísel. Důvodem značné variability oxidačních stavů je neúplné obsazení valenčních d orbitalů.

Významnou vlastností kovů je schopnost tvořit **slitiny**, směsi dvou nebo více kovů, popř. kovů a nekovů. Jsou to většinou homogenní směsi, které mají kovové vlastnosti. Vlastnosti slitin se od jednotlivých složek obecně značně liší, obvykle mají fyzikální, chemické i mechanické vlastnosti lepší než čisté kovy. Vlastnosti lze upravovat změnou poměrů zastoupených složek. Jednotlivé slitiny se od sebe značně liší, jejich vlastnosti a typy budou blíže popsány v kapitole 4.

Kovová vazba

Pro kovy je charakteristická především kovová vazba, pro jejíž popis existuje několik modelů (teorií). Nejjednodušší z nich, **teorie elektronového plynu**, předpokládá umístění kationtů kovu do pevných pozic krystalové mřížky. Valenční elektrony se pohybují mezi nimi ve formě tzv. elektronového plynu, jsou tedy společné všem kationtům v mřížce. Soudržnost kovů je způsobena přitažlivou elektrostatickou interakcí mezi kladně nabitými kationty a záporně nabitým elektronovým plynem.



Obrázek: Kovová vazba (teorie elektronového plynu)

Vlastnosti kovové vazby lépe vysvětluje tzv. **pásová teorie**, jejíž základy byly vybudovány kolem roku 1930. Na základě pásové teorie budou vysvětleny fyzikální vlastnosti kovů v kapitole 2.2.2.

Krystalická struktura kovů

Pevné látky lze podle typu uspořádání stavebních částic rozdělit na amorfni a krystalické. Amorfni látky se vyznačují nepravidelným uspořádáním atomů či molekul v prostoru, příkladem je sklo nebo vosk. Většina chemicky čistých látek je však krystalická. Atomy, ionty nebo molekuly v krystalickém skupenství jsou v prostoru charakteristicky uspořádané. Toto pravidelné uspořádání si můžeme představit jako těsné uspořádání tuhých koulí v prostoru. Základní jednotku, která se v systému pravidelně opakuje, nazýváme **elementární buňka**.

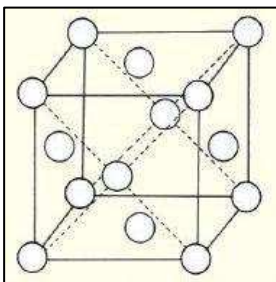
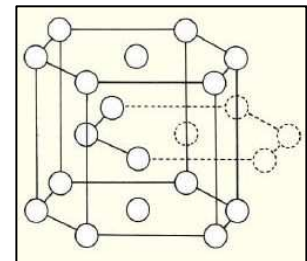
Již v roce 1848 se francouzský krystalograf Auguste Bravais zabýval otázkou, kolika způsoby lze uspořádat atomy (znázorněné tuhými koulemi) v prostoru tak, aby okolí každého z nich bylo stejné. Ukázalo se, že k popisu všech takových prostorových mřížek stačí sedm krystalografických soustav: trojklonná (triklinická), jednoklonná (monoklinická), kosočtverečná (ortorombická), čtvercová (tetragonální), krychlová (kubická), trojúhelníková (trigonální) a šesterečná (hexagonální). Jednotlivé soustavy lze charakterizovat mřížkovými parametry, tj. relacemi mezi velikostmi jednotkových vektorů, které leží ve směru os x , y , z a dále relacemi mezi úhly, které tyto vektory svírají. Bravais zjistil, že existuje pouze 14 různých, navzájem na sebe nepřevoditelných elementárních buněk¹, které lze podle rozmístění mřížkových bodů (atomů) rozdělit do čtyř skupin:

¹ Všechny 14 typů elementárních buněk lze přehledně shrnout tabulkou (viz příloha A)

- 1) prostá mřížka (označení P) – mřížkové body jsou pouze v rozích rovnoběžnostěnu
- 2) bazálně centrovaná mřížka (C) – mřížkové body jsou v rozích rovnoběžnostěnu, jeden bod je uprostřed základny a jeden v rovině, která je se základnou rovnoběžná
- 3) prostorově centrovaná mřížka (I) – mřížkové body jsou v rozích rovnoběžnostěnu a jeden bod v jeho středu (v průsečíku tělesových úhlopříček)
- 4) plošně centrovaná mřížka (F) – kromě mřížkových bodů v rozích rovnoběžnostěnu je ve středu každé z jeho stran další bod

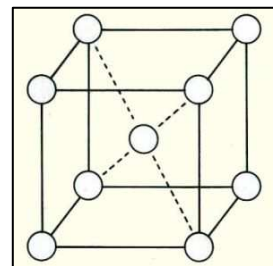
Pokud se budeme snažit poskládat modely „kuliček“ tak, aby zabíraly co nejméně prostoru, získáme dva typy krystalických struktur: strukturu hexagonální nejtěsněji uspořádanou a strukturu kubicky plošně centrovanou. Struktura kubická prostorově centrovaná sice nedosahuje maximálního vyplnění prostoru, přesto se velmi často vyskytuje. Struktura většiny technicky využívaných kovů je jedním z těchto třech typů, které lze charakterizovat takto:

- a) Struktura hexagonální nejtěsněji uspořádaná (hcp – hexagonal close packed): elementární buňkou je hranol s podstavou ve tvaru kosočtverce, který má atomy rozmístěné v každém z vrcholů. (Někdy se za elementární buňku považuje bazálně centrovaná struktura s hexagonální podstavou). Tato struktura je typická např. pro Ti, Mg, Zn, Zr atd.

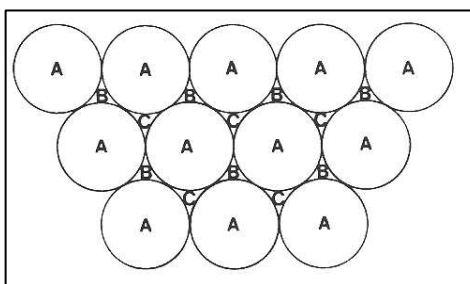


- b) Struktura kubicky plošně centrovaná (ccp - cubic close-packed structure): elementární buňkou je krychle, která má atomy umístěné ve vrcholech a ve středech všech stěn. Typická je např. pro Al, Cu, Ni, γ -Fe, Ag, Au, Pt atd.

- c) Struktura kubicky prostorově centrovaná (bcc – body centered cubic): elementární buňkou je krychle, atomy má umístěné ve vrcholech a v průsečíku tělesových úhlopříček. Výskyt této struktury je velmi častý, charakteristický například pro α -Fe, Mo, Cr, W, V atd.



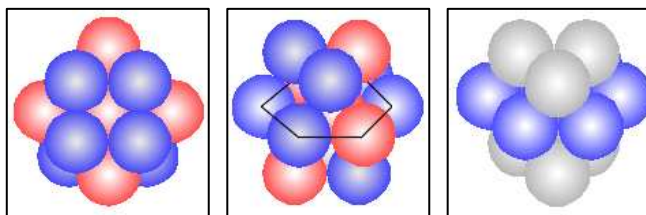
Jednotlivé strukturní typy lze objasnit následujícím modelem: na vodorovnou plochu co nejtěsněji vedle sebe naskládáme vrstvu koulí, označíme ji A . Mezi koulemi vzniknou dva typy, navzájem opačně orientovaných, trojúhelníkových dutin (intersticiál), označíme je B , C .



Obrázek: Nejtěsnější uspořádání: vrstva A , intersticiály B , C

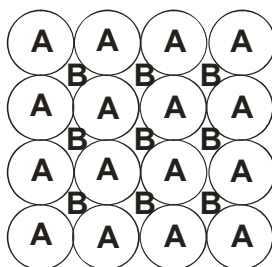
Druhou vrstvu koulí položíme na jeden typ dutin, například B . Třetí vrstvu položíme do stejné pozice, jako jsme umístili první vrstvu A . Vznikne nám tak sled vrstev $ABAB\dots$. Tento typ struktury nazýváme hexagonální nejtěsnější uspořádání (hcp - hexagonal close-packed structure).

Pokud bychom první a druhou vrstvu umístili stejně jako v předchozím uspořádání a třetí položili na druhý typ dutin, tedy na dutiny typu C , dostali bychom sled vrstev $ABCABC\dots$. Tento typ struktury se nazývá nejtěsnější kubické uspořádání (ccp - cubic close-packed structure).



Obrázek: Obrázek: Hcp uspořádání Ccp uspořádání

Třetí z možností, kubicky prostorově centrovaná struktura, vznikne tak, že středy sousedních koulí uspořádáme do rohů pomyslného čtverce. Vznikne jeden typ dutin, do kterých naskládáme koule vrstvy druhé, třetí vrstva bude stejná jako první. Sled jednotlivých vrstev bude tvaru A, B, A, B, \dots



Obrázek: Kubicky prostorově centrovaná struktura

Koroze kovů [35, 36, 70]

Koroze je samovolné, postupné rozrušování látky vlivem prostředí, v němž se nachází. Podle prostředí, v němž koroze probíhá, můžeme korozi rozdělit na atmosférickou, kapalinovou a půdní. Korozní děje jsou velmi složité, koroze kovů probíhá chemicky nebo elektrochemicky.

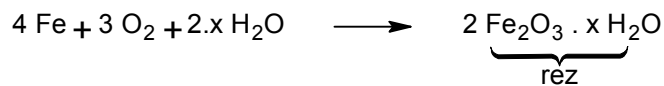
Chemická koroze kovů je narušení kovu působením okolního prostředí v důsledku průběhu chemických reakcí. Příkladem je působení vzdušného kyslíku. Ušlechtilé kovy (Au, Pt, ...) s kyslíkem nereagují, neztrácejí lesk. Kovy neušlechtilé (Fe, Al, Cr, ...) s kyslíkem reagují, jeho působením vzniká na povrchu vrstvička oxidu. Tento jev může být v některých případech žádoucí, v některých nežádoucí. Pokud je vrstvička oxidu souvislá a dobře na povrchu kovu ulpívá (např. Al_2O_3 na povrchu Al), je zde žádoucí, neboť chrání kov před další korozi. Naopak v případě železného materiálu je koroze nežádoucí. Vrstva rzi z povrchu odpadává, a tak postupně dochází k přeměně celého materiálu na rez.



Obrázek: Koroze

Elektrochemická (fyzikálně-chemická) koroze probíhá ve vlhkém prostředí. Na povrchu kovového materiálu, který je vystaven účinkům ovzduší, zůstává vrstva z kondenzované vodní páry, v níž jsou rozpuštěny látky ze vzduchu (např. CO_2 , SO_2 , NO_2). Vodné prostředí představuje elektrolyt. Je-li kov čistý, tedy obsahuje-li pouze

atomy jednoho druhu, přechází z povrchu kovu do elektrolytu pouze malá část iontů kovu, ustaví se rovnováha (mezi ionty a atomy kovu) a k další oxidaci již nedochází. Většina kovů ale obsahuje příměsi (v materiálu jsou pak vedle sebe atomy různých prvků), proto vznikají lokální elektrochemické články, v nichž probíhají elektrodové reakce. Příkladem je elektrochemická koroze surového železa (slitina železa s uhlíkem): na povrchu materiálu dochází k oxidaci železa. Mechanismus koroze železa lze vyjádřit rovnicí:



Z hlediska závažnosti, míry a způsobu poškození lze základní druhy koroze rozdělit do několika skupin:

- Rovnoměrná koroze – je nejčastější formou koroze, poškození kovu nastává stejnou měrou po celém jeho povrchu.
- Důlková koroze – kov je poškozen jen na několika místech, ale hluboko pod povrch. Důlková koroze nastává například v případě, kdy je povrch kovu opatřen antikoročním nátěrem s póry, kterými činidlo proniká až k samotnému kovu.
- Koroze ve štěrbinách – vzniká v mezerách mezi jednotlivými komponenty výrobku, které nejsou dostatečně provařeny nebo na sebe zcela nepřiléhají. Je způsobena nestejným prokysličením kapaliny, která do štěrbin vnikla.
- Interkrystalická koroze – nastává často u slitin, kde chybným tepelným zpracováním došlo k vyloučení některých složek. Příkladem je neopatrné sváření nerez ocelí, kdy dochází ke vzniku karbidu chromu, obsah chromu je tedy snížen. Na styku krystalů karbidu chromu a chromu dochází ke korozi.

Kovové výrobky se před nežádoucí korozi chrání různými metodami, které mají nejčastěji snížit rychlost koroze, popř. změnit typ koroze na typ méně nebezpečný (například rovnoměrná koroze je méně nebezpečná než důlková). Při volbě typu ochrany konkrétního kovového materiálu proti korozi je nutné rozhodovat se na základě zkoušek provedených za podmínek provozu. Před samotnou antikorozní úpravou povrchu je nezbytná důkladná příprava povrchu materiálu (provádí se například čištění pískem nebo tlakovou vodou, odmašťování, moření). Mezi základní typy antikorozní ochrany patří:

Pokrytí jiným kovem – nejčastějším způsobem je pozinkování nebo pocínování (nanesení slabé vrstvy zinku, popř. cínu), v silně korozivním prostředí se používá metoda plátování (nanesení poměrně silného plátu odolného kovu, který tak vytvoří vnější povrch). Často se také používá metoda šopování (pokovování, metalizace stříkáním).

Pokrytí povlakem z gumy nebo plastu - kov je pokryt nevodivou izolační vrstvou a je tak chráněn před přímým kontaktem s prostředím (většinou atmosférou)

Elektrochemická ochrana – Katodická ochrana využívá poznatek, že příčinou elektrochemické koroze je elektrický proud. Principem katodické ochrany je zavedení proudu „proti“ směru proudu korozního, čímž se účinek korozního proudu kompenzuje. Elektrochemická ochrana se většinou používá pro chránění zařízení, které jsou uložena v zemi (např. potrubí). [70]

2.2.2 Fyzikální vlastnosti

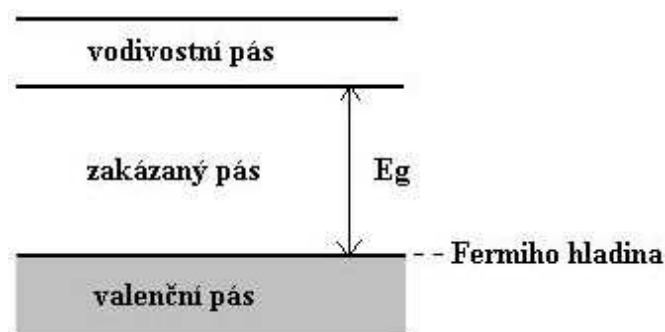
Fyzikální vlastnosti kovů jsou podmíněny přítomností kovové vazby. Po vložení do elektrického pole se pohyb elektronů usměrní, čímž dochází k vedení elektrického proudu. Kovy proto řadíme mezi **elektrické vodiče**. Elektrony se také podílejí na vedení tepla, proto jsou kovy **tepelnými vodiči**.

K exaktnějšímu vysvětlení elektrických a tepelných vlastností tuhých se používá model pásové teorie. Pásová teorie vychází ze znalosti energetických hladin atomových orbitalů izolovaného atomu. Při vzniku vazby mezi dvěma atomy dochází k překryvu dvou atomových orbitalů, které musejí mít vhodný tvar (symetrii) a podobnou energii. Vznikají dva molekulové orbitály – vazebný a protivazebný, které se navzájem liší energií. Vazebný orbital má nižší energii než původní orbitály atomové. Největší elektronová hustota vazebného orbitalu je mezi jádry atomů, tyto elektrony k sobě jádra poutají. Protivazebné orbitály mají energii vyšší než původní atomové. Elektrony protivazebných orbitalů, které se nacházejí mimo prostor mezi jádry, působí proti vzniku vazby.

V krystalech kovů je velké množství atomů, pro které je podmínka překryvu splněna. Účastní-li se N atomových orbitalů, vzniká $N/2$ polycenterních (= společných pro více atomů) vazebných a $N/2$ polycenterních protivazebných molekulových

orbitalů. Rozpětí energií, ve kterém se mohou tyto molekulové orbitály nacházet, tedy energie mezi energeticky nejnižším vazebným a energeticky nejvyšším protivazebným, je stejné jako v případě účasti dvou atomových orbitalů. Při velkém počtu atomů (v krystalu) předpokládáme takovou hustotu jednotlivých energetických hladin molekulových orbitalů, že téměř splývají a tvoří tzv. energetický pás. Tyto energetické pásy nazýváme **dovolené pásy** energií. Dovolené pásy jsou od sebe odděleny **zakázanými pásy**. Pro obsazování dovolených pásů platí stejná pravidla jako pro obsazování orbitalů v elektronovém obalu atomu (Pauliho princip, výstavbový princip, Hundovo pravidlo).

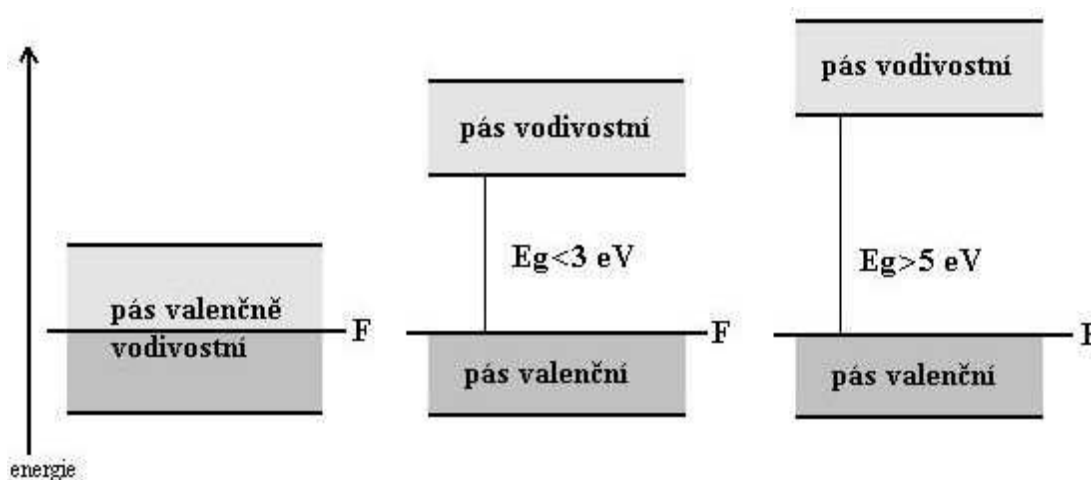
Energetická šíře zakázaných pásů ovlivňuje řadu dalších vlastností, například elektrickou a tepelnou vodivost. Poslední dovolený energetický pás, který je zcela nebo částečně zaplněn elektrony, se nazývá **valenční**. Nejvyšší hladina obsazená dvojicí elektronů se nazývá **Fermiho hladina**. Následující energeticky nejnižší dovolený pás, který však již není obsazen elektrony, se nazývá **vodivostní**. Šířka zakázaného pásu je dána energetickým rozdílem (E_g) mezi valenčním a vodivostním pásem. Hodnota E_g rozhoduje o tom, zda se pevná látka bude chovat jako vodič, polovodič nebo izolant.



Obrázek: Dovolené a zakázané pásy, Fermiho hladina

Při teplotě blízké se absolutní nule, kdy je soustava v nejnižším energetickém stavu, mohou nastat dvě situace. Fermiho hladina se může nacházet uvnitř valenčního pásu (tedy valenční vrstva není zcela zaplněna) nebo na jeho horním okraji. Je-li Fermiho hladina uvnitř valenčního pásu a vložíme-li takovou látku do elektrického pole, budou elektrony z hladin poblíž Fermiho hladiny přecházet do vyšších neobsazených kvantových stavů téhož pásma. Volně pohyblivé elektrony způsobují vedení proudu. Ve druhém případě, kdy Fermiho hladina splývá s horním okrajem valenčního pásu, se elektrony uvnitř pásu po vložení do elektrického pole nemohou volně pohybovat.

V takovém případě bude o elektrické vodivosti rozhodovat šířka zakázaného pásu, velikost E_g . Je-li hodnota $E_g < 3$ eV, mohou elektrony při jisté excitaci přeskočit až na hladiny vodivostního pásu. Taková látka pak má částečně vodivé vlastnosti, jedná se o **polovodiče**. Pokud je hodnota $E_g > 5$ eV, pak ani dodání energie, například zvýšením teploty, nestačí k excitaci elektronů pro přechod do vodivostního pásu. Takové látky se nazývají **izolanty**.



Obrázek: Vodič (vlevo), polovodič (uprostřed) a izolant (vpravo)

Elektrická vodivost kovů je závislá na počtu „volně pohyblivých elektronů“ (tedy počtu elektronů uvnitř valenčně vodivostního pásu) a na snadnosti jejich pohybu. Snadnost jejich pohybu je závislá na teplotě. S rostoucí teplotou se zvětšuje i amplituda kmitů kationtů kovu v mřížce, což má za následek znesnadnění překryvu valenčních orbitalů. Tím vznikají drobné energetické bariéry, které ztěžují pohyb elektronů v krystalu kovu. Obecně platí, že vodivost kovů s rostoucí teplotou klesá.

Kovy jsou dobrými vodiči tepla. To je způsobeno volnou pohyblivostí elektronů ve valenčně-vodivostním pásu. Tepelná energie se šíří krystalem v důsledku její transformace na kinetickou energii pohybu elektronů.

Pro kovy je také charakteristický **kovový lesk**, který je dán schopností kovu odrazet viditelné světlo. Kovy světlo nepropouštějí, proto jsou i v tenkých vrstvách neprůhledné. Některé kovy jsou **charakteristicky zbarveny**. Příčinou tohoto zbarvení je absorpce určité části spektra viditelného záření.

Látky obsahující atomy s nespárovanými valenčními elektrony (např. Ti, Co, Cu aj.) jsou paramagnetické (tzn. jsou do magnetického pole vtahovány). Podskupinou

paramagnetických látek jsou látky **feromagnetické**. Nespárované elektrony takových látek mají takové uspořádání, že vnější magnetické pole zesilují. Navíc po vymizení vnějšího magnetického pole magneticky působí na jiné látky. Podle charakteru magnetizace se magnety dělí na magneticky měkké (lze je přemagnetovat) a magneticky tvrdé, které se používají na výrobu permanentních magnetů.

Důležitou vlastností kovu je jeho **bod tání**, který je dán pevností vazeb mezi atomy. Kovy lze podle bodu tání rozdělit na nízko-, středně- a vysokotavitelné. Charakteristickou vlastností každého kovu je také jeho **hustota**.

2.2.3 Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti kovů (a slitin) se projeví při působení mechanických sil. Základní vlastností kovových materiálů je **tvárnost**, někdy nazývaná plasticita. Jedná se o zpracování kovů tlakem za tepla nebo za studena, přičemž se mění relativní poloha jeho částic. Dalšími významnými vlastnostmi kovových materiálů jsou **tažnost a kujnost** - veličiny charakterizující plastické vlastnosti materiálu (trvalé deformace způsobené mechanickou silou). Maximální napětí, kterému může být kovový materiál vystaven, vyjadřuje jeho **pevnost**. **Tvrдость**, která charakterizuje kovový materiál, je definována jako odolnost proti vniku cizího tělesa. Odpor kovového materiálu proti pružné deformaci (= materiál se po deformaci ještě vrací zpátky) zkušební tyče popisuje jeho **pružnost**.

3 HUTNICTVÍ

Hutnictví je velice důležitým průmyslovým odvětvím. Zahrnuje zpracování vytěžených rud, jejich úpravu na formu vhodnou pro další zpracování, dále výrobu jednotlivých kovů a jejich čištění. Výrobu kovů lze obecně rozdělit na výrobu technického železa (surového železa, litiny a oceli) a výrobu kovů neželezných (označována jako kovohutnictví).

3.1 Těžba rud, základní metody výroby kovů

Výroba kovů začíná těžbou rudy. Rudy jsou horniny, které obsahují kovy v takovém množství a formě, která je vhodná pro ekonomickou výrobu. Před samotnou výrobou kovů z rud jsou nezbytné některé další procesy: například úprava zrnitosti rud, obohacování (tj. zmenšování podílu hlušiny), tepelné způsoby úpravy (například sušení) nebo některé chemické způsoby úpravy. Připravená ruda ale není jedinou surovinou pro výrobu kovu. Nutné je připravit dostatek paliva a další přísady, specifické pro jednotlivé výroby.

Prvním krokem hutní technologií je oddělení hlušiny, která neobsahuje požadovaný kov, do rudy s obsahem požadovaného kovu. Tyto pochody probíhají buď za vysokých teplot (pyrometalurgické pochody) nebo působením vhodných chemických činidel (hydrometalurgické pochody) případně elektrochemicky (elektrolýzou taveniny nebo roztoku).

3.1.1 Pyrometalurgické pochody

Výroba kovů pyrometalurgickým způsobem probíhá působením vysokých teplot v hutnických pecích, které jsou pro jednotlivé druhy výrob kovů specificky uzpůsobeny. Metodu termického rozkladu lze využít pro výrobu kovu ze sloučeniny, která je dostatečně termicky labilní. Zpravidla se jedná o oxidy těchto kovů. Pyrometalurgicky se vyrábí například surové železo, cín, měď nebo zinek

3.1.2 Hydrometalurgické pochody

Hydrometalurgické pochody jsou založené na louhování připravených rud vhodnými rozpouštědly. Vlastnímu pochodu často předchází úprava rud pražením.

Kovy nebo jejich sloučeniny se tak převádějí do roztoku. Nejčastěji se používá zředěný roztok kyseliny sírové nebo roztoky různých solí. Hlavním zařízením v hydrometalurgii jsou louhovací nádrže specificky konstruované pro jednotlivé druhy výrob. Obecně jsou hydrometalurgické pochody ve srovnání s termickým rozkladem nákladnější, ale práce je méně ztrátová. V praxi se často tato metoda kombinuje s pochody probíhajícími v hutnických pecích. Hydrometalurgické pochody jsou typické pro výrobu zlata a stříbra.

3.1.3 Elektrometalurgické pochody

Podstatou elektrometalurgických pochodů výroby kovů je elektrolýza tavenin nebo roztoků jejich solí. Pro tuto metodu musí být použity velmi čisté sloučeniny kovů, aby nedocházelo k rušivým vlivům při elektrolýze a získaný kov byl čistý. Kationty kovů, které jsou v roztoku nebo tavenině přítomné se redukují na katodě. Hlavním zařízením elektrolytického způsobu výroby kovu jsou elektrolyzéry, tj. vany z ocelového plechu vyzděné uhlíkovou vyzdívkou. Dno vany bývá katodou, anodou jsou obvykle uhlíkové elektrody. Elektrometalurgické pochody se používají především pro výrobu alkalických kovů a kovů alkalických zemin, jako výchozí suroviny jsou použity jejich halogenidy, hydroxidy nebo oxidy. Výroba elektrolýzou je typická i pro výrobu hliníku.

3.2 Průmyslová výroba nejpoužívanějších kovů

3.2.1 Výroba surového železa

Čisté železo je lesklý stříbrný kov, jeho teplota tání je 1 528 °C. Železo je poměrně měkký kujný kov, je dobrým vodičem tepla i elektrického proudu. Vyskytuje se v závislosti na teplotě ve třech alotropických modifikacích. α -železo je stabilní do 906 °C, při vyšších teplotách přechází na γ -železo a při teplotách nad 1 401 °C vzniká δ -železo. Železo je do 768 °C (Curiův bod) feromagnetické. V teplotním intervalu 768 – 906 °C se proto železo označuje jako β -železo, i přestože se jeho struktura od α -železa neliší. Z chemického hlediska je železo reaktivní prvek, na vlhkém vzduchu podléhá korozi, běžnými oxidačními stupni jsou +II a +III.

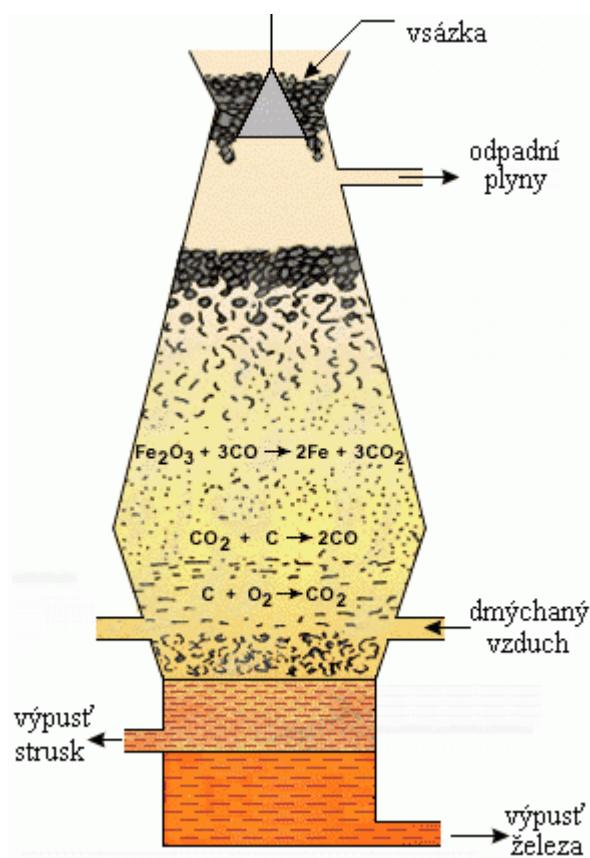
Surové železo je slitina železa s uhlíkem (2 – 4 %) a dalšími prvky (hlavně manganem, křemíkem, fosforem a sírou). Kromě železné rudy je k výrobě železa nezbytný dostatek struskotvorných přísad, paliva a stlačený přehřátý vzduch.

Železné rudy musejí mít vhodné vlastnosti, mimo jiné dostatečnou bohatost, vhodnou kusovost a nesmí obsahovat látky, které by vyrobený kov mohly znehodnotit. Struskotvorné přísady jsou minerální látky přidávané do výroby proto, aby spolu s hlušinami železných rud a popelem paliva vytvořily taveninu nazývanou struska, kterou lze z vysoké pece snadno odstranit. Většinou se k těmto účelům používá vápenec, méně často dolomit. Jako palivo se do vysoké pece přidává vysokopecní koks. Stlačený přehřátý vzduch, který je do vysoké pece vháněn, je zdrojem kyslíku potřebného ke spalování paliva a k průběhu chemických reakcí.



Obrázek: Železná ruda (Hematit)

Průmyslově se surové železo vyrábí ve vysoké peci. Vysoká pec má tvar dvou



komolých kuželů postavených většími základnami na sebe a ukončených nahoře i dole dvěma válci. Celé zařízení je 25 – 30 m vysoké, spodní průměr činí 9 – 9,5 m. Horní válcovitá část se nazývá **sazebna**. Tvoří ji zařízení k navážení surovin a systém odvádějící vysokopecní (kychtový) plyn, který obsahuje velké množství nebezpečného oxidu uhelnatého (asi 20%), dále oxid uhličitý, dusík, vodík a methan. Dvojitý zvonový **závěr sazebny**, který zabraňuje samovolnému unikání plynu do ovzduší, je stejně jako sazebna neustále

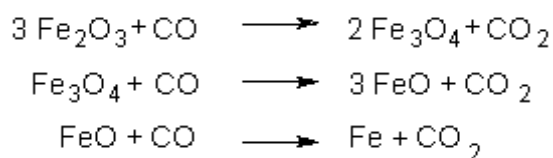
Obrázek: Vysoká pec

vystavován nárazům navážených surovin. Celá tato část vysoké pece je proto obložena silnými ocelovými deskami. Pod sazebnou je **šachta** (komolý kužel s větší základnou dole), pod ní je **sedlo** (komolý kužel s větší základnou nahoře). Sedlo přechází ve válcovitou **nístěj**. V její horní části je přívod přehřátého vzduchu (**výfučna**), pod ní **výpust strusky** a ve spodní části **výpust železa**. Pode dnem bývá válcovitá podstava, která stojí na betonovém základu. Vysoká pec je vyzděna šamotovou vyzdívkou, plášť je vyroben z ocelových plechů. Vysoká pec pracuje bez přestání několik let. Je vystavena vysokým teplotám, proto je nezbytné ji neustále chladit, aby nedošlo k jejímu poškození.

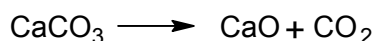
Pro činnost vysoké pece jsou nezbytná další zařízení: zásobník (slouží k uskladnění zásob surovin na několik týdnů), výtahy na sazebnu, přehříváče vzduchu, zařízení na čištění vysokopecního plynu, vodní hospodářství (dodávka vody k chlazení zařízení), pánve na vyrobené železo a strusku.

Chemické děje probíhající ve vysoké peci při výrobě železa

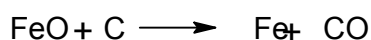
V sazebně vysoké pece se navezené suroviny (vsázka) ohřívají a vysouší kychtovými plyny. Vsázka postupně klesá do nitra pece. V horních částech šachty, při teplotách do 900 °C, probíhá tzv. nepřímá redukce oxidů železa, redukce oxidem uhelnatým za současného vzniku nižších oxidů železa. Nepřímá redukce probíhá podle rovnic:



Při těchto teplotách dochází také k termickému rozkladu vápence, vzniká oxid vápenatý a oxid uhličitý.



V dolních částech šachty probíhá při teplotách nad 950 °C tzv. přímá redukce oxidů železa uhlíkem. Na rozdíl od nepřímé redukce se při přímé redukcí teplo spotřebovává.

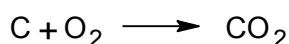


Ve spodní části šachty také dochází k tzv. nauhličování železa, ke zvětšování obsahu uhlíku v houbovitém železe. Nauhličování je velice důležité, protože

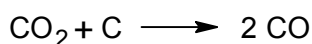
s rostoucím obsahem uhlíku v železe klesá jeho bod tání (soustava, která obsahuje právě 4,3 % uhlíku, dosáhne nejnižšího bodu tání).

V nejspodnější části pece, v nístěji, se shromažďuje vzniklé surové železo, nad ním zůstává vrstva strusky. Vzniklé železo i struska se vždy po několika hodinách vypouští do připravených pánvových vozů.

V místě mezi sedlem a nístěji jsou tzv. výfučny, kterými je do vysoké pece vháněn předehřátý vzduch. Zde dochází ke spalování koksu. V blízkosti ústí výfučen vzniká při spalování CO_2 :



Při styku se žhavým koksem se oxid uhličitý ihned redukuje na CO:



Spalováním se uvolňuje velké množství tepla a vznikající plyny, které dosahují 1700 až 2000 °C, stoupají pecí vzhůru k sazebně a redukují oxidy železa.

Hlavním produktem vysokopecního pochodu je surové železo. Část vyrobeného surového železa se zpracuje na litinu, většina (asi 60% světové produkce) však na ocel. Vedlejšími produkty jsou vysokopecní struska (využívá se dále ve stavebnictví) a vysokopecní plyn.

3.2.2 Výroba mědi

Měď je kov červené barvy s teplotou tání 1 083 °C. Má velmi dobrou elektrickou a tepelnou vodivost, výbornou tažnost a kujnost. Za běžných podmínek je poměrně stálým kovem. Při delším vystavení vlhkému vzduchu se pokrývá tzv.



méděnkou (hydroxid-uhličitan měďnatý). Měď je nejstabilnější v oxidačním stupni +II, méně častý je oxidační stupeň +I.

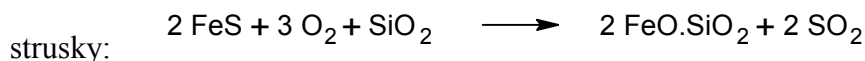
V přírodě se měď může vyskytovat jako ryzí kov, ale většinou se nachází ve sloučeninách, ve formě sulfidů. Mezi nejvýznamnější patří například chalkopyrit CuFeS_2 , covellin CuS a

Obrázek: Chalkopyrit

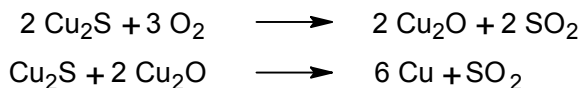
chalkosin Cu_2S . Sulfidické rudy jsou také hlavním zdrojem pro výrobu mědi. Vytěžené rudy obsahují většinou měď v nízkých koncentracích (0,5 – 5%), proto se ruda nejdříve drtí a koncentruje, čímž obsah mědi stoupne na 10 – 30 %. Výroba mědi probíhá ve třech stupních: pražení, tavení na měděný kamínek, besemerování kamínku na surovou měď.

Pražení je proces, při kterém se sulfidy mědi převádějí na nižší sulfidy a ty dále na oxidy mědi. Tavení probíhá v plamenných nebo šachtových pecích po přidání koksu a struskotvorných přísad. Výsledkem procesu jsou dvě taveniny – struska (obsahuje příměsi, které byly obsaženy v rudách) a tzv. kamínek (meziprodukt obsahující sloučeniny mědi). Po oddělení strusky se roztavený měděný kamínek naleje do měďařského konvertoru, v němž se besemeruje (do roztaveného kamínku se dmýchá vzduch). Besemerace probíhá ve dvou krocích:

- a) Zbylý sulfid železnatý se oxiduje a po přidání oxidu křemičitého převádí do



- b) Probíhá oxidace sulfidu měďného a současně reakce mezi vzniklým oxidem měďným a zbylým sulfidem měďným:



Surová měď (tzv. černá měď) se dále elektrolyticky čistí. Nečistoty jsou cenným zdrojem zlata, stříbra a dalších prvků.

Vyrobená měď má v dnešní době mnoho způsobů využití. Významné jsou některé její slitiny, zejména mosazi a bronzy, ale také zvonovina – materiál pro výrobu zvonů.

3.2.3 Výroba cínu

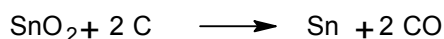
Cín je lesklý bílý kov, jeho teplota tavení je 232 °C. Cín se v závislosti na teplotě vyskytuje ve třech alotropických modifikacích. Bílý **β -cín** (stabilní při 13,2 – 161 °C) je měkký, velmi dobře tvárný kov. Na vzduchu se pokrývá vrstvičkou oxidu cíničitého, která ho chrání před další oxidací. Zahřátím nad teplotu 161 °C přechází β -cín do křehkého **γ -cínu**. Šedý **α -cín** má vzhled šedého prášku, vzniká při dlouhodobém skladování bílého cínu při teplotách nižších než 13,2 °C. Modifikace vzniká poměrně

pomalou, vznikající krystalky šedého cínu působí jako zárodky pro modifikační přeměnu. Tento jev bývá označován jako „cínový mor“. Ve sloučeninách se cín vyskytuje v oxidačním stupni +II nebo +IV.

Cín se v přírodě vyskytuje volný pouze vzácně. Nejvýznamnější rudou, v níž se vyskytuje, je cínovec (kassiterit) SnO_2 , z něhož se cín také vyrábí. Vytěžený cínovec se nejdříve rozdrtí, pražením při teplotě 600 – 700 °C se odstraní síra v podobě oxidu siřičitého, arsen jako těkavý oxid arsenitý a antimon jako oxid antimonytý. Pokud ruda cínovce obsahuje větší množství jiných prvků, je nutné je vhodným způsobem odstranit. Připravená ruda cínovce se redukuje uhlím, většinou v šachtových nebo plamenných pecích:



Obrázek: Kassiterit



Při výrobě zůstává velké množství cínu ve strusce, cín se z ní získává tavením s uhlím a vápencem. Složení strusky odpovídá přibližně vzorci $\text{SnO} \cdot \text{SiO}_2$. Smícháním strusky s vápencem dojde k rozkladu na $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ a SnO . Při vysokých teplotách se ze strusky redukuje i železo, takže vzniká slitina obsahující železo, které způsobuje nežádoucí tvrdost. Přídavkem křemíku nebo ferosilicia lze taveninu rozdělit na dvě vrstvy, z nichž spodní obsahuje cín zbavený železa a horní je ferosilicium, ve kterém se cín rozpouští jen nepatrně.

3.2.4 Výroba hliníku

Hliník je stříbrobílý lehký kov s teplotou tání 660 °C. Má dobrou tepelnou i elektrickou vodivost (60 % vodivosti mědi), je dobře kujný a tažný. Na vzduchu je stálý, protože se pokrývá vrstvičkou oxidu hlinitého, která jej chrání před další oxidací. Díky své elektro pozitivitě má hliník velkou afinitu ke kyslíku, této vlastnosti je využito při tzv. aluminotermii (metoda přípravy kovů z jejich oxidů). Ve sloučeninách se hliník nejčastěji vyskytuje v oxidačním stupni +III.



Obrázek: Bauxit

Hliník je po kyslíku a křemíku třetím nejrozšířenějším prvkem na Zemi. V přírodě je zastoupen pouze ve sloučeninách, z nichž nejrozšířenější jsou různé hlinitokřemičitany. Jeho nejvýznamnější rudou je bauxit (monohydrát nebo trihydrát oxid-hydroxidu hlinitého $\text{AlO}(\text{OH})$), z něhož se hliník také vyrábí.

Výroba hliníku má tři fáze: výroba Al_2O_3 z bauxitu, elektrolýza oxidu hlinitého Al_2O_3 (pro snížení bodu tání bauxitu se přidává tavidlo kryolit Na_3AlF_6). Třetí fází je elektrolytická rafinace (surový hliník se rafinuje, pokud je požadována vyšší čistota).

Obsah oxidu křemičitého SiO_2 v bauxitu je vyjádřen tzv. modulem (hmotnostní poměr mezi Al_2O_3 a SiO_2). Jeho hodnota určuje, která metoda se pro izolaci Al_2O_3 z rudy použije. Pro rudy s obsahem SiO_2 do 5% se používá Bayerova metoda, pro rudy s 5 – 8% obsahem SiO_2 se používá metoda spékací.

Bayerova metoda je založena na vratné reakci:



Hydroxid hlinitý obsažený v rudě bauxitu se rozpouští v horkém hydroxidu sodném za zvýšeného tlaku a teploty. Karbonatací (zaváděním CO_2) se z roztoku $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ vyloučí $\text{Al}(\text{OH})_3$, který se dehydratuje kalcinací při teplotě 1 200 °C.

Metoda spékání je založena na reakcích bauxitu, sody a vápence za vyšších teplot. Bauxit se pomele s vápencem a smíchá se se sodou za vzniku tzv. bauxitového rmutu, který se spéká při teplotách až 1 200°C. Vzniklá směs se drtí a vyluhuje v horké vodě. Hlinitan sodný je ve vodě rozpustný, zatímco oxid křemičitý je ve vodě nerozpustný, proto je snadné jej oddělit.

Druhá část výrobního procesu, elektrolýza taveniny směsi oxidu hlinitého a kryolitu, probíhá v elektrolyzérch (velké vany). Katodou je zde grafitové dno (v pokročilejším stadiu elektrolýzy přebírá úlohu vzniklý hliník), anodou je grafit. Kryolit v tavenině snižuje teplotu tání oxidu hlinitého z 2050°C na 950°C (při obsahu 15 % oxidu hlinitého je teplota tání soustavy nejnižší).

Vyrobený kapalný hliník ale stále obsahuje některé nečistoty, jeho čistota se pohybuje v rozmezí 99,5 – 99,7 % Al.

Pokud je pro další použití nutná vyšší čistota hliníku, provádí se elektrolytická rafinace. Tímto postupem je možné získat kov o obsahu až 99,998% Al. Je-li požadována vyšší čistota, používá se zonální tavba.

3.2.5 Výroba zinku

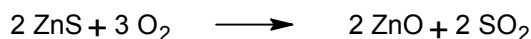
Zinek je stříbrolesklý kov s teplotou tání 419 °C. Za laboratorní teploty je zinek kov křehký, nad 150 °C tažný a kujný. Zinek je na vzduchu stálý, v chemických sloučeninách se vyskytuje v oxidačním stupni +II.

Nejrozšířenější rudou, v níž se zinek vyskytuje, je sfalerit (blejno zinkové, ZnS). Méně častý je výskyt kalamínu uhličitého (smithsonit, ZnCO₃) a kalamínu křemičitého (Zn₂SiO₄ · H₂O).



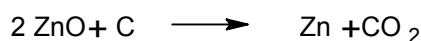
Obrázek: Sfalerit

Zinek je v rudách značně rozptýlen. Proces výroby zinku proto začíná zvýšením jeho koncentrace sedimentačními nebo flotačními metodami. Následným pražením koncentrované rudy se převádí přítomný sulfid zinečnatý na oxid:



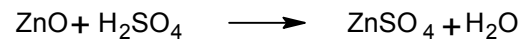
Vedlejší produkt oxid siřičitý je zachycován a používá se jako surovina pro výrobu kyseliny sírové. Oxid zinečnatý se dále zpracovává pyrometalurgicky (redukce koksem) nebo hydrometalurgicky (louhováním v kyselině sírové).

Pyrometalurgické pochody probíhají při teplotě 1 100 – 1 200 °C v destilačních pecích, tzv. retortách. Starší destilační pece mají vodorovné keramické retorty. Výkonnější jsou zařízení se svislými retortami, které usnadňují manuální práci a zvyšují procentuální výtěžek zinku. V dnešní době jsou destilační pece často nahrazovány šachtovými vysokými pecemi. Při zpracování ve vysokých pecích se kromě zinku získává také olovo, které zinek v sulfidických rudách doprovází. Vyloučené olovo zabraňuje zpětné oxidaci zinku na oxid zinečnatý, takže procentuální výtěžek se ještě zvýší. Vsázku tvoří pražené zinečnaté rudy a jemně pomleté uhlí, které slouží jako redukovadlo. Výrobu zinku v destilačních nebo vysokých pecích lze charakterizovat rovnicí:



Zinková tavenina je rafinována na čistotu 99,99% vakuovou destilací.

Hydrometalurgická výroba zinku je založená na louhování pražených surovin zředěnou kyselinou sírovou:



Vzniklý síran zinečnatý je ve vodě dobře rozpustný, zatímco většina hlušiny zůstává v kalu. Příměsi, které v roztoku síranu zinečnatého zůstanou, by mohly mít negativní vliv na průběh elektrolýzy, proto se roztok rafinuje. Elektrolýza probíhá ve velkých vanách. Anodami jsou olověné desky, katodami jsou plechy z hliníku. Na anodách se vylučuje kyslík v podobě bublinek, které s sebou strhávají kyselinu sírovou. Proto se povrch elektrolytu ve vanách pokrývá vrstvou oleje nebo pryskyřice, která kyselinu sírovou zachycuje. Zinek vyloučený na katodách je velmi čistý (až 99,995 % Zn), nemusí se rafinovat.

4 SLITINY

4.1 Slitiny železa

Vyrobené surové železo se dále zpracovává na litinu nebo ocel, které se liší zejména procentuálním zastoupením uhlíku. Litina obsahuje více než 2 % uhlíku a některé další nežádoucí prvky (fosfor, síru). Vzhledem k velkému obsahu uhlíku není tvárné a je možné jej pouze odlévat.

Významnějšími slitinami železa jsou **oceli**, v nichž obsah uhlíku činí maximálně 2 % a obsah nežádoucích příměsí (fosforu a síry) je snižen na minimum. Oceli obvykle obsahují další (legující) prvky zastoupené v takovém množství, aby bylo dosaženo požadovaných chemických, fyzikálních i mechanických vlastností materiálu. Množství zastoupeného uhlíku ve slitinách železa má proto rozhodující význam pro vlastnosti.²

4.1.1 Ocel

Počátky moderních technologií výroby oceli lze datovat do roku 1855. V tomto roce si H. Bessemer nechal patentovat výrobu oceli založenou na tryskání vzduchu dnem konvertoru (sklopná válcová nádoba). Konvertor vyzdřený kyselou dinasovou vyzdívkou však neumožňoval zpracovávat rudu s vyšším obsahem síry a fosforu. Další nevýhodou Bessemerovy technologie byla omezená možnost zpracovávat vzniklý ocelový odpad. V roce 1878 si nechal anglický vynálezce S. G. Thomas patentovat konvertor se zásaditou vyzdívkou. Thomasův konvertor umožňoval zpracovávat rudy s větším obsahem fosforu (zastoupených v rudě ve formě fosfátů). Thomasova technologie se rychle rozšířila.



Obrázek: Thomasův konvertor

² Rovnovážný diagram soustavy železo - uhlík viz příloha B

Dalším významným pokrokem byla v roce 1864 konstrukce Siemens-Martinských pecí. Tyto pece měly uzavřenou nístěj a přehříváním topného plynu a vzduchu umožňovaly dosažení vyšších teplot uvnitř konvertoru. Vysoké teploty umožňovaly zpracování neomezeného množství ocelového odpadu (šrotu). Siemens-Martinská technologie se velice rychle rozšířila a v 1. polovině 20. století byla nejpoužívanější metodou výroby oceli. V roce 1902 se ocel začala vyrábět v elektrických indukčních pecích (zahřívání elektromagnetickou indukcí) a elektrických obloukových pecích (zahřívání elektrickým obloukem mezi elektrodami a materiálem). Od roku 1952 se postupně rozšířila technologie výroby oceli v kyslíkových konvertorech (LD konvertory). Dnes je 90 % světové produkce oceli vyráběno v kyslíkových konvertorech a elektrických obloukových pecích.

Princip ocelářských pochodů [41]

Ocelářské pochody jsou založeny na snižování koncentrace prvků, jejichž přítomnost je v oceli nežádoucí a na zvyšování koncentrace těch prvků, jejichž zastoupení je v oceli nižší, než je požadováno.

Postupy **snižování** koncentrace prvků v oceli zahrnují :

- oxidaci prvků na plynné oxidy,
- oxidaci prvků na oxidy v oceli nerozpustné a jejich absorpci ve struse,
- rozdělení prvků mezi kov a strusku,
- snížení koncentrace prvků v oceli snížením parciálního tlaku v atmosféře.

Kyslík potřebný k oxidaci se do soustavy dostává ve formě oxidů, které jsou zastoupeny v rudě nebo je dmýchán v plynném skupenství. Důležitá je zejména oxidace uhlíku, vzniklý oxid uhelnatý má vliv na průběh dalších pochodů.

Mezi postupy **zvyšování** koncentrace prvků v oceli patří:

- legování oceli (prvky s nižší afinitou ke kyslíku, např. Ni, Cu, Mo, W jsou přidávány do oceli před oxidací, zatímco prvky s vyšší afinitou ke kyslíku, např. Mn, Cr, V, Si, Al, Nb, Ti, jsou přidávány až do dezoxidované oceli, aby se snížil jejich propal),
- dezoxidace oceli (snižování obsahu kyslíku, nejčastější dezoxidační přísadou je hliník),
- modifikace oceli (ovlivnění skupenství nebo chemického složení vměstků)

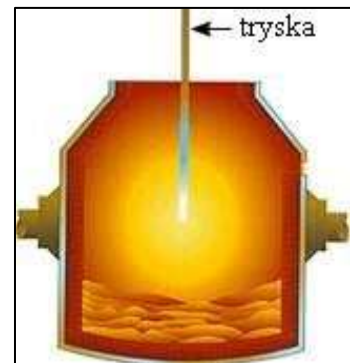
Hlavními surovinami pro výrobu oceli jsou surové železo a ocelový odpad. K tvorbě strusky se běžně používá vápno (popř. vápenec) a tavidlo (kazivec nebo bauxit). K roztavení surovin a průběhu chemických reakcí je nezbytné značné množství tepla, které je přiváděno do pece zvenčí. Podle potřeby se během výroby (před nebo po odlití do pánve, případně až při mimopecním zpracování) přidávají dezoxidační, nauhličovací a legovací přísady.

Výroba oceli v kyslíkových konvertorech (metoda LD)

Konvertor je hruškovitá nádoba z ocelových plechů, je vyztužen žáruvzdorným materiálem (magnezitem a dolomitem). V podélné ose konvertoru je umístěna vodou chlazená tryska, kterou je do konvertoru dmýchán čistý kyslík. Tryska je v konvertoru upevněna tak, aby bylo možné konvertor v případě potřeby sklopit. Kyslíkové konvertory jsou obvykle uzpůsobeny na 300 t vsázky, doba tavby činí 30 min.

Do konvertoru se sází ocelový odpad a struskotvorné přísady. Množství struskotvorných přísad závisí na množství zastoupených nežádoucích příměsí. Obecně se na jednu tunu surového železa spotřebuje 60 – 100 kg vápna a 2,4 – 4 kg tavidla. Dosahuje-li teplota v konvertoru 1 250 – 1 350 °C, nalévá se do něj surové železo.

Do tekutého surového železa je tryskou dmýchán kyslík, který je původcem probíhajících chemických reakcí. Cílem tavby v konvertoru je oduhličení a odfosfoření oceli a její ohřev na požadovanou teplotu. Při odpichu (pec se nakloní) je nutné kontrolovat, aby se do pánve nedostala struska. V pánvi většinou následuje dezoxidace a legování oceli.



Obrázek: Kyslíkový konv.

Výroba v elektrických obloukových pecích

Ocelový plášť elektrické obloukové pece je vyztužen žáruvzdorným materiálem (magnezit, dolomit). Víko a stěny pece jsou chlazeny vodou. Zdrojem tepla jsou elektrické oblouky, které hoří mezi vsázkou a grafitovými elektrodami. Ocel zbavená přebytkem uhlíku a fosforu se odlévá do pánve, v níž následuje dezoxidace, odsíření, dolegování, případně modifikace.



Obrázek: Elektrická oblouková pec

Elektrická oblouková pec pracuje se vsázkou až 300 t, doba samotné tavby by neměla překročit dvě hodiny.

Vyrobená ocel se z pánve odlévá do kokil, jen malá část se odlévá do pískových forem. Po ztuhnutí se vyrobené polotovary odváží do míst dalšího zpracování.

4.1.2 Litina

Průmyslově využívaná litina obsahuje obvykle 2 – 4 % uhlíku ve formě grafitu nebo cementitu Fe_3C a příměsí dalších prvků (většinou křemík, mangan), které zlepšují její vlastnosti. Litina je méně kvalitní než ocel - nelze ji zpracovávat tvářením, je méně odolná vůči vysokým teplotám. Je ale odolnější vůči korozi, působení alkalických roztoků a koncentrované kyselině sírové. Často je využívána, protože je poměrně dostupná a levnější než ocel.

Litina se vyrábí tavením surového železa, litinových zlomků, (případně i ocelového odpadu), koksu, vápence a dalších přísad v kuplovně. Kuplovna je válcovitá, šachtová, žáruvzdorně vyzděná pec vysoká asi 6 m. Do pece je vháněn předehřátý vzduch, který podporuje probíhající procesy. V pravidelných časových intervalech se provádí odpich. Roztavený materiál se shromažďuje v předpeci nebo připravených pánvích. Méně častá je výroba litiny v elektrické indukční, případně obloukové peci.

4.1.3 Přehled významných slitin železa [37, 41, 44]

1) Oceli

Druhy ocelí lze klasifikovat podle různých hledisek, např. podle způsobu, kterým byly vyrobeny, chemického složení nebo použití. Většina vyrobené oceli je použita ke tváření (na výrobu konstrukčních materiálů nebo nástrojů). K odlévání je určeno asi jen 1 % světové produkce oceli.

V současné době je ocel klasifikována podle nových českých norem, které jsou v souladu s evropskými předpisy (ČSN EN). Každý typ oceli je označen skupinou znaků, které vyjadřují možnosti použití a základní chemické, fyzikální a mechanické vlastnosti.



Oceli ke tváření je možné podle chemického hlediska rozdělit na oceli nelegované (množství jednotlivých prvků nedosahuje mezních hodnot stanovených normami³) a oceli legované (minimálně v jednom případě je dosaženo mezní hodnoty). Důležitější je klasifikace oceli podle normy ČSN EN. Ta rozděluje oceli podle způsobu použití do dvou hlavních skupin: **konstrukční oceli** a **nástrojové oceli**. Jednotlivé skupiny tedy zahrnují jak oceli legované, tak nelegované.

Oceli na odlitky se rozdělují podle způsobu použití, v současné době však neexistuje norma ekvivalentní normě pro rozdělení oceli ke tváření.

a) Konstrukční oceli

Klasifikace konstrukční oceli podle normy ČSN EN 10 020:

Oceli pro svařované konstrukce tvoří většinu vyrobené oceli. Tyto materiály se používají pro stavbu mostů, věží a dalších konstrukcí potřebných ve stavebnictví. Důležitou vlastností je jejich svařitelnost. Dobré svařitelnosti je dosaženo díky nízkému obsahu uhlíku (v rozmezí 0,13 – 0,20 %) a omezenému obsahu Cr, Mo a Cu. Oceli jsou legovány menším množstvím Cu, Ni, a Cr pro zvýšení odolnosti proti korozi. Často jsou přidávána malá množství dalších prvků, které mají zlepšit zejména mechanické vlastnosti.

³ Tabulka mezních obsahů legovacích prvků v příloze C

Oceli pro výztuž betonu obsahují 0,22 % uhlíku, 0,05 % fosforu, 0,05 % síry, 0,012 % dusíku. Tyto typy oceli jsou poměrně dobře svařitelné, mez únavy a pevnosti jsou předepsané normami.

Oceli pro výrobu kolejnic jsou nelegované nebo legované manganem či chromem. Pro všechny typy je předepsaná maximální hodnota obsahu uhlíku. U těchto ocelí je požadována zejména dobrá odolnost proti kontaktní únavě.

Automatové oceli obsahují vyšší obsah síry (nad 0,10 %), která zlepšuje obrobiteľnosť. Vzhľadom k väčšiemu obsahu síry však nejsou vhodné pro svařování. Používají se pro výrobu sériových součástek, např. různých šroubků a matek.



Oceli k cementování (sycení povrchu oceli uhlíkem) se vyznačují nízkým obsahem uhlíku (do 0,2 %). Oceli určené pro cementování mohou být nelegované i legované (chromem, niklem, manganem, molybdenem). Přesné obsahy jednotlivých prvků jsou předepsány normou. Cementované oceli se vyznačují tvrdou povrchovou vrstvou a houževnatým jádrem, specifické vlastnostmi jsou dány množstvím a druhem zastoupených legujících prvků.

Oceli k nitridaci (sycení povrchu oceli dusíkem) obsahují dva nebo více z následujících prvků: hliník, molybden, chrom a vanad. Příslušnou normou jsou dány maximální obsahy křemíku, manganu, fosforu a síry (popř. hliníku a niklu). Nitridováním vznikají na povrchu materiálu nitridy, které zvyšují jeho pevnost.

Oceli na pružiny obsahují až 0,85 % C. Všechny typy musejí splňovat podmínku vysoké meze pružnosti a meze únavy. Namáhané pružiny jsou legované křemíkem, manganem a chromem (popř. niklem nebo vanadem).

Oceli k zušlechťování (kombinace kalení a popouštění⁴) jsou dalším druhem ocelí. Normou je stanoveno složení nelegovaných (obsah uhlíku 0,30 – 0,70 %) i legovaných ocelí. Podle druhu legující přísady (nejčastěji se používá Ni, Nb, V, Ti, Mo, W) má materiál charakteristickou strukturu, vlastnosti a použití. Ušlechtilé oceli se na rozdíl od obyčejných ocelí vyznačují vyšší čistotou a celkově lepšími mechanickými vlastnostmi.

⁴ Kalení oceli je ohřev na požadovanou teplotu, prodlévání na této teplotě a ochlazení nadkritickou rychlostí. Popouštění oceli je ohřev na určitou teplotu, výdrž na této teplotě a následné pomalé ochlazení vhodnou rychlostí.

Nerezavějící (koroziuvzdorné) oceli jsou schopné pasivace, a proto odolávají elektrochemické korozi v oxidačním prostředí. Pro nerezavějící oceli je charakteristický obsah chromu (více než 11,5 %) a nízký obsah uhlíku (méně než 0,10 %). Uhlík je v nerezavějících ocelích nežádoucí, protože snižuje obsah chromu (vzniká karbid chromu). V místě styku zrn karbidu chromu s chromem pak dochází k interkrystalické korozi. Ochranou proti interkrystalické korozi je legování prvky s vyšší afinitou ke kyslíku, než vykazuje chrom (nejčastěji používané jsou Nb, Ti, Ta). Do nerezavějících ocelí se používají i další přísady (často používaný je vedle chromu Ni, dále Mo, Mn nebo Cu), které zvyšují odolnost v chemicky agresivnějších prostředích nebo zlepšují mechanické vlastnosti materiálu.

Žárovečné a žáruvzdorné oceli mají specifické vlastnosti dané chemickým složením. Žáruvzdornost je odolnost oceli proti oxidaci za vyšších teplot (nad 600 °C). Nejčastěji se pro tyto účely používají chromové a chromniklové oceli, které jsou legované např. křemíkem, hliníkem a případně dalšími přísadami (Mo, Ti, V). Žárovečnost je odolnost proti oxidaci za vyšších teplot při současném dlouhodobém mechanickém namáhání. Žárovečné oceli jsou legované jednak prvky, které zajistí žáruvzdornost materiálu (tj. Cr, Ni, Al, Si atd.) a také prvky, které vytvořením stabilních karbidů zvýší žárovečnost (Mo, W, V, Nb, Ti, B).

b) Nástrojové oceli

Oceli na řezné nástroje mohou být jak nelegované, tak legované. Nelegované typy obsahují obvykle 0,50 – 1,50 % C, používají se pro výrobu menších a méně namáhaných nástrojů (vrtáky, pilky na kov, frézy apod.). Legované nástrojové oceli pro řezné nástroje jsou tvrdší, používají se například pro výrobu nástrojů pro tváření kovových materiálů. Nejčastějšími přísadami legovaných typů jsou chrom, wolfram, molybden a vanad (obvykle v celkovém množství max. 5 %). Významnou skupinou ocelí pro řezné nástroje jsou rychlořezné oceli, které vykazují mimořádnou stabilitu mechanických vlastností za tepla (až do teplot okolo 550 °C). Hlavním legujícím prvkem rychlořezných ocelí je wolfram, dále molybden, chrom, vanad, kobalt (v celkovém množství okolo 20 %).

Oceli na nástroje pro lisování a ražení za studena mají složení charakteristické pro účel, kterému budou sloužit. Nástroje namáhané rázy (kladiva, razidla apod.) musejí být vyrobeny z obzvláště tvrdých materiálů. Oceli pro tyto účely jsou nejčastěji legovány manganem (do 1,6 %), křemíkem (do 1,9 %) a chromem.

Nástroje určené pro lisování a ražení za studena jsou většinou nelegované nebo nízkolegované (chromem nebo niklem).

Oceli pro práci za tepla musejí být odolné zejména proti deformaci, korozi a vyšším teplotám. Většinou obsahují pouze 0,25 – 0,55 % uhlíku. Nejčastěji jsou legované chromem, vanadem, wolframem a molybdenem.

c) Oceli na odlitky

Oceli na odlitky mohou být jak nelegované, tak nízkolegované i vysokolegované. Nelegované oceli na odlitky obsahují maximálně 0,60 % uhlíku, zastoupení ostatních prvků (např. P, S, Mn, Si, Cr) je omezeno horní hranicí. Využití nacházejí jako konstrukční součásti řady strojů a technického vybavení průmyslových závodů. Častá je také výroba nízkolegovaných ocelí na odlitky, které nacházejí využití podle typu a množství zastoupeného prvku. Například ocel s přídavkem manganu (1,6 %) se používá na výrobu velmi namáhaných strojních součástí (např. turbíny), ocel s přísadou 1 % chromu, (3,25 % niklu) a 0,50 % molybdenu se používá na výrobu zemědělských pluhů či zubů pro lžíce bagrů. Vysokolegované oceli na odlitky obsahují většinou přísadu chromu (až 22 %), dále niklu, křemíku nebo manganu. Nacházejí uplatnění jako korozivzdorné, žáruvzdorné, žáropevné nebo abrazivzdorné materiály ke zhotovování odlitků.



2) Litiny

Litiny se rozdělují podle vnitřní struktury, která je dána zejména celkovým složením a rychlostí tuhnutí. Podle tohoto hlediska rozdělujeme litiny na bílé s cementickým eutektikem a litiny grafitické s grafitovým eutektikem. Příměsí jiného prvku (nebo jeho sloučeniny) do taveniny grafitové litiny vznikají legované litiny.

Rychlým ochlazením taveniny vzniká velice tvrdá **bílá litina**. Používá se na výrobu tvarově jednoduchých odlitků s vysokou odolností proti opotřebení (např. lopatky metacích tryskačů). Nelegovaná bílá litina je výchozím produktem pro výrobu temperované litiny (viz dále).

Grafitických litin existuje více druhů. Na jejich mechanické vlastnosti má vliv zejména tvar, velikost, obsah a způsob rozložení zastoupeného grafitu. Podle tvaru grafitu se litiny rozdělují na litinu s lupínkovým, kuličkovým a červíčkovým grafitem a temperovanou litinu. Litina s lupínkovým grafitem (dříve označována jako šedá litina) se používá zejména ve strojírenském a stavebním průmyslu. Podobné využití má i temperovaná litina, která je o něco tvrdší. Největší procento litiny s kuličkovým grafitem (dříve označována jako tvárná litina) je využito v automobilovém průmyslu. Litina s červíčkovým grafitem (dříve litina vermikulární) je pro své vlastnosti vhodná pro výrobu odlitků vystavených změnám teploty (např. ocelářské kokily, části brzd vozidel).

Legované litiny tvoří jen malou část produkce litin (cca 5 %). Podle převažující přísady je možné je rozdělit do čtyř základních skupin:

- **litiny legované hliníkem** – obsahují 1 – 30 % hliníku. Tyto druhy litin mají obecně velkou odolnost vůči korozi, nízkou hustotu a vysoký elektrický odpor. Jejich vlastnosti a použití se liší v závislosti na zastoupeném množství hliníku. Například litiny s 2 % Al se používají na výrobu výfuků diesel motorů, vysokolegované litiny (22 % Al, 2 % B) se používají na výrobu žáruvzdorných odlitků s vysokou pevností.
- **litiny legované křemíkem** obsahují do 20 % Si. Slitiny s obsahem 4 – 7 % Si jsou až do teploty 850 °C žáruvzdorné (příkladem je slitina **silal**, která obsahuje 4 – 6 % Si, 1,6 – 2,5 % C a 0,4 – 0,8 % Mn), používají se na víka pecí apod. Litiny s 10 – 18 % Si jsou významné pro svou chemickou odolnost (zejména vůči působení kyselin), používají se pro výrobu kotlů, čerpadel a dalších zařízení v chemickém průmyslu.
- **litiny legované chromem** – obsah chromu se v těchto litinách pohybuje většinou v rozmezí 3 - 35 %. Litina legovaná chromem je obecně žáruvzdorný materiál s vysokou odolností vůči korozi a opotřebením. Nízkoalegované chromové litiny (cca 3 % Cr) se používají pouze s příměsími dalších prvků (Mo, Cu, Ni, Mn...). Vysokolegované chromové litiny, které se vyznačují velmi vysokou odolností vůči opotřebením, nacházejí uplatnění zejména v těžkém průmyslu.
- **litiny legované niklem** se podle obsahu niklu rozdělují do dvou skupin. Bílé litiny s obsahem Ni do 6 % (známé jako **Ni-hard**) jsou odolné proti abrazivnímu opotřebením, proto se používají například na výrobu mlecích koulí apod. Grafitické litiny s obsahem 13 – 35 % Ni (označované **Ni-resist**) se vyznačují spíše odolností proti vysokým teplotám, korozi a chemickým vlivům. Používají se také pro konstrukci chladírenské techniky (do teplot –196 °C).

4.2 Slitiny neželezných kovů

Neželezné kovy a jejich slitiny tvoří z celkové roční produkce a spotřeby kovových materiálů asi jen 5 %, což je relativně malý podíl ve srovnání s 95 % představovanými slitinami železa. Nízký podíl jejich spotřeby však neznamena jejich druhořadý význam. Tyto kovové materiály mají své specifické vlastnosti a nacházejí využití v mnoha průmyslových odvětvích.

4.2.1 Vlastnosti

Často se stává, že čistý kov, který nemá příliš velké uplatnění, je nenahraditelnou součástí některé významné slitiny. Vlastnosti slitin neželezných kovů nejsou přímo závislé na vlastnostech jednotlivých použitých složek. Sléváním vzniká látka, která má zcela jiné vlastnosti, než zastoupené složky.

Barva slitiny nesouhlasí s barvou jednotlivých kovů. Výhodou je obvykle vyšší hustota slitiny (celkovou hustotu nelze vypočítat ze vzájemného poměru zastoupených složek).

Pevnost slitiny je většinou vyšší než pevnost jednotlivých složek. Postupně roste s množstvím vedlejšího kovu až do určité hranice, kdy začne klesat. Pevnost může zvýšit ještě přísada dalších (legujících) složek. Podobný trend lze vyzorovat také u tvrdosti materiálu. S rostoucí tvrdostí ovšem klesá houževnatost slitiny, proto je nutné najít ideální poměr zastoupených kovů.

Teplota tání slitin neželezných kovů je většinou nižší než teplota tání jednotlivých složek. S teplotou tání rovněž souvisí lepší slévatelnost slitiny v porovnání se slévatelností jednotlivých komponent.

Tepelná a elektrická vodivost slitin je obvykle nižší než mají čisté kovy. Některé slitiny mají velký odpor, i přestože vznikly sléváním dobrých elektrických vodičů (příkladem je slitina Cr – Ni).

Odolnost proti korozi a jiným chemickým vlivům méně ušlechtilého kovu lze zvýšit přísadou některého ušlechtilého kovu, který tvoří s původním kovem v tuhém stavu tuhý roztok.

Vnitřní stavbou a strukturou kovů a slitin se zabývá metalografie. Pomocí elektronového nebo optického mikroskopu studuje souvislosti mezi strukturou a vlastnostmi materiálu. Dále lze kontrolovat vlastnosti kovů a slitin během jejich zpracování a hledat příčiny vad a nefunkčnosti takových výrobků [43].

4.2.2 Metody výroby

Nejpoužívanější metodou pro výrobu slitin z kovů je tavení, tj. smísení kovů v tekutém stavu. Méně častá je příprava slitin z kovů v tuhém stavu. Může probíhat aluminotermicky, spékáním, nebo elektrolyticky.

Tavením lze slitiny vyrábět několika způsoby, vždy se dbá na co nejnižší spotřebu energie. Jsou-li teploty tání kovů rozdílné, roztaví se kov s vyšší teplotou tání a snáze tavitelný kov se do něj postupně přidává. Pokud je ale ve slitině zastoupení kovu s vyšší teplotou tání menší, postupuje se jinak. Nejdříve se roztaví snáze tavitelný kov a za stálého zvyšování teploty se do něj druhý kov postupně přidává. Tavení probíhá podle množství a druhu slitiny v kotlích, v kelímkových, nístějových, rotačních nebo elektrických pecích. Před oxidací je tavenina chráněna ochrannou vrstvou, nejčastěji vrstvou mletého dřevěného uhlí, boraxu, mletého písku nebo skla. Lepší ochranou je práce v ochranné atmosféře nebo ve vakuu. Před odléváním je nutné slitinu dezoxidovat vhodnými prvky (např. pro cínové bronzy se používá fosforová měď), odstranit pohlčené plyny, které by mohly zhoršit kvalitu odlitku a upravit teplotu vhodnou k odlévání.

Aluminotermická výroba slitin je založena na smísení práškových oxidů kovů, které mají tvořit slitinu, s práškovým hliníkem. Po zapálení směsi dojde k redukci oxidů kovů a roztavení směsi. Reakcí se uvolní tolik tepla, že není nutné dodávat teplo z jiných zdrojů. Slitina tedy není znečištěna uhlíkem.

Při **metodě spékání** (prášková metalurgie, viz 5.3.) se čisté kovové prášky smísí, slisují a spékají. Teplota musí být dostatečně vysoká, aby se jednotlivé složky vzájemnou difúzí spojily v kompaktní hmotu.

Elektrolytická výroba slitin je založena na současném vylučování dvou kovů na katodě nebo současném vylučováním kovů ze sloučenin (např. výroba Monelova kovu).

4.2.3 Přehled významných slitin neželezných kovů [9, 41, 36, 37]

Slitiny mědi

Významné slitiny mědi lze rozdělit do dvou hlavních skupin – mosazi a bronzy.

Mosazi jsou slitiny mědi a zinku, případně dalšího prvku. Podle hmotnostního zastoupení zinku (a tedy i struktury) se mosazi rozdělují do dvou skupin: α mosazi

(do 38 % Zn) a $\alpha+\beta$ mosazi (nad 38 % Zn). Většina mosazí obsahuje maximálně 45 % Zn, protože slitiny s jeho vyšším zastoupením jsou pro svou křehkost technicky nepoužitelné. Mezi průmyslově významné mosazi patří:

Tombaky – mosazi s obsahem zinku max. do 20 %

Hlubokotažné mosazi – mosazi s obsahem kolem 32 % zinku, které jsou významné svou vysokou tažností

Murtzova slitina – mosaz s přísadou 2 % Fe, která zlepšuje kování

Durana – mosaz s přísadou Al a Fe, která zlepšuje otěruvzdornost

Delta kov – mosaz s přísadou 1 % Mn a 1% Fe, která zvyšuje odolnost proti solím, používá se např. při konstrukci lodí

Alpaka (bílá mosaz, niklová mosaz, pakfong, nové stříbro) – slitina mědi, niklu, často s přidavkem zinku a dalších kovů (nejčastěji Sb, Sn, Pb, Cd), které zlepšují její vlastnosti, většinou tvrdost nebo odolnost proti korozi. Alpaka se používá v bižuterii, pro výrobu hudebních nástrojů, kuchyňských potřeb, některých mincí apod.



Obrázek: Mince (mezikruží - niklová mosaz)

Bronzy jsou obecně slitiny mědi a některého dalšího prvku. Jsou pojmenovány podle toho, který další prvek obsahují:

Cínové bronzy – slitiny mědi a cínu obsahující většinou maximálně 22 % cínu. Jsou odolné proti korozi a tření. Používají se na výrobu plechů, drátů, ložisek, pružin apod. Bronz s obsahem cínu kolem 22 % se nazývá **zvonovina**, což je slitina, která se dodnes používá k výrobě zvonů. Zvláštním druhem cínového bronzu je **dělovina**, která obsahuje 10 % cínu. Používá se k výrobě dělových hlavní historických zbraní. **Zrcadlovina** obsahuje 30 – 33 % cínu a používá se pro výrobu optických zrcadel.

Hliníkové bronzy jsou slitiny mědi s hliníkem (v množství maximálně 12 %), často s přidavkem dalších prvků, například železa, niklu nebo manganu. Hliníkové bronzy jsou pevné, tvrdé a odolné proti korozi. Používají se k výrobě součástek, které jsou vystaveny velkému mechanickému namáhání.

Olovené bronzy jsou slitiny mědi a olova, někdy s přidavkem cínu nebo menšího množství Ni, Mn, Sb nebo Ag. Jsou to materiály s dobrými kluznými vlastnostmi, proto se používají pro výrobu nejrůznějších ložisek.

Niklové bronzy – slitiny mědi a niklu s různým hmotnostním zastoupením. Slitiny s obsahem niklu do 2 % mají dobré mechanické vlastnosti. Niklové bronzy s 15 – 20 % niklu jsou používány na výrobu hlubokotažných předmětů a k ražení. Tzv. **kupronikl** (30 % niklu) je slitina velmi odolná proti chemickým vlivům nasyceného roztoku NaOH až do 80 °C. **Konstantan** (= **nikelin**), slitina 60 % mědi a 40 % niklu je používána pro výrobu elektrických topných těles a odporů.

Manganové bronzy obsahují 5 – 15 % manganu, často se ještě legují hliníkem, niklem nebo křemíkem. Jsou tvárné a dobře se odlévají. Významná je slitina **manganin** (84 % Cu, 12 % Mn, 4 % Ni), která se používá na výrobu elektrických odporů. Díky své malé tepelné roztažnosti je také vhodná pro výrobu přesných kovových přístrojů. Manganové bronzy s příměsí hliníku jsou velmi pevné, používají se pro výrobu turbínových lopatek, ložisek apod.

Beryliové bronzy obsahují kromě mědi a 1,8 – 2,5 % berylia často ještě příměsí Ni nebo Co. Jsou velmi pevné, pružné a dobře odolávají opotřebení. Přísada Be podporuje nejiskřivost, proto se tyto bronzy používají na výrobu nástrojů pro práce ve výbušném prostředí.

Křemíkové bronzy jsou slitiny mědi s 1 – 4 % křemíku, popřípadě s přísadou Mn, Ni, nebo Pb. Jsou odolné proti korozi a proti působení mechanických sil. Používají se pro výrobu elektrochemických součástí, armatur apod.

Červené kovy jsou bronzy s přísadou různého množství cínu, zinku a většinou i olova. Používají se zejména pro výrobu odlitků.

Slitiny zinku

Slitiny zinku vynikají výbornou slévateľností a vyrábějí se z nich především odlitky lité pod tlakem a ložiska. Pro tyto typy slitin je nutná vysoká čistota zinku.

Slitiny Zn – Al obsahují 1 až 10 % Al, mohou obsahovat menší podíl Cu, Mg, Mn, případně dalších prvků. Používají se například k tlakovému odlévání menších, méně namáhaných odlitků.

Slitiny hliníku

Slitiny hliníku jsou významné pro svou nízkou hustotu a dobré mechanické vlastnosti. Některé jsou také velmi dobře odolné proti korozi.

Slitiny Al–Mg (obchodní názvy **hydronalium**, **magnalium** apod.), někdy s obsahem Si se vyznačují dobrou svařitelností, tvařitelností, lehkostí a odolností proti

korozí a vlivům mořské vody. Přídavek Si umožňuje lepší tepelné zpracování (je možné vytvrzení). Používají se v letectví, stavitelství a bytové architektuře.

Slitiny Al–Mn se tepelně nevytvrzují, jejich vlastnosti a použití jsou podobné jako u slitin Al–Mg. Slitina Al–Mn je často používána jako pevnější náhrada čistého hliníku.

Významnou skupinou slitin hliníku jsou **slitiny Al–Cu–Mg**, tzv. **duraly** s obsahem 1 – 6 % Cu a do 6 % Mg. Jsou velmi pevné a lehké, proto našly uplatnění v automobilovém a leteckém průmyslu, při výrobě jízdních kol apod.

Slitiny Al–Zn–Mg–Cu (3 – 8 % Zn, 1 – 3 % Mg, do 2 % Cu) jsou nejpevnějšími slitinami hliníku, proto jsou používány ke konstrukci vysoce namáhaných součástí leteckého a automobilového průmyslu.

Slitiny Al – Li s přídavkem dalších prvků se vyznačují velmi nízkou hustotou a pevností srovnatelnou s pevností duralů. Jejich výroba je technologicky velmi náročná (v ČR se vůbec nevyrábí).

Slitiny Al–Si, tzv. **siluminy** jsou velice dobře slévateľné a odolné proti korozí. Po litinách jsou siluminy nejběžnějšími slévářskými slitinami. Často se legují ještě dalšími prvky (Cu, Ni, Mg). Používají se zejména v automobilovém průmyslu (konstrukce pístů apod.) a ke konstrukci aparatur pro práci s koncentrovanými kyselinami.

Slitiny niklu

Monely (Monelův kov) jsou slitiny obsahující více než 50 % niklu s Cu (26 – 30 %) a jinými přísadami (Fe, Mn, Al). Monely jsou odolné proti chemickým sloučeninám (zejména proti halogenovodíkovým kyselinám, jsou dobře otěruvzdorné).

Hastelloy jsou slitiny Ni s Mo, případně s dalšími kovy (např. Cr). Tyto slitiny jsou velmi odolné proti chemickým vlivům. Jsou ale drahé, proto je jejich použití omezené. Používají se při práci s kyselinou octovou, monochloroctovou a HCl.

Nichrom je slitina Ni a Cr, která je odolná proti vysokým teplotám. Stejně jako slitina nikelin se používá pro výrobu topných těles (např. elektrické ohřívací spirály).

Alnico je slitina Ni s Al a Co, **magnico** je slitina Ni s Mg a Co. Obě se používají pro speciální účely (např. výroba mikrofonů nebo magnetů).

Slitiny olova

Slitiny olova jsou obecně dobře slévateľné. Nejčastějšími přísadami jsou Sb, Sn a Ca.

Tvrđé olovo je slitina Pb a Sb. Ze slitin s 3 – 4 % Sb se vyrábějí plechy a trubky v chemickém průmyslu, pláště kabelů apod. Ze slitin s obsahem 4 – 10 % Sb se zhotovují lité armatury a dříve se z nich zhotovovaly akumulátory.

Měkké olověné pájky jsou slitiny Pb a Sn. Pájky s nižším obsahem cínu jsou levnější a používají se např. pro klempířské práce, utěšňování nádob apod.

Slitiny Pb–Ca, popř slitiny **Pb– Sn–Ca**, v nichž je vápník zastoupen řádově v desetinách procenta, se používají na výrobu akumulátorů.

Olověné kompozice jsou slitiny obsahující Pb, 10 % Sn a 15 % Sb+Cu. Vyrábějí se z nich kluzná ložiska.

Liteřina je slitina Pb, Sb (12 – 25 %) a Sn (3 – 14 %). Dříve se používala v tiskařství.

Slitiny cínu

Měkké cínové pájky jsou slitiny Pb a Sn. Pájky s vyšším obsahem cínu se používají v potravinářství a elektrotechnice.

Cínové kompozice jsou slitiny Sn, Sb a Cu, někdy obsahují také Pb. Tyto slitiny vynikají dobrými kluznými vlastnostmi, proto se používají na výrobu namáhaných kluzných ložisek.

Slitiny hořčíku

Slitiny na bázi hořčíku se vyznačují malou hustotou. V porovnání s hliníkovými slitinami nedosahují takových pevností. Používají se zejména v leteckém a automobilovém průmyslu na výrobu méně namáhaných součástí. Mezi hlavní legující prvky patří Al, Mn, Zn, méně často Zr, Li nebo kovy alkalických zemin.

Slitiny Mg s Al, Zn a malým množstvím Mn a se označují názvem **elektron**. Ze slitin s 3 – 6 % Al a 1 – 3 % Zn se vyrábějí běžné odlitky. Slitiny hořčíku s 8 – 9 % Al a 0,5 % Zn jsou schopny vytvrzování, zhotovují se z nich např. namáhané motorové skříně. Velice často se používá slitina hořčíku s 3 % Al a 1 % Zn.

Slitiny titanu

Titan patří mezi nejnovější konstrukční materiály, jeho rozšíření ale brání jeho vysoká cena. Slitiny titanu mohou obsahovat řadu legujících prvků, např.: Al, V, Sn, Cr, Mo, Zr atd. Velká část vyrobeného titanu se používá v raketové technice.

Nejrozšířenější slitinou titanu je **TiAl6V4**, slitina Ti a Al, která po tepelném zpracování dosahuje vysoké pevnosti. Spotřebuje se na ni 50 % veškerého vyrobeného titanu.

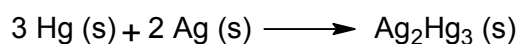
Slitiny beta (TiAl3V13Cr11) dosahují snad nejvyšší možné pevnosti.

Slitina nitinol (obsahuje Ti a Ni atomárně v poměru 1:1) je nazývána slitinou s tvarovou pamětí. Pokud jsou tyto slitiny deformovány za nízké teploty, při ohřevu se vrací zpět do původního tvaru. Využívají se například v lékařství (fixace čelistí, páteře apod.) nebo ke konstrukci tepelných pojistek.

Intermetalika γ (TiAl) obsahují kolem 50 % Al a v malém množství další legující prvky (například Nb, Zr, V, Ta). Používají se pro výrobu součástek, které mají odolávat vysokým teplotám (např. součásti tryskových a spalovacích motorů).

Slitiny rtuti

Amalgámy jsou slitiny rtuti. Praktické využití mají pouze **dentální amalgámy**, což jsou slitiny Hg–Ag–(Sn–Cu). Přípravují se smísením kapalné rtuti a práškové směsi ostatních kovů v poměru 1:1. Vzniklá hmota pomalu tuhne, důvodem je fázová přeměna:



Slitiny kobaltu

Kobalt se používá hlavně jako legující prvek. **Slitina Fe–Co–V** se například používá v elektrotechnice.

Slitiny Co–Cr–W–C známé pod názvem **stelity** obsahují 40 – 55 % Co. Jsou velmi tvrdé. Používají se pro výrobu různých nástrojů nebo ložisek.

Slitiny Co–Cr–Ni–Mo–(W) jsou velice odolné vůči vysokým teplotám a agresivním chemickým prostředím. Do této skupiny patří slitina **vitallium** (CoCr27Mo5Ni3) s 64,75 % Co, která se používá v lékařství (výroba implantátů).

Slitiny Fe–Co (60 – 65 % Fe) se používají pro výrobu tvrdých magnetů.

Slitiny stříbra a zlata

Slitiny stříbra se většinou používají v elektrotechnice (na výrobu elektrických kontaktů) nebo v klenotnictví. Pro tyto účely se používají slitiny Ag s Cu, Zn, Pd a dalšími kovy, které dodávají stříbru potřebnou tvrdost a odolnost.

Také slitiny zlata se používají v elektrotechnice (výroba vysoce spolehlivých elektrických kontaktů) a klenotnictví. V klenotnictví se zlato používá zejména ve slitinách s Cu, Pt, Ag, Ni, Pd, které mu dodávají charakteristické zbarvení. Například slitina Au, Ni (7 – 15 %) a Pd (1 – 6 %) se nazývá **bílé zlato**. Zlato se využívá také v lékařství a chemickém průmyslu (Au–Pt trysky pro výrobu umělých vláken).



Obrázek: Hodinky
(bílé zlato)

Slitiny platinových kovů

Platina a její slitiny se používají v elektrotechnickém průmyslu (výroba speciálních elektronek a kontaktů). Dále se používají v chemickém a farmaceutickém průmyslu (platinové kelímky), pro výrobu elektrod zapalovacích a žhavicích svíček motorů. Podobně i ostatní platinové kovy a jejich slitiny mají svá specifická využití.

Významné je také použití platiny v chemickém průmyslu pro katalýzu řady organických syntéz. Vlastností práškové platiny se využívá k odstranění nežádoucích látek z výfukových plynů.

Slitiny ostatních kovů

Roseho (Roseův) kov – slitina 50 % Bi, 25 % Sn a 25 % Pb se pro svou nízkou hodnotu teploty tání (90 °C) používá jako bezpečnostní plomba a jako nízkoteplotná pájka

Woodova slitina – 50 % Bi, 27 % Pb, 13 % Sn a 10 % Cd má teplotu tání 70 °C a má stejné využití jako Roseho slitina

Slitiny Cr–Mn obsahují až 5 % manganu. Používají se v elektrotechnice a jsou vhodné pro výrobu elektrod zapalovacích svíček.

5 ZPRACOVÁNÍ KOVŮ A SLITIN

5.1 Slévárenství

Slévárenství je výrobní odvětví, které se zabývá výrobou předmětů (odlitek) litím roztaveného kovu nebo slitiny kovů do předem připravené formy. Formy rozdělujeme podle trvanlivosti na tři typy:

- a) **trvalé** formy – většinou kovové, slouží pro odlití až 1 000 odlitek
- b) **polotrvalé** formy – vyrobené ze speciálních keramických materiálů nebo slitin, umožňují odlití až 100 odlitek
- c) **netrvalé** formy – pískové formy, které lze použít pouze jedenkrát

Po ztuhnutí a stáhnutí (popřípadě rozebrání nebo rozbití) formy je získán odlitek, který se ještě dále upravuje (chemickými nebo mechanickými způsoby). Slévárenství lze podle způsobu práce a hotových výrobků rozdělit na dvě základní odvětví: hutní slévárenství a strojní slévárenství.



Obrázek: Odlévání do pískové formy

5.1.1 Hutní slévárenství

Hutní slévárenství neboli odlévání oceli se provádí v ocelárnách. Vyrobená tavenina požadované oceli se vypouští do licí pánve, v níž se nechá několik minut odstát. Doba odstání je pro každý druh oceli jiná, pohybuje se v rozmezí 5 – 20 minut. Během této doby se snižuje teplota, mírně se mění chemické složení, protože odchází část rozpuštěných plynů. Následně se zahájí odlévání do tzv. **kokil** – trvalých kovových forem jednoduchých tvarů (většinou válec, hranol, popř. komolý kužel nebo komolý jehlan). Způsob a rychlost odlévání, teplota odlévané taveniny, velikost a tvar použitých kokil se pro různé druhy oceli liší. Získané odlitky se nazývají **ingoty**. Po dostatečném ztuhnutí jsou z nich speciálními jeřáby stahovány kokily, hotové ingoty jsou dopravovány do míst dalšího zpracování (např. válcovny).



Obrázek: Kokily, vpravo kokily a ocelové ingoty

5.1.2 Strojní slévárství

Strojní slévárství zahrnuje výrobu veškerých strojích součástí, ale také odlévání uměleckých předmětů (zvonů, šperky) nebo praktických výrobků (mlýnky na maso apod.). Výroba odlitků je velice náročná, na celé výrobě se podílí více odborníků (formíř, technolog, metalurg, slévač, chemik atd.). Výrobní proces zahrnuje: výrobu modelů, přípravu formovací směsi, výrobu forem a jader, tavbu kovů, odlévání, závěrečné úpravy a zkoušky.

1) Výroba modelů

Model (šablona) je pomůckou pro výrobu forem, jeho tvar odpovídá tvaru budoucího odlitku. Model musí být dostatečně pevný a tvrdý, většinou má několik dílů. Vyrábí se ze dřeva, které je v dnešní době často nahrazováno umělými materiály, které jsou odolnější proti vlhkosti. Při výrobě modelu se musí počítat se smrštěním roztaveného kovu ve formě, proto musí být modely větší o tzv. míru smrštění, která se pro různé materiály liší.

2) Výroba formovacích směsí, forem a jader

Formovací směsi jsou suroviny, které se používají pro výrobu netrvalých pískových forem a jader. Směsi musí mít zejména velkou odolnost proti vysokým teplotám, dostatečnou pevnost, dobrou prodyšnost (aby mohly při odlévání snadno

odcházet vznikající plyny), musí být snadno tvárné a nesmí chemicky reagovat s materiálem odlitku. Základní složkou, která tvoří až 98 % objemu formovací směsi [32], je **ostřivo** (ve většině případů se používá křemenný písek). **Pojivo** je tvárná spojovací složka. Ve formovací směsi se jeho zastoupení pohybuje v rozmezí 1 – 10 % (nejčastěji používaným pojivem je jííl bentonit $\text{NaAl}_3\text{MgSi}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4$). Do směsi se ještě přidává ve vhodném poměru voda a některé další látky, které umožňují výrobu kvalitní formy a její snadné odstranění z hotového odlitku. Trvalé nebo polotrvalé kovové formy se v současné době vyrábějí pomocí obráběcích strojů ve specializovaných výrobnách.

Jádra jsou volné části forem, většinou tvoří vnitřní tvar (dutinou) odlitku. Jádra se vyrábí pomocí tzv. jaderníků (formy pro výrobu jader) nebo tzv. šablonováním (jádro se např. vykrouží otáčením kolem vodorovné osy pevnou šablonou). Jádra musí být prodyšná, proto se při výrobě klade důraz na systém průduchů, které se vytvářejí pomocí drátů (z hotového jádra se dráty vytáhnou) nebo voskových provazců (při sušení se vosk vytaví). Pevnost jádra zvyšují drátové výztuhy. Při sériové výrobě odlitků se jádra vyrábějí strojně (vytlačovací stroje).

Většina netrvalých pískových forem se v dnešní době vyrábí také strojně. Formovací stroje mechanizují zejména plnění formovací směsí. Odstraňují tak fyziky namáhavou práci a zrychlují výrobu, hotové formy jsou pevnější, přesnější a lépe upěchované. V některých řemeslných odvětvích (například zvonařství) však doposud zůstává zachováno ruční formování (viz 6.3.2.).

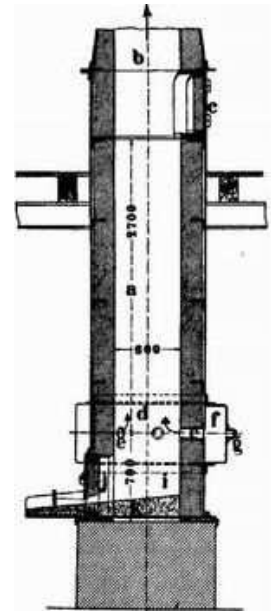
Vytvarovanou formu i jádro je většinou nutné před dalším zpracováním dostatečně vysušit, aby se zvýšila pevnost, prodyšnost a odstranila nadměrná vlhkost. Sušení probíhá pod sušícími kamny (kamna se nasadí přímo na formu) nebo častěji v komorových, popř. tunelových sušárnách (formy se pohybují na dopravních vozících). Při ručním formování se pod formou neustále topí, takže forma je vysoušena průběžně. Formy pro menší odlitky není většinou nutné vysušet, kov se odlévá přímo do tzv. syrových forem. Volba mezi syrovou a vysušenou formou také závisí na druhu materiálu, ze kterého má být odlitek zhotoven.

3) Tavení kovů

Tavba kovů probíhá v tzv. tavírně, v pecích různého typu. Jedna z nejběžnějších je tzv. kuplovna. Kuplovna je válcovitá pec vyzděná šamotovým zdivem, suroviny se zaváží shora. Spodní vrstvu tvoří palivo (koks), nad ní je ve vrstvách střídavě naveno železo (surové slévárenské železo, litinový a ocelový odpad, feroslitiny), tavidlo

(vápenec) a další palivo (koks). Výfučnými, které jsou umístěny ve spodní části, je po zapálení a rozžhavení podkladového koksu dmýchán do kuplovný vzduch nezbytný k hoření. Teplota v peci dosahuje až 1 600 °C, spotřeba koksu činí průměrně 8 – 12 % váhy zavezeného železa. Během tavení vzniká struska, která se shromažďuje na povrchu roztaveného kovu. Průběžně se vypouští struskovou výpustí, aby se nedostala do dutiny formy. Vznikající plyny se odvádějí komínem, jiskry se zachycují tzv. lapačem jisker a prach je zachycen tzv. lapačem prachu. Celá tavba trvá v závislosti na taveném materiálu 6 až 10 hodin, šamotovou vyzdívku je nutné po každé tavbě opravit. Někdy se místo šamotové vyzdívky používá kvalitnější magnezitová, která vydrží nepřetržitou tavbu trvající 5 – 6 dní.

Kromě kuplovný existuje řada dalších druhů pecí, příkladem je elektrická indukční pec, stále častěji používaná elektrická oblouková pec, nístějová pec pro tavbu slitin hliníku nebo kelímková pec pro malé množství kovu.



Obrázek: kuplovna

4) Odlévání



Tekutý kov se na místo odlévání dopravuje v pánvích, které mají spodní výpust', aby se do formy nedostala struska. Podle tvaru a typu odlitku, který má být zhotoven, lze využít některou z následujících technologií odlévání. Nejjednodušší je gravitační odlévání – forma je vyplněna pouze působením gravitační síly na taveninu. Formy složitějších tvarů vyžadují k dokonalému vyplnění formy dostředivé lití (tavenina je do ní vtlačena odstředivou silou rotačního pohybu formy). Ještě náročnější odlitky vyžadují tlakové lití (tavenina je do formy tlačena pístem tlakového licího stroje), které se používá zejména v automobilovém průmyslu.

Je-li odlito dostatečné množství taveniny, nastává fáze tuhnutí (krystalizace). V tavenině na mnoha místech (nejvíce u stěn formy) dochází k tvorbě zárodků krystalů.

Jednotlivé krystaly postupně narůstají, dokud se neseťkají (kovové materiály jsou proto polykrystalické). Pro dobré mechanické vlastnosti (vyšší pevnost a mez skluzu) materiálu je vhodné usilovat o co největší počet zárodků krystalů, tedy jemnozrnnou mikrostrukturu. Toho docílíme buď zvýšením ochlazovací rychlosti (lze použít pro menší odlitky) nebo tzv. očkovaním – do taveniny jsou záměrně vnášeny jemné cizorodé částičky, na kterých vznikají zárodky nových krystalů a výsledná mikrostruktura je jemnější. Očkovací látky jsou různé, například pro slitiny hliníku se nejčastěji používá titan, bor, zirkonium nebo fosfor.

5) Závěrečné úpravy odlitků

Mezi hlavní závěrečné úpravy odlitků patří stahování formy, čištění odlitků, odstranění přebytečných nálitků bruskami a případné barvení nebo moření. Netrvalé formy malých odlitků jsou odstraňovány vyklepáváním. Velké odlitky se musejí nejdříve uvolnit z nosných rámců, poté jsou vytloukány pneumatickými kladivy, proudem vody pod vysokým tlakem, případně dalšími modernějšími metodami. Písek, který odpadává, je po úpravě použit k výrobě nových forem. Mechanické čištění menších odlitků (do 120 kg) se provádí v bubnových tryskačích - odlitky se převracejí v bubnu, kde se vzájemným třením o sebe čistí. Pro větší účinek se do bubnů přidávají ocelové hvězdičky. Velké odlitky (do 20 t) se čistí v komorovém tryskači – na odlitek je pod tlakem vrhán ocelový písek. Pokud není možné některé připečeniny na povrchu odlitku odstranit mechanickým způsobem, používá se chemické čištění.

Odlitek zbavený písku se obroušuje, aby se odstranily zbytky zalitého písku, popř. vzniklé nerovnosti. Často ihned po obroušení je ošetřen antikoročním nátěrem.



Obrázek: Broušení

5.2 Tváření kovů

Tváření je technologický proces, při kterém dochází k požadované změně tvaru výrobku v důsledku působení vnějších sil bez odběru třísek. Podstatou tváření je vznik plastických deformací, ke kterým dojde v okamžiku dosažení napětí na mez skluzu

charakteristickou pro daný materiál. Celý děj je provázen fyzikálními změnami a změnami struktury materiálu, které ovlivňují mechanické vlastnosti.

Technologické tvářecí procesy je možné rozdělit podle dosažené teploty na tváření za studena a tváření za tepla.

- a) **Tváření za studena** se provádí při teplotách nižších, než je teplota počátku rekrystalizace (pod hodnotou 30 % teploty tání tvářeného materiálu). Při tváření za studena dochází ke zpevnění, klesá tažnost. Výhodou je vysoká přesnost rozměrů a kvalitní povrch (nedochází ke vzniku okují⁵). Nevýhodou je nutnost použít velkou tvářecí sílu, nerovnoměrné zpevnění a omezená tvárnost.
- b) **Tváření za tepla** probíhá nad rekrystalizační teplotou (nad hodnotou 70 % teploty tání daného materiálu). Materiál se nezpevňuje, k tváření za tepla jsou potřeba menší síly než k tváření za studena. Nevýhodou je nekvalitní povrch (vlivem okují).

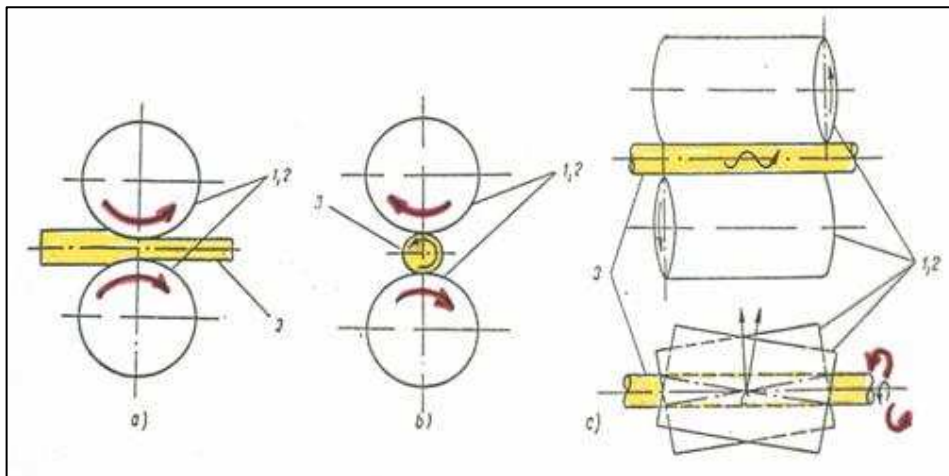
Tvářecí procesy také můžeme rozdělit podle působení vnějších sil na tváření objemové a plošné. Objemové tváření nastává ve směru tří os souřadného systému. Zahrnuje válcování, kování, tažení drátů a profilů a protlačování. Plošné tváření, při kterém převládá deformace ve dvou směrech, je například stříhání, rovnání, ohýbání, tažení apod.

5.2.1 Objemové tváření

Válcování je proces, při kterém se přehřáté ocelové ingoty deformují mezi otáčejícími se válci za podmínek všestranného tlaku. Během válcování dochází k deformaci materiálu, snižování výšky, prodlužování a rozšiřování. Výsledkem je produkt, který se nazývá **vývalek**. Válcování se provádí většinou za tepla, ale někdy i za studena. Podle směru, kterým válcovaný materiál mezi válci prochází a podle os válců vzhledem ke tvářenému materiálu se válcování rozděluje na tři typy: válcování podélné, příčné a kosé. Podélným válcováním (materiál se tváří ve směru podélném) se vyrábějí dlouhé polotovary, například tyče, kolejnice apod. Příčným válcováním se ve směru příčném

⁵ Okuje – odpadlé kousky materiálu

vyrábí vývalek s kruhovitým průřezem, tímto způsobem se vyrábějí například osazené hřídele. Kosým válcováním, což je tváření mezi dvěma válci s mimoběžnými osami, se vyrábějí například trubky.

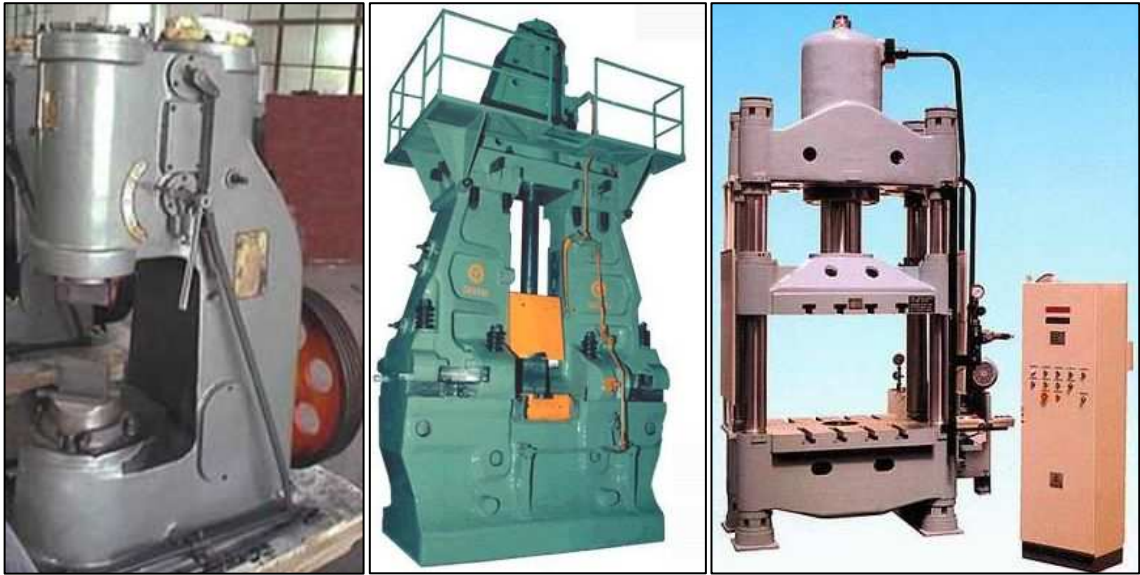


Obrázek: Princip podélného(a), příčného (b) a kosého válcování (c)

Kování je objemový tvářecí proces probíhající za tepla, při kterém se materiál deformuje úderem nebo klidně působící silou. Tímto způsobem zpracování získává výrobek požadovaný tvar, ale také se zlepšuje jeho vnitřní struktura, čímž je dosaženo lepších mechanických a fyzikálních vlastností.

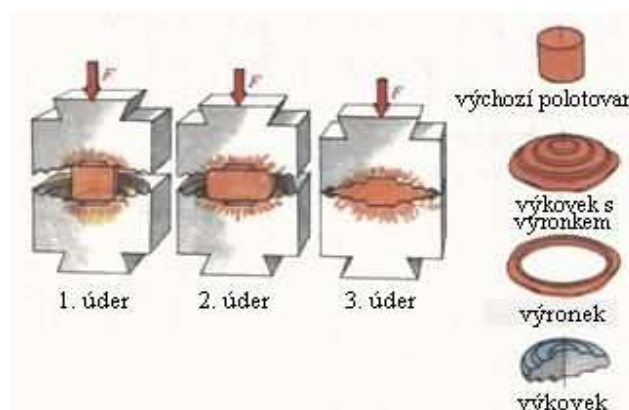
Kování je jedna z nejstarších metod zpracování kovů. Dříve se kovalo ručně pomocí kladiva a kovadliny. Dnes se používají různé kovací stroje, které namáhavou práci usnadňují. Kování se rozděluje na kování volné a zápustkové kování.

Při volném kování (tj. kování probíhající na kovadlině) je materiál tvářen údery nebo tlakem tak, že může téci ve směru kolmém k působení síly. Nejčastěji používanými stroji při této výrobní metodě jsou **buchary** a **lisy**. Buchary jsou stroje které působí na materiál údery tzv. beranu, **lisy** působí na materiál klidným tlakem. Mezi základní pracovní postupy volného kování patří například pěchování (deformace materiálu mezi dvěma čelistmi), prodlužování (kování do délky, tzv. vytahování), osazování (zmenšení průměru na některém místě), děrování (prorážení a prostřihování otvorů) a sekání.



Obrázek: Buchary (vlevo, uprostřed) a lis

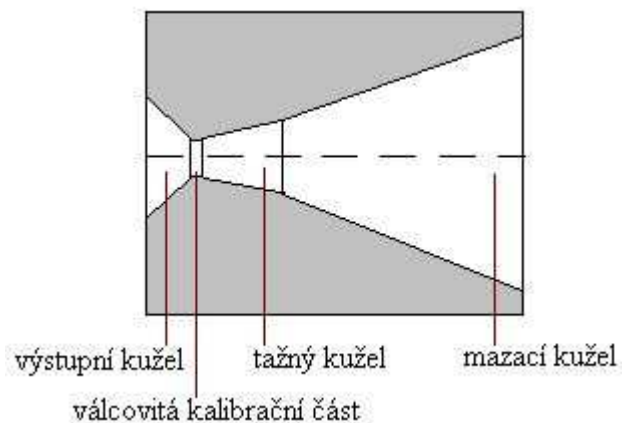
Při zápusťkovém kování je materiál vtláčován údery nebo tlakem do kovové, většinou dvoudílné zápusťky (tvarová dutina). Tato metoda je přesnější a výkonnější než volné kování. Používá se k sériové výrobě součástek z oceli, případně z jiných tvárných slitin. Při zápusťkovém kování se polotovar rozehřátý na potřebnou kovací teplotu vloží do dutiny zápusťky a působí se na něj tvářecím strojem (používají se buchary nebo lisy). Materiál se tak deformuje a vyplňuje prostor dutiny zápusťky pýchováním nebo vtláčováním. Aby byl prostor dutiny dokonale vyplněn, má vstupní polotovar větší objem, než je objem hotového výkovku. Přebytek kovu je vytlačen do zvláštní dutiny zápusťky ve formě tzv. výronku. Po vyjmutí výrobku ze zápusťky je výronek odstříhnut.



Obrázek: Postup při zápusťkovém kování

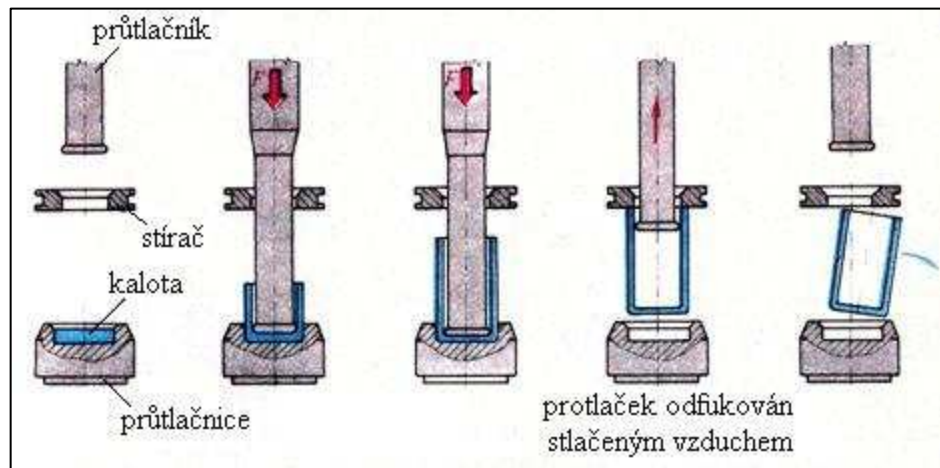
Kromě volného a zápustkového kování existují další speciální metody. Příkladem je kování na vodorovných kovacíh strojích (síla působí proti směru posunu kovové tyče), kování protlačováním (kombinace protlačování a kování), kování za rotace (provádí se za studena, výroba přesných součástek rotačního tvaru) a vícecestné kování (materiál uzavřený v zápustce je podroben tlaku lisovníků z několika stran).

Tažení drátů a profilů je dalším typem objemového tváření. Může probíhat jak za tepla, tak za studena. Výchozí polotovár, kterým je drát, tyč nebo trubka, prochází při tažení otvorem průvlastku (viz dále). Zmenšuje tak svůj příčný průřez a zároveň se prodlužuje. Tažení probíhá na tažných stolicích, které jsou vybaveny průvlastkem a tažným vozíkem s klešťovým zařízením. Průvlastky jsou nejčastěji používaným nástrojem pro tažení drátů, tyčí a profilů. Schéma průvlastku je patrné z obrázku. Důležitý je zejména mazací kužel, který umožňuje pravidelné rozetření maziva okolo polotovaru. Jako mazivo se používá například borax, emulze, fosfáty nebo mýdlový prášek. Kalibrační část průvlastku zajišťuje hladký povrch výrobku.



Obrázek: Tažná stolice

Protlačování je tváření kovů protlačováním otvorem menšího rozměru, než je rozměr výchozího materiálu. Výrobky získané touto metodou se nazývají **protlačky**. Protlačování může probíhat jak za tepla, tak za studena, provádí se strojně pomocí tzv. protlačovadel (speciální lis). Během vzniku protlačku dochází k deformaci materiálu ve směru působící síly, snahou je získat výrobek vhodných rozměrů a mechanických vlastností. Protlačování se rozděluje podle směru pohybu materiálu a nástroje na protlačování dopředné, zpětné, kombinované, stranové a radiální.



Obrázek: Technologie protlačování

Dopředné (přímé) protlačování je charakteristické stejnsměrným pohybem materiálu a průtlačníku. Při zpětném protlačování se materiál pohybuje v opačném směru. Při kombinovaném protlačování se materiál pohybuje v obou směrech, hotové výrobky jsou velmi odolné proti namáhání. Stranové protlačování zahrnuje metody založené na pohybu materiálu kolmo na směr protlačování. Radiální protlačování je tváření, při kterém se materiál i části nástroje pohybují v radiálním směru vzhledem k ose materiálu.

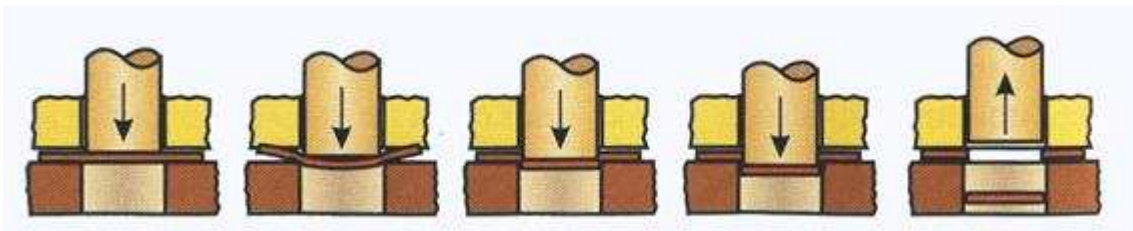
Speciálním typem protlačování je ražení trubek. Výchozím materiálem jsou válcované špalky potřebné délky, které se ohřívají a následně děrují dopředným protlačováním. Při této metodě je velmi velký součinitel prodloužení - z polotovaru délky 700 mm a průměru 200 mm lze vyrobit trubku délky 6 až 8 metrů.



Obrázek: Trubky

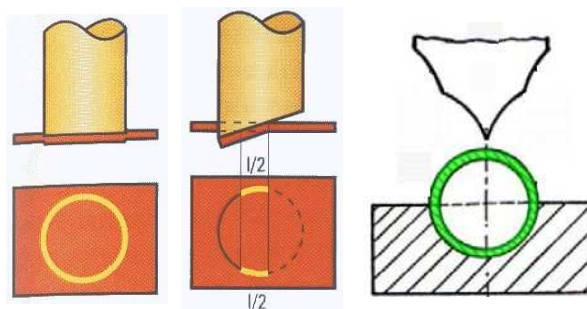
5.2.2 Plošné tváření

Stříhání je jedna z nejrozšířenějších metod tváření. Používá se nejen pro vystřihování výrobků konečného tvaru z plechu, ale také pro přípravu polotovarů (různé plechové tabule, svítky plechu apod.). Měkčí oceli nebo plechy se stříhají za studena, tvrdé a tlusté materiály za tepla (při ohřevu na teplotu asi 700 °C). Princip stříhání lze rozdělit do třech fází. V první fázi (oblast pružných deformací) se materiál stlačuje, ohýbá a vtlačuje do otvoru střížnice. Ve druhé fázi (oblast plastických deformací) se střížník (nůž) vtlačuje do plechu, plech do otvoru střížnice, napětí překračuje mez kluzu. V třetí fázi (fáze odstřížení) vznikají na hranách trhlinky, které se rozšiřují, až dojde k utržení materiálu. Nástroje pro stříhání (tzv. stříhadla) tvoří horní pohyblivý nůž (střížník) a spodní pevný nůž (střížnice). Při stříhání je nutné dbát na to, aby byl stříhaný plech co nejvíce využit a odpad byl co nejmenší. Samotnému stříhání tedy předchází sestavení nástřížného plánu.



Obrázek: Princip stříhání

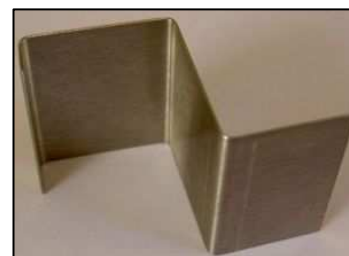
Podle konstrukce nožů použitých střížných strojů můžeme stříhání rozdělit na stříhání rovnoběžnými noži, skloněnými (šikmými) noži, kotoučovými noži a noži na profily a tyče. Lisy s rovnoběžnými noži jsou stroje, na nichž se materiál odděluje v celé délce stříhu současně. Naproti tomu lisy se skloněnými noži (nože svírají určitý úhel) stříhají materiál postupně. Výhodou postupného stříhání je menší potřebná síla, ale nevýhodou je časté zkrucování materiálu. Stříhání kruhovými noži se používá pro podélné stříhání dlouhých pásů. Pro stříhání trubek, popřípadě profilů jsou konstruovány speciální nože zakončené špičkou. Zašpičatělá část nejdříve trubku propíchne a následně je trubka stříhána rovnoměrně po obou stranách ve směru kolmém na osu trubky.



Obrázek: Rovnoběžný nůž, šikmý nůž a nůž pro stříhání trubek

Pro součástky, které musí být hladce a přesně ustřiženy, se používá metoda přesného stříhání. Konstrukce strojů pro přesné stříhání se od běžných stříhadel liší. Nečastěji se používá vibrační způsob přesného stříhání nebo stříhání s nátláčnou hranou (využívá se protitlaku).

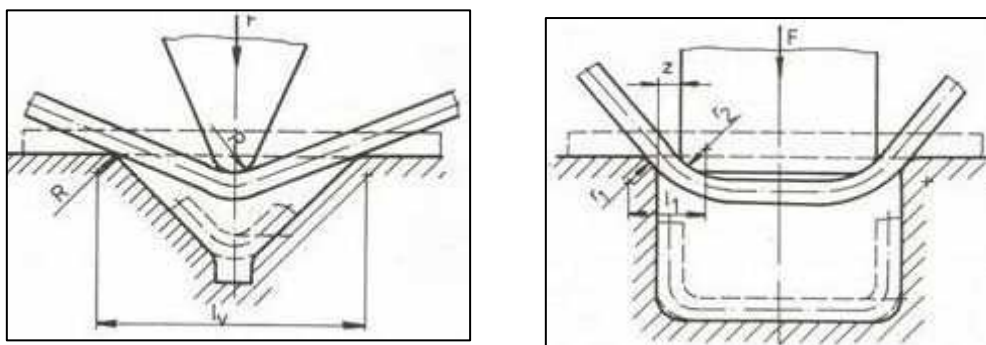
Ohýbání je trvalé tváření materiálu, při kterém se tvoří ostrá nebo oblá hrana, případně oblá plocha. Ohýbání se provádí na ručních strojích (tzv. ohýbačky) nebo strojně na lisech, popřípadě rotujících válcích. Při ohýbání dochází ke stlačení vnitřních a roztažení vnějších vrstev kovu. Mezi nimi je neutrální vrstva, která se neroztahuje ani nestlačuje. Tato vrstva je na začátku uprostřed průřezu, při ohýbání se posouvá směrem k vnitřní straně. Ohýbání je doprovázeno plastickou deformací, která po skončení ohýbání zmizí (materiál se odpruží, úhel ohnutí se zvětší). Nežádoucí vlastností technologie ohýbání je tzv. praskání materiálu (vznik trhlin na vnější straně), ke kterému může docházet při špatném postupu. Nežádoucí je také tzv. tvoření vln, tj. zvlnění ohnuté části. Tvoření vln je možné předejít bočním přitlačováním nebo použitím dostatečné tahové síly při ohýbání.



Obrázek: Ohybek

Základním rozdělením metod ohýbání je ohyb do tvaru písmene V a ohyb do tvaru písmene U. Pro každou z těchto technologií jsou ohýbací stroje uzpůsobeny tak, aby rozložení působících sil bylo co nejlepší.

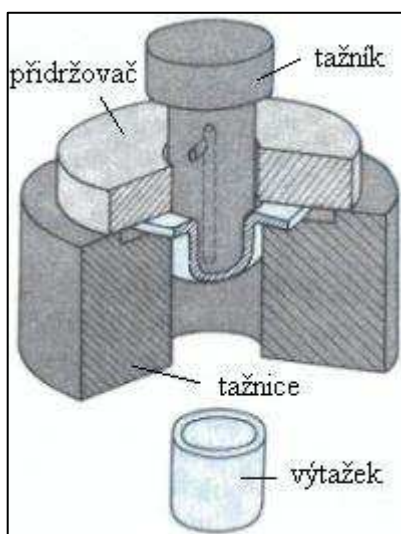
Metody ohýbání lze také rozdělit podle technologie způsobu práce. Příkladem je navíjení (tvářený materiál se navíjí na válec), zakružování (používané k výrobě válcových nebo kuželových plášťů nádob nebo trubek), lemování (vyztužení okraje výlisku) nebo ohraňování (ohýbání pásů a tabulí plechu).



Obrázek: Ohyb do tvaru písmene V a ohyb do tvaru písmene U

Rovnění je tvářecí technologie, která se používá pro odstranění nežádoucí deformace materiálu. K rovnání se používají čelisti nebo válce. Nezbytné je brát ohled na přítomnost plastických sil (materiál pruží). Pro efektivní rovnání je nutné působící sílu zvyšovat i po dosednutí čelistí. Pro rovnání velmi tenkých materiálů, drátů nebo profilů nelze použít běžných strojů. Válce nebo čelisti pro tyto účely jsou specificky uzpůsobeny.

Tažení je také technologií plošného tváření. Výchozím polotovarem je zde přístřih plechu, pás plechu nebo jiný polotovar vhodný pro úpravy plošným tvářením. Tento technologický postup umožňuje jedním nebo několika tahy vyrobit z rovného plechu duté těleso nebo polouzavřenou nádobu. Nástrojem plošného tažení je tažidlo, hotovým výrobkem je výtažek.



Obrázek: Tažidlo

5.3 Prášková metalurgie

Prášková metalurgie je jedním z nejmladších oborů zpracování kovů a jejich slitin. Vývoj práškové metalurgie začal počátkem 19. století v Rusku ražením peněz z platiny. Velkým rozvojem prošla zejména v 1. polovině 20. století se zdokonalením lisovacích strojů a slinovacích pecí. V současné době, s rychlým rozvojem technologických zařízení, nachází stále nové možnosti využití.

Práškovou metalurgií je možné vyrobit materiál se specifickými fyzikálními vlastnostmi (např. slitiny s vysokou teplotou tání nebo pórovité materiály), kterých není možné dosáhnout běžnými technologickými postupy. Další výhodou práškové metalurgie je její ekonomická nenáročnost a možnost sériové výroby součástek s velkou přesností. Výrobky práškové metalurgie se také mohou dobře uplatnit jako náhrada plastů.

Surovinami pro práškovou metalurgii jsou nejen prášky kovů, jejich slitin nebo sloučenin (například oxidy, silikáty), ale i nekovové prášky (například grafit) nebo organické látky.

5.3.1 Technologie práškové metalurgie

První výrobní stupeň práškové metalurgie je výroba prášků. Upravené a smíchané prášky se lisují do tvaru budoucího výrobku nebo polotovaru. Následným slinováním (tepelné zpracování neboli spékání) získá výrobek požadovaný tvar a vlastnosti. Slinované výrobky mohou být ještě dále upravovány.

Způsob výroby prášku z kovu závisí na konkrétním kovu nebo slitině. Mezi nejčastěji používané technologie patří:

- Mechanické drcení (v mlýnech nebo drtičích), které je vhodné pro křehké
Rozprašování kovové taveniny (vodou, popř. plynem) v rozprašovacích
hlavicích a následné ochlazení studenou vodou nebo vhodným plynem.
- Chemická metoda výroby prášků je hospodárnější než mechanická, protože
není třeba vyrábět z rudy kov a ten pak rozmělnovat na prášek. Železný prášek
se nejčastěji vyrábí redukcí hematitu uhlíkem. Prášky železa, kobaltu a niklu se
vyrábějí tepelným rozkladem jejich plynných karbonylů. Některé další kovy
(Zr, V, Nb, Ta) je možné vyrobit karbidotermickou redukcí směsi oxidu a
karbidu téhož kovu (při reakci vzniká oxid uhelnatý).

Vyrobené prášky musí být chemicky velmi čisté, důležitý je také tvar a velikost jednotlivých zrn. Kovové prášky je před dalším zpracováním nutné upravit, aby se odstranily případné vrstvičky oxidů na povrchu zrn.

Vyrobené prášky a jejich směsi se **lisují** do tvaru výrobku. Lisování se většinou provádí působením tlaku za normální nebo zvýšené teploty. Provádí se jednostranně (síla působí pouze shora), oboustranně (síla působí shora i zespod), izostaticky (prášek se lisuje v nepropustném gumovém pouzdru, výrobky nejsou tak přesné), protlačovaně (pro výrobu dlouhých polotovarů), popřípadě jinými metodami. Působením tlaku se atomy sousedních zrn postupně přibližují na vzdálenosti atomů v mřížce, mezi atomy se tak projeví přitažlivé síly. Zároveň se zvětšuje styková plocha mezi zrny, klesá pórovitost a zvyšuje se hustota.

Konečné vlastnosti získají vylišované předměty **slinováním** (tepelné zpracování neboli spékání). Při slinování dojde ke slnutí (spečení) zrn a tím k vyplnění mezer. Důsledkem je vzrůst hustoty a smrštění výrobku. Výrobek se tak stává kompaktním materiálem, získává požadované fyzikální vlastnosti (pevnost, tažnost, tvrdost, elektrická vodivost...) a rozměry. Slinování se provádí pod ochrannou atmosférou (vodík, dusík nebo zemní plyn) nebo ve vakuu, aby se zabránilo nežádoucím reakcím na povrchu prášků. Provádí se pod teplotou tání kovu, většinou při 60-90% hodnotě této veličiny. Pokud je předmět tvořen více různými kovy, řídí se průběh slinování kovem, který má bod tání nejnižší.

Pro zlepšení fyzikálních a mechanických vlastností, zpřesnění velikosti a tvaru se slinované výrobky většinou ještě dále **upravují**. Nejčastějšími úpravami jsou opakované lisování a spékání, tvarování, opracování (například vyvrtání otvorů), povrchová úprava (pokovování nejčastěji napařováním ve vakuu).

Výrobky práškové metalurgie mají mnohá využití v řadě průmyslových oborů. Mezi významné výrobky ze slinovaných materiálů patří například:

- kluzné a třecí materiály (ložiska, pístní kroužky, spojky, brzdy apod.)
- konstrukční a strojní součásti (spojky, talířová kola,...)
- elektrotechnické materiály (kontakty, magneticky měkká jádra cívek apod.)
- pórovité materiály (kovové filtry)
- turbíny a reaktory, energetická technika (pevné výtvarky odolné korozi a snášející vysoké teploty)

- Významným předmětem zájmu jsou v současné době **slinuté karbidy**, tvrdé materiály odolné proti opotřebení. Vyrábějí se spékáním slisovaných práškových karbidů wolframu (90 %) s kobaltem (10 %), popř. dalšími karbidy nebo kovy (např. Ti, Ni, Fe, TaC, VC, NbC, MoC), které jsou levnější variantou. Používají se například na výrobu řezných materiálů, k tváření nebo obrábění kovů



Obrázek: Výrobky práškové metalurgie

6 ZVONAŘSTVÍ

6.1 Zvon



Obrázek: Umístění zvonu

Zvonařství patří mezi velmi stará řemesla. Toto umělecké řemeslo se zabývá odléváním zvonů, jejich výzdobou, technickou konstrukcí a také použitým materiálem – zvonovinou. Už od nepaměti lidé své zvony pojmenovávali, a tak je povyšovali na něco více než je pouhý výrobek. Většinou zvony nesly jména světic nebo světců (Marie, Kryštof, Zikmund). Často také byly pojmenovávány podle úlohy, kterou plnily, například Umíráček ohlašoval úmrtí v obci. Pro zvon bylo pak jeho jméno charakteristické a lidé jej jinak nenazývali.

Důležitou charakteristikou zvonu je jeho akustická stránka. Zvon lze zařadit mezi idiofony (samozvučné hudební nástroje). Za tzv. úderovým tónem (hlavním tónem) se skrývá široké spektrum tónů v rozsahu několika oktáv. Všechny tóny musí být přesně sladěny, důležitá je i jejich barva, hlasitost a délka. Tajemství konstrukce zvonu je skryto v propočtu tzv. zvonového žebra (= profil zvonu). Neméně důležitá je vhodná volba materiálu, přesnost práce, způsob zavěšení a umístění zvonu.

Každý zvon má svůj **úderový (hlavní) tón**. Ten zní jen 1 – 2 sec a ztotožní se se základním tónem, tzv. **primou** (zde je nutné dokonalé ladění, aby zvon nezněl „rozladěně“). Dalším tónem je tzv. **hum**, nejspodnější a nejdéle znějící tón. Měl by být o oktávu nižší než úderový. Dalšími výrazně slyšitelnými tóny jsou **mollová tercie**, **kvinta** (ozývá se v čepci zvonu) a **vrchní oktáva**. Pokusy propočítat zvonové žebro tak, aby místo mollové tercie zněla durová tercie byly po dlouhou dobu marné. Podařilo se to až v roce 1985 firmě Royal Eijsbouts ve spolupráci s Technickou Univerzitou Eindhoven. Zvonové žebro takového zvonu mělo naprosto odlišný tvar, tyto zvony se díky svému „vypouklému“ žebro nazývaly Pregnant Bells (těhotné zvony) neboli Coca-cola Bells (jejich profil byl podobný profilu láhve). Dalšími znějícími tóny jsou ještě

decima, duodecima, superoktáva a superdecima. Ostatní tóny by měly být co nejvíce potlačené, aby nepůsobily rušivě.

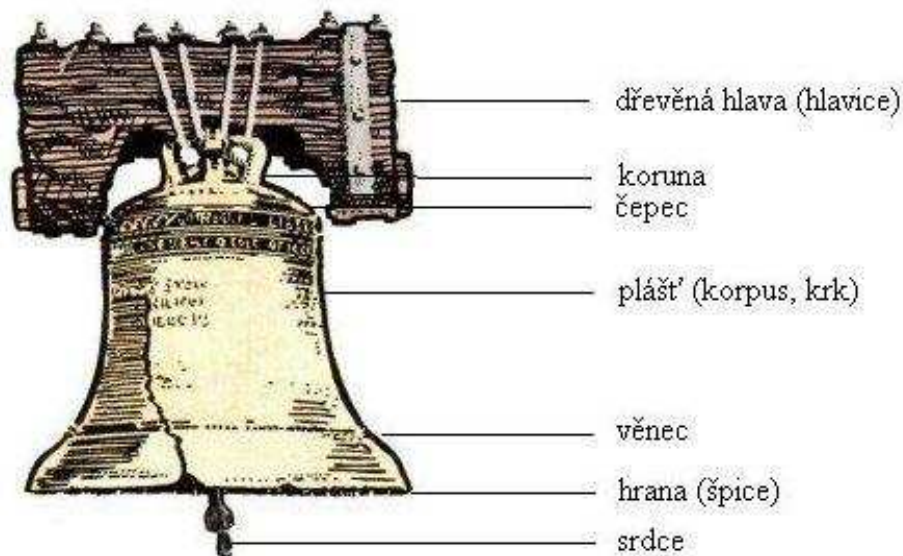
c^0	spodní tón (hum)	
c^1	nárazový (úderový) tón	
c^1	prima	
es^1	mollová tercie	nebo e^1 durová tercie
g^1	kvinta	
c^2	vrchní tón (oktáva)	
es^2	mollová decima	nebo e^2 durová decima
f^2	undecima	
g^2	duodecima	
c^3	superoktáva	
es^3	superdecima	

Tabulka: Ideální akustický obraz zvonu tónu C^1 [4]

Pro každý zvon je také charakteristická jeho výzdoba. Historické zvony mají výzdobu odpovídající době, ve které byly vyrobeny. Například zvony gotické jsou málo zdobené, zatímco zvony barokní jsou zdobené bohatě. Kromě ozdobných pásů ornamentů kolem zvonu jsou častým doplňkem kresby výjevů z Bible nebo jiná vyobrazení. Velmi důležitou součástí výzdoby jsou nápisy. Většinou obsahují jméno zvonu, rok odlít a informaci, kdo jej nechal odlít a ve které dílně byl zhotoven. Zvonaři většinou ke svému jménu přidávají rodovou značku. Zvony jsou také často dekorovány nápisy citátů z Bible nebo legend. Podle jednotlivých typů výzdoby lze rozpoznat práci jednotlivých zvonařských dílen. Ačkoliv je výzdoba pro celkový dojem z hotového zvonu důležitá, musí zvonař respektovat zákonitosti zvonového žebra. Proto již při konstrukci profilu počítá s výzdobou, aby neměla negativní dopad na kvalitu zvuku.



Obrázek: Výzdoba zvonu (Chomutov)



Obrázek: součásti zvonu

Zvon se skládá ze dvou základních částí: **těla** a **srdce**. Tělo tvoří koruna, čepec, plášť a věnec zakončený hranou. **Koruna**, která slouží k upevnění zvonu v dřevěné hlavici, bývá obvykle šestiramenná nebo čtyřramenná (někdy nazývaná čtyřuchá nebo šestiuchá – starší pojmy německého původu). Pod ní je **čepec** (vrchní zaoblená část zvonu). Hlavní částí zvonu je **plášť**, který bývá bohatě zdobený reliéfy a nápisy. Pod ním je nejširší část zvonu – tzv. **věnec** (úderová část zvonu, někdy též nazývaná rána neboli šlak) zakončený **hranou** (špicí). Koruna zvonu je kováním připevněna k dřevěné hlavici, která bývá umístěna ve zvonové stolici.

6.2 Původ zvonů, historie a vývoj zvonařství

6.2.1 Zvony a zvonařství ve světě

Počátky používání zvonů a historie zvonařství jsou staré několik tisíciletí. Historické nálezy ukazují, že už koncem 3. tisíciletí př. Kr. v sídle asyrských králů, v Ninive, byly vyráběny první typy zvonů (viz obrázek vpravo). Jedny z nejstarších zvonů byly nalezeny také v Egyptě, pozdější nálezy pocházejí ze starého Řecka. Tyto první zvony samozřejmě měly jinou podobu než jak je známe dnes, vypadaly spíše jako „kravské zvonce“. První nedokonalé zvony



se tedy objevovaly dávno před počátky křesťanství. Zvonily při různých slavnostních příležitostech, například při otevírání lázní.

Počátky zvonů v křesťanství jsou spojeny s legendami. Nejstarší z nich vypráví příběh sv. Pontia Paulina, který roku 409 při své cestě lesem pohlédl na květinu ve tvaru zvonku. Je také považován za prvního výrobce zvonů. Jiná legenda vypráví o vývoji zvonu z rolničky. Všechny tyto zvonce se dnešním zvonům téměř nepodobaly. Tyto tzv. „kančí tesáky“ opravdu vypadaly spíše jako květ Zvonku lučního, byly nýtované ze tří železných desek.

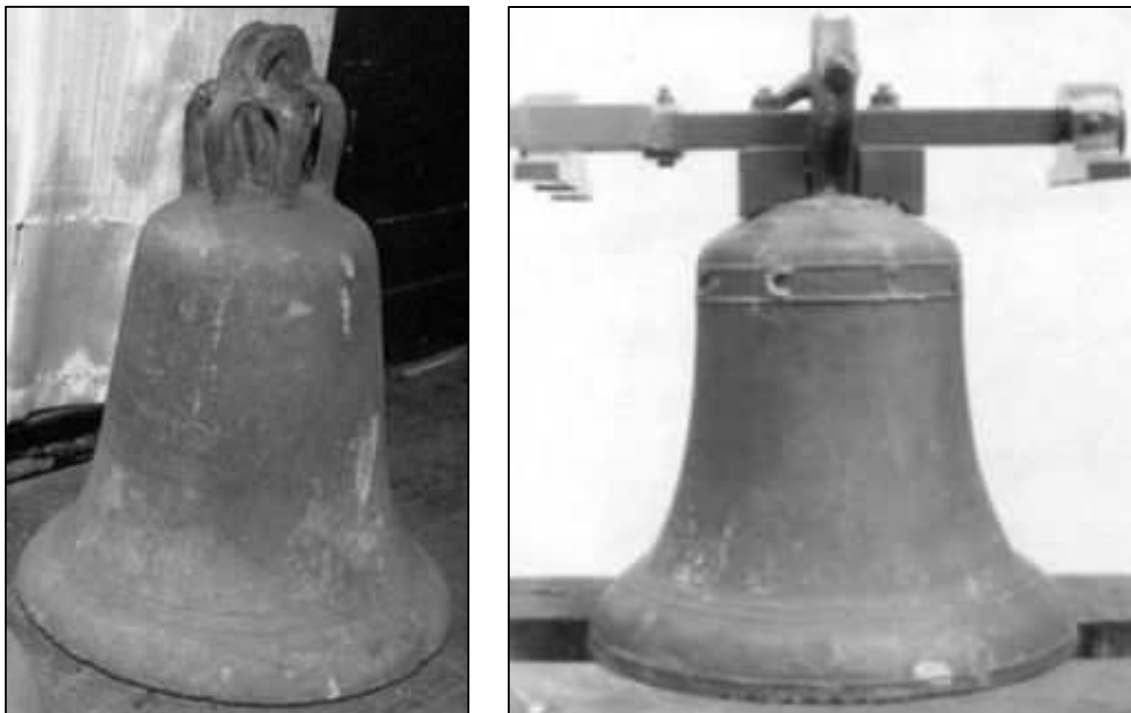
Z náboženských spisů ze 4. a 5. století se dozvídáme, že již v této době, zejména v Irsku a Británii, žili mnichové, kteří uměli zvony odlévat. První písemná zpráva o velkých zvonech pochází od dějepisce Gregora z Toursu z konce 6. století. Užití zvonů v latinské církvi je písemně zaznamenáno ve spisu kartaginského jáhna Fulgentia Ferranda z roku 535, který poslal italskému knězi Eugippiovi zvon pro církevní potřeby. O větší rozšíření zvonů v liturgii se zasadili papežové sv. Řehoř Veliký a sv. Sabinián na přelomu 6. a 7. století. Kolem roku 604 vydal papež Sabinián nařízení, podle kterého měl hlas kostelního zvonu oznamovat hodiny k modlitbám (čtyřikrát ve dne a třikrát v noci). Obecní zvony zase ohlašovaly například konec trhů, svolávání rady obce nebo blížící se nebezpečí.

S rozšířením a rostoucím významem zvonů bylo samozřejmě potřeba je zdokonalovat, jak tvarově, tak technicky i akusticky. Zvony postupně prošly vývojem od jednoduchých nýtovaných a plechových až po zvony odlévané. Jednotlivé zvony se lišily svým tvarem.

První zvony, tzv. „kančí tesáky“ a „oválné zvony“ zhruba v 8. století nahradily zvony „úlovitého typu“. Archeologické nálezy úlovitých zvonů dokazují, že zvonařství 8. století bylo již značně vyspělé. Zvonaři již znali závislost jejich tónu na hmotnosti a průměru. Kvalita jejich zvukového efektu však byla stále velice nízká, zvony vydávaly pouze křaplavé disharmonické zvuky. Ve 12. století se začíná tvar zvonu a s ním i zvuková kvalita měnit. Objevují se první zvony tzv. „homolovitého typu“, které jsou jak po technické, tak i tvarové a samozřejmě akustické stránce dokonalejší, dochází k oddělení čepce (závěsné části) od zbylé části zvonu. Koncem 12. století jsou homolovité zvony nahrazeny „gotickými zvony“, které jsou již technicky a zvukově dokonalé díky přesným výpočtům zvonového žebra (viz dále).

Technologie zvonařství 12. století se dochovala v rukopise De diversis artibus německého mnicha Theofila benediktýnského řádu. Jeho kniha vychází z mnohaletých

zkušeností a ve třech knihách pojednává o středověkém malířství, výrobě a zpracování skla a kovů včetně výroby zvonů. Mnohem více poznatků podává Vannocio Biringuccio ve své knize Pirotechnia z první poloviny 16. století.



Obrázky: Zvon úlovitého typu z 12. století (vlevo) a zvon homolovitého typu (1254)

6.2.2 Vývoj zvonařství a historie zvonů na území Čech a Moravy

Na území Čech a Moravy se zvony dostávají současně s rozšířením křesťanství. První zmínky se objevují ve 2. polovině 11. století ve spisech sázavského mnicha:

„...otec Božetěch rozšířil a vyzdobil chrám mimo jiné zvony...“

Není však jasné, zda byly zvony dovezeny nebo odlity v blízkosti kláštera.

Podle dochovaných záznamů první české zvony pocházejí ze 13. století. Nejstarší dochovaný zvon v Čechách je z roku 1286, jeho průměr je 50 cm a je uložen v Městském muzeu v Chebu. Zvon „*Maria*“ z Chlumu nad Ohří z roku 1295 je pravděpodobně druhý nejstarší zvon. V Havlíčkově Brodě se nachází zvon „*Vilém*“ z roku 1300, který váží 1900 kg a jeho spodní průměr je 148 cm. Jeho stáří lze určit z nápisu na zvonu:

*„Věhlasný když patnáctý žil opat Petr a rok Páně třináctistý kvapem spěl,
tehdy hlas můj krajem se rozletěl, aby každý úderem mým vzbuzen bděl.“*

Rozvoj zvonařství je spojen se vznikem klášterů a kostelů. Velký rozvoj v Čechách nastává ve 13. a 14. století. Století 15. nebylo pro zvonaře v důsledku různých náboženských bouří a husitských válek příliš příznivým obdobím. Podle archivních záznamů se v Čechách a na Moravě dochovalo celkem 11 zvonů ze 13. století, 32 zvonů ze 14. století, z 15. století 418 zvonů. „Zlatý věk“ českého zvonařství nastává koncem 15. a zejména v 16. století s velkým šířením náboženství a výstavbou nových kostelů. Zvony vyráběli nejzručnější slévači, zvonařství bylo velmi náročné. Z tohoto období pochází řada významných zvonů, včetně zvonu „Kateřina“ z roku 1475 z chrámu Panny Marie na Strahově.



Obrázek: Zvonařská dílna v 16. století

V 16. století působila na našem území řada slavných *zvonařských rodů*:

K nejznámějším zvonařským rodům patří **rod Brikcí**. Jeho zakladatelem byl Bartoloměj Bartoš z Berouna, který roku 1489 založil v Praze v dnešní Široké ulici zvonárnu. Zaváděl nové technologické postupy, zdokonaloval zvonové žebro a výzdobu zvonu. Jeho syn Ondřej se podílel na odlití zvonu „Václav“ pro chrám sv. Víta. V 16. století byl nejproduktivnějším zvonařem Brikcí z Cimperka, podle historických

dokladů v letech 1552-1599 ulil 186 zvonů (nemusí jít o konečný počet). Zvony z dílny Brikcího jsou význačné charakteristickou značkou (portrétní medaile) a dlouhými citáty z Bible nebo modlitbami doplněnými vysvětlujícími kresbami.



*Obrázek: Bohatě zdobený zvon
z dílny Brikcího*



Obrázek: Zpívající fontána

Tomáš Jaroš z Brna, původně královský puškař a dělolijec a autor známé „Zpívající fontány“ v zahradě Pražského hradu patří mezi významné zvonaře 16. století. Byl dvorním slévačem, ulil několik desítek zvonů včetně zvonu „Zikmund“ (z roku 1549), největšího zvonu v Čechách (hmotnost 16 tun), umístěného ve věži katedrály sv. Víta.

Vavřinec Kříčka z Bítýšky též patří mezi umělce, kteří tvořili v 16. století. Ve svém spise „Návod k lití a přípravě děl a kulí, hmoždířů, zvonů, vodotrysků apod.“ mimo jiné zaznamenal konstrukční nákresy a doprovodné texty k výrobě zvonů. Dnes ale víme, že všechny tyto návody a vzorce jsou ve spisu uvedeny záměrně špatně, aby nikdo nemohl jeho technologických postupů zneužít k otevření vlastní zvonařské dílny.

V období třicetileté války (1618-1648) nastává úpadek zvonařství, mnoho zvonů bylo zničeno, zpustla většina zvonařských hutí, zanikla řada starých zvonařských rodů nebo jejich následovníci odešli do ciziny. Zvony byly objednávány u cizích, zejména německých rodů, zanikla tak tradiční česká výroba. Situace se nezlepšila ani v 18.-19.

století. Zvony z tohoto období nejsou příliš kvalitní, při jejich výrobě nebyl kladen důraz na souzvuk vedlejších tónů, výtvarná stránka zvonů se také zhoršila.

V roce 1900 založil Josef Rudolf Manoušek starší v Brně zvonárnu, ve které se kromě výroby nových zvonů restaurovaly i staré památné zvony. Navázal po téměř tři sta letech na tradiční české zvonářství. Činnost dílny ale byla přerušena první světovou válkou. Většina zvonů, které měly podlehnout válečné rekvizici, byla naštěstí zdokumentována, byly vyhotoveny sádrové odlitky. Po válce byli lidé ochotni investovat do nákladné výroby zvonů pro své kostely velké částky. Řada zničených zvonů tak byla opět odlita. Kromě dílny Josefa Manouška staršího se na návratu zvonů do kostelů podílely další české firmy, například Rudolf Perner z Českých Budějovic, Richard Herold z Chomutova nebo dílna Kovolit R. Manoušek v České u Brna, kterou vedl Josef Manoušek mladší.

Rekvizicí druhé světové války bylo tisíce znovu vyrobených zvonů zabaveno a zničeno. Německé firmy byly po válce odsunuty, československé zvonárny byly zničeny a rozkradeny. Jedinou zvonárnou, která přetrvala až do roku 1948 byla Manouškova dílna. V 60. letech vznikaly po celém území Československa provizorní zvonárny, v dílnách pracovali dobrovolníci vedeni mistrem Gabrielem Knosem. Tyto dílny, velmi skromně zařízené, často vznikaly v hospodářských staveních. Po odlití zvonů pro okolní zvonice se dílny stěhovaly dále. Od 2. poloviny 20. století v Československu oficiálně pracovaly pouze tři zvonárny: Tkadlecova zvonárna (Halenkov), Dytrychovi (Brodek u Přerova) a Manoušek (Praha-Zbraslav).



Obrázky: Válečná rekvizice zvonů v roce 1942

Po roce 1989 se situace změnila. Otevření hranic nabízelo více možností kontaktů se zahraničními firmami. Do českých kostelů se tak dostávají zvony rakouské firmy Grassmayr nebo holandské firmy Royal Eijsbouts. Současně také dochází ke krádežím zejména malých zvonů a současně k nelegálním obchodům s památnými zvony. V roce 2002 skončila činnost Manouškova zvonárna v Praze-Zbraslavi. Po rozsáhlých povodních bylo nemožné dílnu opět otevřít, Petr Rudolf Manoušek přijal nabídku práce pro firmu Royal Eijsbouts v Astenu (Holandsko). V České republice tak fungují dnes pouze dvě zvonárny vyrábějící zvony tradičním způsobem: Zvony Perner (České Budějovice) a Zvonařská dílna Tomášková-Dytrychová (Brodek u Přerova).

6.2.3 Světové zvonářství v současné době

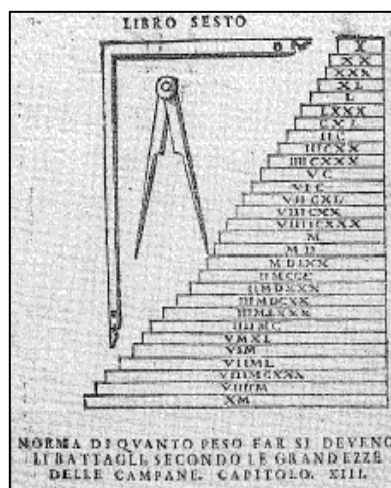
Téměř jedinými výrobci zvonů jsou v současné době země Evropy. Na ostatních kontinentech [4] funguje malá zvonárna pouze v Mexiku, v USA a jedna v Austrálii. Většina velkých zvonů a zvonoher je vyrobena v Evropě.

Podíváme-li se podrobněji na země Evropy vyrábějící zvony, zjistíme, že nejvíce produkce je soustředěno do Německa (celkem 7 zvonáren), Holandska, Belgie a Francie. V okolních státech jsou vždy maximálně dvě a směrem na jihovýchod již téměř žádné. Několik zvonáren je také v Rusku. Přestože jsou všechny fungující zvonárny značně vytižené, pod tlakem konkurence stále vylepšují své technologické metody a postupy, zapojují do konstrukce zvonů počítače. V současné době je největší zvonárnou světa holandská firma Royal Eijsbouts v nizozemském Astenu. Firma se zabývá nejen výrobou zvonů, ale také konstrukcí zvonoher, opravami a restaurováním zvonů. Moderně vybavená dílna má oddělení zabývající se speciálním softwarem pro výrobu zvonů. Nové technologie umožňují zvony dokonale vyladit, což dokazuje precizní produkce zvonářské dílny v Astenu

6.3 Technologie tradiční výroby zvonu

6.3.1 Výpočty a šablona zvonu

Každý zvonař, než začne s výrobou zvonu, musí vědět, jaký tón má zvon mít, pro jaký účel má sloužit, jaké jsou požadavky po výtvarné a stylové stránce. Z těchto údajů spočítá tzv. zvonové žebro (vypočítá se, jak bude vypadat profil zvonu). Vzorce pro výpočet profilu si každý zvonařský rod po celá staletí pečlivě střežil. Ani dnes nevíme o mnoho více. Obecně lze říci, že tajemství výpočtu je v rozložení hmoty po celé délce profilu, v respektování vzájemných vztahů a poměrů sil v tělese a především znalosti, jak se každá úprava projeví na hotovém zvonu [4]. Z historických spisů se dozvídáme, že základní veličinou výpočtů potřebných pro konstrukci zvonu byl tzv. šlak (dimenze úderového věnce). Šlak byl dán tzv. zvonovým řádem, což byla tabulka graficky znázorněných šlaků pro různé hmotnosti zvonů. Zvonové řády byly výsledkem zvonařových matematických výpočtů a také jeho vlastních zkušeností. Podle hodnoty šlaku úderového věnce zvonař počítal sílu profilu v jednotlivých uzlových bodech a jejich vzájemné poměry. Uzlové body tvořily jednak body dolního průměru, výšky a horního průměru zvonu, ale také to byly body zvonového žebra.

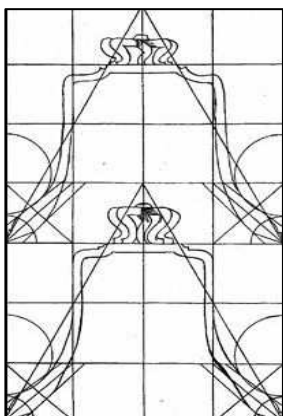


Obrázek: Zvonový řád

Například Biringuccio ve svých spisech pro výšku zvonu 14 šlaků uvádí:

„...Ve vzdálenosti 2/3 šlaku od výchozího, tj. úderového bodu se nachází první následný uzlový bod, který má mít dimenzi 2/3 šlaku. Odtud až k třetímu šlaku činí síla žebra 1/2 šlaku, mezi 3.-9. šlakem 3/7 šlaku, mezi 9.-12. šlakem 1/2 šlaku, mezi 12.-14. šlakem opět o něco více.“

Dnes víme, že i tyto údaje jsou ve spisu uvedeny záměrně špatně, zvon by podle těchto údajů nebylo možné zkonstruovat.



Z vypočtených údajů zvonář narýsoval profil zvonu, jednotlivé uzlové body nanášel pomocí kružítko a pravítka na čtvercovou síť, která byla dána hodnotou šlaku.

Na základě zhotoveného výkresu zvonář zhotoví dřevěnou nebo kovovou šablonu, pomocí níž se vytvoří vlastní forma zvonu. Šablonu tvoří vnější a vnitřní tvar, její rameno je zavěšeno na otočné hřídeli.

Obrázek: Nákres profilu

6.3.2 Forma zvonu

Nejdříve je potřeba postavit formu vnitřní strany zvonu, nazývanou **jádro**. Staví se z cihel, na které se postupně ve vrstvách nanáší hlína, tvar se upravuje vnitřní šablonou. Pod jádrem se průběžně topí, forma je tak zevnitř vysoušena. Základem materiálu pro výrobu formy je jílovitá hlína smíchaná s vodou a dalšími přísadami, které zlepšují její pevnost, odolnost a žáruvzdornost.



Obrázky: Postupné nanášení vrstev hlíny na jádro (vlevo nahoře), formování jádra vnitřní šablonou (vpravo nahoře)

Po dosažení požadovaného tvaru jádra se sejme vnitřní šablona a vytváří se takzvaný **falešný zvon**, někdy nazývaný košile. Na jádro se nanáší vrstva hlíny, jejíž kvalita je nízká. Tato vrstva, jejíž tloušťka je shodná s tloušťkou budoucího zvonu,

slouží pouze jako výplň, nemusí být žáruvzdorná ani příliš pevná. I v této fázi se v peci pod formou stále topí. Až je celá vrstva důkladně vysušena, přichází na řadu výtvarná stránka zvonu. Falešný zvon se nejdříve zahřeje, poté se za konstantního otáčení polévá roztaveným parafinem. Dokud je zvon ještě teplý, nanesou se na něj připravené voskové ozdoby, ornamenty a nápisy.

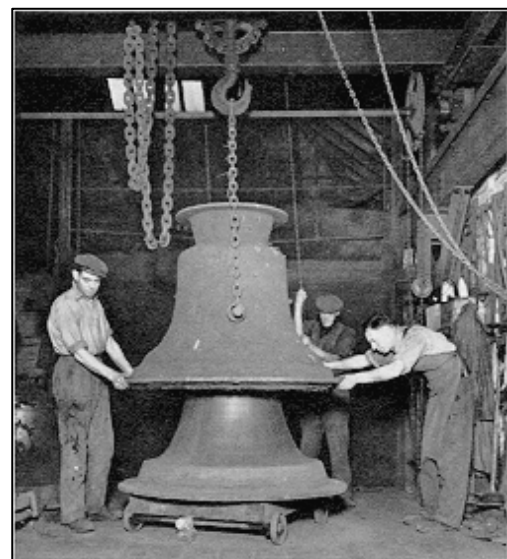


Obrázek: Falešný zvon

Na hotový falešný zvon se nanáší další vrstva jílovité hlíny s vysokou pevností a žáruvzdorností. Postupně tak vzniká vnější forma neboli **plášť**. Je nezbytné pracovat velice opatrně, aby nedošlo k poškození voskové výzdoby. První vrstva se nanáší ve formě řídké směsi, důležité je zamezit vzniku bublin a nanést směs ve stejné vrstvě po celém obvodu falešného zvonu. Další vrstva se nanáší až po důkladném vyschnutí vrstvy předchozí.

Po dosažení požadované tloušťky se dobře vysušený plášť sváže železnými háky a pásy. Celý výrobek se zahřeje na vysokou teplotu. Vosk uvnitř formy se tak roztaví a shoří (metoda ztraceného vosku). Na vnitřní části pláště zůstane negativní otisk výzdoby zvonu. Po vychladnutí se plášť nadzvedne, odstraní se hliněný falešný zvon a pak se plášť opět nasadí jádro. Forma je tak téměř hotová, mezi pláštěm a jádrem zůstal prostor pro nalití roztaveného kovu. Na závěr je ještě nutné na výrobek nasadit formu koruny. Forma koruny se vyrábí zvlášť, podobně jako forma zvonu, metodou ztraceného vosku. V koruně musí zůstat systém dutin a kanálků potřebných pro lití kovu a odvodu vzduchu.

Po důkladném spojení a utěsnění formy koruny s formou zvonu se celý „zvon“ přenesení z místa, kde byl vysoušen na místo odlévání, do lijící jámy. Prostor okolo formy se zasype hlinou a připraví se kanálky pro lití.



Obrázek: Nasazení pláště na jádro

6.3.3 Použitý materiál, zvonovina

Zvonovina je druh bronzu pískové až stříbrolesklé barvy, slitina mědi a cínu v poměru přibližně 78:22. Poměr je vhodný pro ideální pevnost, tvrdost a zvukové vlastnosti zvonu. Každá zvanařská dílna se mírně od tohoto poměru odchyluje, přesné procentuální zastoupení obou kovů je přísně střeženým tajemstvím. Obecně platí, že větší obsah cínu způsobuje jasnější a jemnější tón, ale zároveň větší tvrdost, a tím větší náchylnost k puknutí. Žádné další příměsi se do zvonoviny záměrně nepřidávají. Pokud chemická analýza zvonoviny prokáže zastoupení jiného kovu, je to u historických zvonů důsledek nedokonalé technologie čištění kovů nebo experimentů zvanařů. Pokud se příměs ve větším množství vyskytne v novém zvonu, jde o náhradu drahých kovů kovem levnějším. Často se můžeme setkat s příměsí olova, která je levnou náhražkou drahého cínu. Olovo má ovšem negativní vliv na kvalitu tónu. Je prokázáno, že jediným kovem, který do objemu 2% nemá na kvalitu hotového zvonu vliv, je antimon. V historických spisech často čteme, že bohaté ženy přinášely své zlaté a stříbrné šperky do zvanařovy dílny a vrhaly je do roztavené zvonoviny, aby měl zvon lepší zvuk. Už tehdy ale zvanař věděl, že stříbro a zlato mají na zvon pouze negativní vliv. Šperky, které ženy do žáru házely, ve skutečnosti padaly do žhavého ohniště. V žáru ohně se pouze roztavily, a tak mohl zvanař drahé kovy z vychládlého ohniště sesbírat.

Kromě zvonoviny se někdy můžeme setkat i s jinými materiály pro výrobu zvonu. Levné a špatně znějící ocelové zvony často byly umístěny na věž jen dočasně, například v meziválečném období, kdy byl zvonoviny nedostatek. Pro Orient jsou typické mosazné zvony, které samozřejmě mají také jiný tvar, způsob zvonění i zavěšení. Skleněné a porcelánové zvony se používají výjimečně, jsou křehké a nemají „plný“ hlas.

6.3.4 Tavba kovů, odlévání a závěrečné práce

Tavba kovů probíhá odděleně, protože měď a cín mají odlišné teploty tání. Nejprve se při 1200°C taví měď, pak se roztaví měkký cín a oba kovy se důkladně smíchají. Roztavenou zvonovinu je potřeba neustále kontrolovat, míchá se dřevěnou tyčí a průběžně se stahuje vyplavená struska a jiné nečistoty. Existuje několik metod, jak poznat, že zvonovina je již dostatečně roztavena. Většinou se provádí tzv. lomová zkouška – pracovník odebere vzorek taveniny a po vychladnutí jej kladivem rozlomí. Z charakteru lomu pozná, zda je tavenina v pořádku. V případě potřeby taveninu upraví

a lomovou zkoušku zopakuje. Samozřejmě i tato část výroby je tajemstvím každé zvonařské dílny. Poznat, kdy je tavenina dostatečně roztavena je výsledkem mnohaletých zkušeností zvonaře.



Obrázek: Tavenina kovů

Je-li zvonovina dostatečně roztavena a licí kanálky připraveny, nastává fáze odlévání. Pece se nakloní k licím žlábkům (nebo se vyrazí hliněné zátky uzavírající výtokový otvor) a pomalu vytéká žhavá slitina. Kovovými hráběmi se upravuje rychlost toku. Po odlití dostatečného množství kovu nastává přestávka, zvonař čeká, až zvon vychladne. Velké zvony mohou chladnout až dva týdny.



Obrázky: Odlévání zvonů

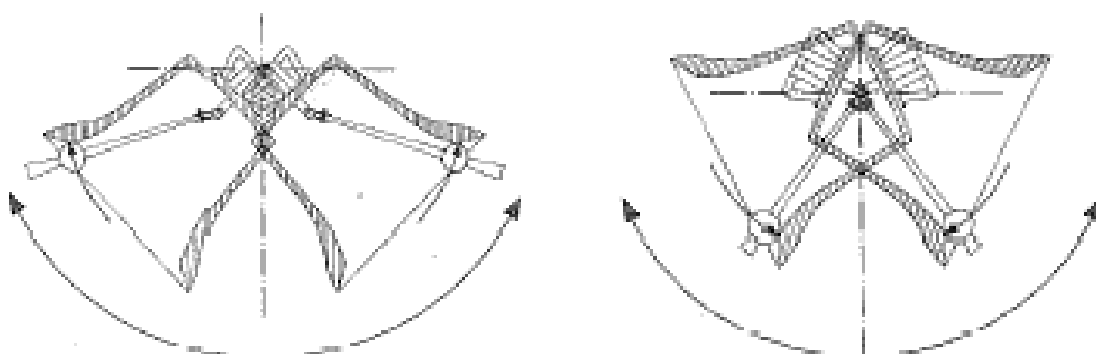
Po vychladnutí je potřeba zvon pečlivě vykopat. Nejdříve se odstraní plášť, poté se zvon položí na bok a odstraňuje se jádro. Musí se postupovat velice opatrně, aby nedošlo k poškození zvonu. Následuje zvuková zkouška, jestli hotový zvon má požadovaný tón. Podmínky a tolerance odchylek vycházejí z mezinárodní „Směrnice pro kolaudování zvonů“ vydané ministerstvem kultury a Národním památkovým ústavem, vycházející z rozhodnutí Kampanologického sjezdu v Limburku v roce 1957. Pokud zvon z akustického hlediska vyhovuje, odstraní se přebytky kovu, zvon se umyje kartáčem a pískem, a hodnotí se z kovoliteckého hlediska. Jeho povrch musí být hladký, bez bublinek, pórů a nerovností. Výzdoba musí být dokonale vykreslená, jemně se smí broušením doladovat pouze hrany písmen. Žádné další broušení, dodatečné bronzování nebo nátěry nejsou povoleny.

Celá výroba jednoho zvonu tak trvá několik týdnů až několik měsíců. Manipulace s velkými zvony je v dnešní době méně náročná než dříve. Práci zvonařům usnadňují elektrické kladkostroje, hydraulické zvedáky, moderní sušicí komory, formovací rámy a další moderní zařízení dílny.

6.4 Technické doplňky zvonů

6.4.1 Srdce zvonu, bicí kladiva

Srdce je nedílnou součástí zvonu, někdy je dokonce nazýváno jeho organickou částí, protože mu dává hlas. Z konstrukčního hlediska rozlišujeme srdce dvou typů: srdce „**létající**“ (pro české zvonařství typické) a srdce „**padající**“.



Obrázek: Létající srdce (vlevo) a padající srdce (vpravo)

Létající srdce se pohybuje ve stejném směru jako zvon, udeří vždy na jeho „horní“ stranu. Jeho výroba je složitější. Aby nedocházelo k poškozování zvonu, je při jeho konstrukci nutné dbát na vhodnou váhu, použitý materiál, tvar, délku a zavěšení srdce. Příliš těžké srdce vydává tón drsný, lehké srdce nedává zvonu dostatečně plný zvuk. V literatuře se uvádí, že srdce zvonu by mělo vážit 3,5% celkové hmotnosti zvonu. Podle jiné literatury [24] by váha srdce (s) měla odpovídat vzorci $s = (m/40) + 2,5$ [kg], kde m značí hmotnost zvonu. Nejčastějším materiálem pro výrobu srdce bývá železo, popřípadě jiný kov měkčí než zvonovina, aby nedocházelo k otloukání zvonu. Srdce, vyrobené z jednoho kusu kovu, musí být tak dlouhé, aby se při úderu dotýkalo úderového věnce. Neméně důležitý je také tvar srdce. Jeho hmotnost musí být vhodně rozložena. V současnosti se většinou používá kuželovité srdce s hruškovitou pěstí. Aby výkyvy srdce byly pravidelné, je nutné věnovat pozornost také způsobu jeho zavěšení. I tato část konstrukce prošla od středověku vývojem. Dnes se používají kožené pásy v kombinaci s pojistnými plechy.

Druhý typ, srdce padající (srdce se pohybuje v opačném směru než zvon), není konstrukčně tak náročný. Tvoří jej ocelová tyč s posuvnou koulí z ocelolityny nebo nějakého barevného kovu. Není zde kladen důraz na váhu, vyvážení hmotnosti ani na tvar nebo propracované zavěšení. U zvonů s padajícím srdcem je zvýšené riziko poškození zvonu, srdce má sklon k dvojúderům nebo k tlumení zvonu. Zvon s padajícím srdcem nelze použít jako hudební nástroj.

Někdy se místo srdce používala tzv. bicí kladiva. Byly to zvony, které byly součástí hodinových strojů. Celý systém sestával z kovového vahadla upevněného na zvonové stolici, na jehož jednom konci bylo nasazeno kovové kladivo, druhý konec byl připojen k hodinovému stroji. Kladivo bylo strojem postupně zvedáno a při uvolnění kladky vlastní vahou spadlo na zvon. Údery tak dopadaly na vnější stranu zvonu, což mělo za následek větší vytloukání zvonu a poškozování výzdoby. V dnešní době se používají kladiva výhradně elektromagnetická. Jejich důkladné seřízení zamezuje poškození zvonu.



Obrázek: Bicí kladivo

6.4.2 Zavěšení a umístění zvonu, vyzdvihování na věž

Aby zvon mohl fungovat, je nutné ho doplnit zvonovými závěsy s ložisky, umístit do vhodné zvonové stolice a vyzdvihnout na věž.

Zvonový závěs, ke kterému je koruna zvonu umístěna dvěma až čtyřmi kovovými pásky na každé straně, má nejen nosnou funkci, ale vytváří jistou protiváhu zvonu a tím usnadňuje jeho kyvadlový pohyb. Už od středověku používali zvonáři závěsy z tvrdého dubového dřeva. Ve 2. polovině 19. století začaly být dřevěné závěsy



Obrázek: Dřevěný závěs zvonu (vlevo), kovový závěs (vpravo)

nahrazovány závěsy z ocelolitiny, později z válcovaných nosníků typu I nebo U. Kovové závěsy byly většinou velmi nevhodně spojené se zvonem, jen málokdy byla použita dřevěná podložka. V dnešní době se zvonáři opět vrací k závěsům dřevěným. Jsou ale velmi drahé a náročné na výrobu, proto jsou doposud často používány levnější ocelové závěsy. Tato provedení mají ovšem nižší životnost a nepříznivý vliv na rezonanci.

Nezbytné pro hladký a bezporuchový pohyb s co nejmenším třením jsou **ložiska** čepů. Stejně jako ostatní součásti zvonu i ložiska prošla technickým vývojem od pouhého žlábků v pásovém železe, přes zubová nebo hřebenová ložiska. V dnešní době se téměř výhradně používají valivá ložiska v bezúdržbových tělesech. Výjimkou jsou pouze restaurované historické zvony.

V prostorách, kde má být zvon umístěn, je nezbytné připravit **zvonovou stolicí**. Je to dřevěná nebo ocelová konstrukce, která musí být přesně vyvážená, aby nedocházelo k nepravidelnostem úderů. Při konstrukci stolice je nutné dbát na vhodné rozložení dynamických sil, které při pohybu zvonu působí, aby nedošlo ke statickému narušení zdiva věže. Vhodnější je použití dřevěných konstrukcí, které snižují riziko vibrací a nežádoucích resonancí. V současné době se však používají spíše levnější a dostupnější ocelové stolice.

Je-li zvon hotový a všechny přípravy dokončeny, instaluje se zvon na věž. Dříve bylo jejich zvedání složitější, dnes se k tomuto účelu používají autojeřáby. Vyzdvihování zvonů pro církevní účely je spojeno se slavnostní mší a svěcením zvonů, proto musí být vše předem pečlivě připraveno.



Obrázky: Svěcení a vyzdvihování zvonu

6.5 Restaurování zvonů

Každodenním vyzváněním jsou zvony vystaveny velkému namáhání. Už od nejstarších dob používání zvonů bylo úkolem zvoníka je pravidelně kontrolovat a dbát na jeho údržbu. Je potřeba sledovat srdce (zejména délku řemenů, jimiž je připevněno), míru vytloukání úderového věnce, pevnost spojení zvonu s hlavou (zavěšením), stabilitu upevnění ve zvonové stolici i pevnost stolice samé. Neméně důležité je také pečovat o povrch zvonu. Veškeré závady je nezbytné řešit co nejdříve, aby nedošlo k větším poškozením.

Většina restaurátorských prací je velice nákladná a technicky náročná. Dříve byly zvony spotřebním zbožím, lidé si jejich historické hodnoty nevážili a dávali přednost méně nákladnému přelití poškozeného zvonu. Situace se změnila až ve 2.

polovině 20. století, po dvou válečných rekvizicích. Změnil se jak postoj zvonářů, tak objednavatelů opravy. Na restaurování zvonů se dnes specializují jen některé zvonárny.

6.5.1 Svařování puklého zvonu, odstranění koroze

Zmínky o svařování zvonů můžeme nalézt již v Theofilově rukopise z roku 1150 a také v rukopise Biringuccia z počátku 16. století. Poškozené místo se vysekalo nebo vybrousilo. Potom se zaformovalo do hlíny a otvorem se naléval kov, až došlo k opětovnému spojení. Po vychladnutí se přebytečný kov obrousil nebo osekal. Tato metoda ovšem byla vhodná pouze pro opravy podélných trhlin pláště. Poškození čepce nebo koruny a příčné trhliny pláště nebylo tímto způsobem až do 20. století možné opravit.

V současné době existuje více metod restaurování. Nejvíce je rozšířena metoda autogenního sváření zvonů, někdy nazývaná sváření plamenem. Byla vyvinuta během 2.světové války v Německu. Tato metoda umožňuje téměř všechny druhy oprav, včetně sváření zvonu rozbitého na několik kusů nebo opravu zvonu s chybějící částí. Nutné je provést přesnou analýzu zvonoviny a pro opravy si připravit slitinu stejného složení.

Restaurátorské práce zahrnují také odstraňování koroze z povrchu zvonu. Nános nečistot (často dohromady s ptačím trusem) poškozuje zvonovinu, výtvarnou výzdobu a má negativní vliv na kvalitu tónu. Ze zvonu se nejdříve odstraní nečistoty (prach) a poté se z celého zvonu postupně odstraňuje nános rzi až na čistý kov. Očištěný povrch se patinuje (aby zůstalo zachováno charakteristické zelené zbarvení zvonu) a konzervuje syntetickými vosky.

6.5.2 Poškození technických doplňků zvonu

Velmi často se stává, že úderová část věnce je vytlučená. Neplánuje-li se jeho oprava v blízké době, je nutné srdce otočit o 45° až 90° tak, aby opět tlouklo do nepoškozené části. K tomu je ale nutné změnit závěs koruny, tedy vyrobit nové kované části, případně některou část dřevěné hlavice. Jednou z častých poruch je prasknutí nebo zlomení srdce zvonu (tzv. „puklé srdce“). Puklé srdce není možné opravit, je nutné ukovat nové.



Obrázek: nové srdce zvonu Zikmund

6.6 Zvonohry

6.6.1 Vznik, vývoj a konstrukce



Ačkoliv zvony používají lidé již několik tisíciletí, nejstarší využití zvonu jako hudebního nástroje nazývaného zvonohra je mnohem mladší. Nejstarší zvonohra byla nalezena v Betlémě, tvořilo ji 11 menších zvonů vyrobených na přelomu 12. a 13. století. Jednotlivé zvony se rozeznávaly pomocí lan připevněných k srdcím zvonů. Další zmínky o zvonech jako hudebním nástroji můžeme najít v různých historických pramenech, například v jedné z kreseb rukopisu italské bible z 2. poloviny 13. století. První zvonohry s většími zvony se začínají objevovat v 15. století na území dnešní Belgie a Holandska.

První pomocí mechanické klaviatury ovládaná zvonohra vznikla v roce 1510 v Belgii ve městě Oudenaarde. V 16. století dochází k velkému rozvoji zvonoher zejména na území Belgie, ale také v okolních státech. Současně dochází k vývoji konstrukce jednotlivých zvonů. Pro sestavení zvonohry je nutné především přesnější ladění, ale také potlačení vyšších alikvótních tónů, zkrácení rezonance po úderu (aby nedocházelo k falešnému znění). Jinak se konstruovala i zvonová žebra jednotlivých zvonů, aby zvony s hlubokými tóny nemusely být několikatunové, ale díky jinému profilu menší. V 17. století se o vývoj zvonoher zasloužili zejména Francois a Pieter Hemonyové z Lotrinska. O nový hudební nástroj byl stále větší zájem, rychle se šířil do okolních zemí.

Největšího rozmachu však dosahuje výroba zvonoher od 2. poloviny 20. století. Vlastnosti zvonohry jsou předepsány mezinárodními předpisy, takže nástroj musí mít minimálně 23 zvonů, mechanické ovládání pomocí klaviatury a samozřejmě přesné ladění. V současné době najdeme nejvíce zvonoher v Belgii a v Holandsku (celkem více než 500 zvonoher). Na druhém místě v počtu zvonoher stojí Francie (52), následuje Německo (38), Dánsko (21), Švédsko (14), Velká Británie (13) a Norsko (8). Směrem na východ počet zvonoher ubývá, i v České republice jich je jen několik. V Rusku funguje pouze jedna zvonohra (51 zvonů), která je umístěná v St. Peterburgu. V Severní Americe je celkem více než 170 zvonoher, většinou dovezených z Evropy.

Samotná konstrukce zvonoher je založená na mechanickém pohybu. Stiskem klávesy se přes systém táhel, převodníku, vahadel a převodů přenáší pohyb až k srdci zvonu. Srdce zvonu je v klidové poloze umístěno pouze 15 mm od stěny zvonu. Jeho protiváha musí být vyvážená systémem seřiditelných pružin, aby potřebná ovládací síla nebyla příliš velká. Skříň, v níž jsou uloženy klávesy, připomíná varhaní skříň. V dnešní době je ale většina zvonoher napojena na počítač a jednotlivé zvony jsou opatřeny elektromagnetickými bicími kladivy. Pro ruční ovládání lze připojit elektrickou klaviaturu.



Obrázek: Systém táhel Lorety a elektrická klaviatura zvonohry ve Křtinách

6.6.2 Mobilní zvonohry

První mobilní zvonohra byla sestavena v roce 1949 v holandské zvonárně Royal Eijsbouts. Mobilní zvonohry mají umožnit poslech zvonohry na různých místech. Její součástí je proto nákladní vůz s přívěsem. Pro konstrukci samotné zvonohry jsou náročnější požadavky-zejména velikost jednotlivých zvonů a také použitý materiál. Při převozech by mohlo dojít k poškození zvonů nebo mechaniky, proto musí být vše provedeno dokonale a z kvalitních materiálů.

Díky mobilním zvonohrám je tak možné nejen poslouchat zvonohru kdekoliv si ji objednáme, ale také uspořádat koncert více zvonoher nebo koncert zvonohry s dalšími nástroji. Mobilní zvonohry ročně naježdí desítky tisíc kilometrů. Přestože v Evropě existuje 12 velkých mobilních zvonoher, ne všechny jsou pro delší převoz vhodné (například nejsou uzpůsobeny pro deštivé počasí nebo jsou pro převoz příliš velké).

6.7 Významné zvony

6.7.1 Významné české zvony

Největším českým zvonem je zvon **Zikmund** umístěný ve věži chrámu sv. Víta v Praze. Byl zhotoven Tomášem Jarošem v roce 1549, váží asi 13 500 kg a jeho spodní průměr činí 256 cm. Celému národu vešel do povědomí 15.června roku 2002, kdy mu při večerním zvonění prasklo srdce. Podle Rudolfa Manouška byla příčinou trhlinka uvnitř srdce, která rezivěla, až se spodní část úplně odlomila. Nové srdce vážící 380 kg bylo vykováno z jednoho kusu měkkého železa v dílnách Žďas ve Žďáru nad Sázavou pod vedením R. Manouška. Zvon Zikmund se dne 27.9.2002 znovu mohl rozeznít. Druhým největším zvonem je zvon **Augustin** z roku 1509, váží 10 tun a ve spodním průměru má více než 2 m. Je umístěn v Hradci Králové, v současné době je ale nefunkční.



Obrázek: Zvon Zikmund

Kryštof, náš třetí největší zvon (a druhý největší funkční), zvoní v Rychnově nad Kněžnou. Je umístěn ve zvonici, která je postavená východně od kostela Nejsvětější Trojice. Byl ulit v roce 1602 zvonařem Janem Benešovským v Moravské Třebové. Zvon patří k unikátním dílům nejen kvůli své velikosti (váží 5 900 kg), ale i díky neobvyklé reliéfní výzdobě. V roce 2003 byl tento zvon restaurován firmou Manoušek – byl opraven vytlučený věnec, vyměněny rezivé železné díly závěsu, ukováno nové srdce, vyměněna ložiska (nové repliky původních, historicky významných překlápěcích ložisek) a další díly.



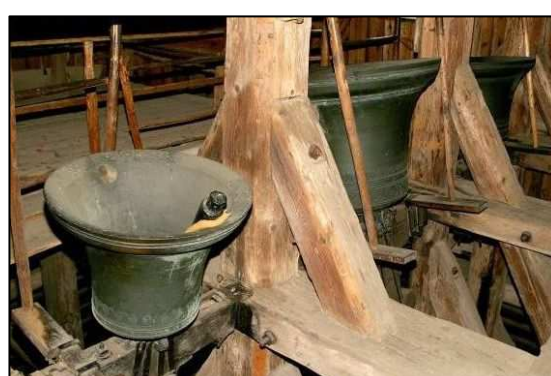
Obrázek: Zvon Kryštof

Nejstarší český zvon pochází z roku 1286, jeho spodní průměr činí 50 cm. Je uložen v Městském muzeu v Chebu. Nejstarším českým funkčním zvonem je zvon **Vilém**. Byl zhotoven kolem roku 1300 neznámým zvonářem. Tento zvon váží téměř 2 000 kg a je umístěn ve věži kostela v Havlíčkově Brodě. Vilém je ozdoben výrazným gotickým písmem, jeho povrch je značně znečištěn holubím trusem.



Obrázek: Zvon Vilém

Jedinečností v Čechách jsou **Rovenské zvony**. V původní zvonici z roku 1630 jsou umístěné tři zvony obrácené srdcem vzhůru. Rovenské zvony jsou někdy nazývané rebelantské. Toto označení vzniklo na základě historické události z roku 1630. Jako trest za povstání proti násilné rekatolizaci nařídila vrchnost obrátit zvony srdcem vzhůru. Rovenští ale našli řešení, jak nechat zvony v této pozici a zároveň je rozeznít. Zkrátili srdce zvonů a sestavili mechanické šlapadlo. Zvony kupodivu přestály všechny rekvizice, dnes jsou významnou pamětihodností.



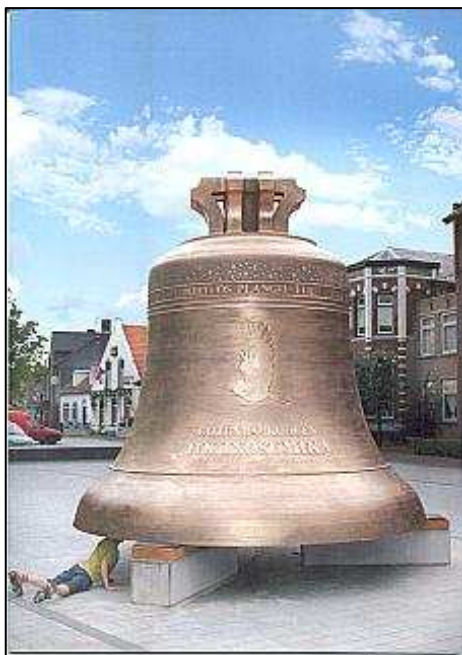
Obrázek: Rovenská zvonice (vlevo), Rovenské zvony (vpravo)

6.7.2 Významné světové zvony

Největším zvonem světa je **Car Kolokol**. Byl odlit v letech 1733 – 1735 Ivanem Motorinem a jeho synem Michaiilem. Je vysoký 6,14 m a jeho spodní průměr činí 6,14 m. Váha Caru Kolokol je odhadována na 160 – 200 tun. Zajímavé je, že tento zvon nikdy nezvonil. Při jeho dokončování došlo k požáru konstrukce, na které visel. Když rozžhavený zvon chladili, praskl. Po pádu do lící jámy se nenávratně poškodil. Car Kolokol i se svým jedenáctitunovým úlomkem dodnes stojí na náměstí v Kremlu a je významnou turistickou atrakcí.



Obrázek: Car Kolokol



Největším funkčním výkyvným zvonem na světě je zvon **Gotemba**, který je umístěný na pahorku před horou Fudži v Japonsku. Váží 36 200 kg, jeho spodní průměr je 382 cm. Byl zhotoven v roce 2006 firmou Royal Eijsbouts ve spolupráci s Petrem Manouškem na zakázku japonského boháče, který se rozhodl ve svém hotelovém areálu umístit monumentální zvon, aby se jeho hosté z Evropy cítili v jeho komplexu jako doma.

Obrázek: Gotemba Bell

	Jméno	Místo	Rok odlití	Váha [kg]	Průměr [cm]
1.	Car Kolokol	Rusko, Moskva	1734	201 924	660
2.	Trotzkoj	Rusko, Moskva	1746	168 000	?
3.		Barma, Mingun	1790	88 360	495
4.		Korea, Kyongju	771	72 000	227
5.	Bolšoj	Rusko, Moskva	1817	65 520	365
6.	Ivan	Rusko, Moskva	1819	57 330	457
7.		Čína, Peking	1406	46 500	330
8.	Maha Gana	Barma, Yangon	1791	42 250	229
9.	Gotemba	Japonsko, Gotemba	2006	36 200	382
10.		Japonsko, Nara	732	35 600	277
11.		Japonsko, Kyoto	1636	35 000	275
12.	World Peace Bell	USA, Kentucky	1998	33 280	378
13.	Sysoj	Rusko, Rostov	1689	32 760	359
14.	Reut	Rusko, Moskva	1622	32 760	360
15.	Gate Bell	Jižní Korea, Soul	1469	26 400	230
16.	Petr	Německo, Kolín	1923	24 200	325
17.	Maria Dolens	Itálie, Rovereto	1964	22 639	321
18.		Čína, Nanking	1389	22 605	229
19.	Gate Bell	Jižní Korea, Soul	1468	22 000	230
20.	Pummerin II	Německo, Kolín	1951	20 132	314

Tabulka: 20 největších zvonů světa [4]

Asi nejnámějším zvonem světa je **Liberty Bell** (Zvon Svobody) ve Filadelfii. Ačkoliv není z kvalitní zvonoviny a ani nemůže znít, protože je puklý, je významnou historickou památkou nejen Spojených Států Amerických. Byl odlitý v roce 1752 v londýnské zvonárně, ale protože materiál byl nekvalitní, zvon několikrát pukl a byl odlit znovu. V první polovině 19. století, ačkoliv už byl znova puklý, se stal symbolem svobody a vyhlášení nezávislosti a cestoval po různých místech Severní Ameriky až do roku 1976, kdy byl umístěn do výstavního pavilonu ve Filadelfii (důvodem byla zvětšující se prasklina).

Bylo zhotoveno několik kopií tohoto slavného zvonu. První kopie byla zhotovená v roce 1918. Zvon měl putovat po různých evropských zemích a v každé z nich zvonit půl roku. Zvon ale dlouho nezvonil, neboť se brzy ztratil. Byl objeven až v roce 1928 na smetišti u Užhorodě, převezen do Prahy a dočasně umístěn v Příbrami.



Obrázek: Liberty Bell (USA)

V roce 1994 byl Zvon Svobody restaurován a zavěšen v Praze-Holešovicích, kde zní dodnes. V letech 1970-1976 bylo zhotoveno k výročí vyhlášení nezávislosti 2400 minikopii zvonu Liberty Bell. Jednu z těchto minikopii daroval americký prezident G. Bush st. v roce 1989 také Československu. Dnes má každá z těchto kopií nesmírnou hodnotu. V roce 2004 byla k 60. výročí vylodění spojeneckých vojsk v Normandii vyrobena přesná kopie Liberty Bell, která je umístěna ve Francii.

6.7.3 Významné zvonohry

Mezi významné zvonohry je nezbytné zařadit **pražskou Loretu**. Je sestavená z 27 zvonů, které odlil holandský zvonař Claude Fremy v letech 1683-1691, samotný hudební nástroj zkonstruoval pražský hodinář Petr Neumann. Poprvé se rozezněla 15. srpna roku 1695. Pražská Loreta je významnou historickou památkou, neboť jsou to jediné zvony z dílny zvonaře Fremy, které dosud nebyly restaurovány.



Obrázek: Pražská Loreta

Další významnou zvonohrou, která v současné době teprve vzniká, je **zvonohra ve Křtinách u Brna**. Jejím autorem je P. R. Manoušek. Dne 30.11.2006 byla k 15 zvonům dokončena instalace dalších dvanácti zvonů, které byly 12.4.2007 slavnostně posvěceny. Celkem tedy obsahuje 27 zvonů. Zvonohra je ovládána přes počítač, ale lze k ní připojit klávesnici.



Obrázek: Zvonohra Křtiny

Největší zvonohra v Evropě je umístěna ve věži **Grote Kerk** (Dordrecht, Nizozemsko). Má celkem 67 zvonů a její celková hmotnost představuje 52 tun. Největší zvon (Millenium), který váží 9 830 kg, byl ulit v roce 2000 v dílně P. R. Manouška. Svou celkovou hmotností tato zvonohra předstihla doposud největší zvonohru Evropy ve věži Domu světové kultury (Berlín), která má 68 zvonů.

Za zmínku stojí **Pražská mobilní zvonohra**, která je v počtu zvonů druhou největší mobilní zvonohrou na světě. Má 57 zvonů o celkové hmotnosti 4 950 kg. Na vzniku nového hudebního nástroje se podílela firma Zvonařství Manoušek, holandská firma Royal Eijsbouts a belgická firma Clock-O-Matic. Jednotlivé zvony byly do zvonohry věnovány pražskými městskými částmi. Zvonohra je vybavena konstrukcí s plachtou, proto je snadnější její převoz. Účastní se řady koncertů po celé Evropě.



7 ZÁVĚR

Úvodní kapitola diplomové práce je věnována historickému vývoji zpracování kovů. Ve druhé části této kapitoly jsou uvedeny chemické, fyzikální a mechanické vlastnosti kovových materiálů, včetně popisu pásové teorie chemické vazby a krystalické struktury kovů.

Následující kapitola podává stručný popis současných technologií výroby průmyslově nejpoužívanějších kovů. Popsány jsou výroby železa, mědi, cínu, hliníku a zinku.

Obsahem další kapitoly je přehled významných slitin železných i neželezných kovů, včetně jejich složení a základních vlastností a možností využití. Shrnuty jsou zde i obecné metody výrob slitin včetně výroby litiny a oceli. Následující kapitola je věnována zpracování kovů a slitin, popisuje technologii práškové metalurgie a metody odlévání a tváření kovů.

Závěrečná kapitola pojednává o zvonařství. V textu je shrnut stručný popis původu zvonů a technologie tradiční výroby. V závěru kapitoly je uveden přehled významných českých a světových zvonů a zvonoher.

Pro snadnější pochopení probírané látky je diplomová práce doplněna řadou obrázků a schémat.

8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Flodr Miroslav: Technologie středověkého zvonařství, Univerzita J.E.Purkyně
- [2] WWW stránky Biskupství českobudějovického, článek Nápisy na zvonech dostupný z <http://www.bcb.cz/index.php?a=dieceze&s=pamatky&t=napisy-nazvonech&PHPSESSID=045ec33228d5771738dd0afd58da265f>
- [3] Švihálek Milan: Jak se rodí zvony (Putování brodecké zvonařky dvacátým stoletím), Brno 1997
- [4] Manoušek Petr Rudolf: Zvonařství, Praha 2006
- [5] Janíček Karel: Naše zvony (Velkomeziříčské zvony), Muzeum silnic a dálnic Velké Meziříčí 1994
- [6] WWW stránky Křtiny u Brna, článek Křtinská zvonohra – komentář, dostupný z http://krtiny.katolik.cz/index.php?page=/soucasnost/zvonohra_komentar
- [7] WWW stránky Český rozhlas, téma Zvony dostupné z <http://www.rozhlas.cz/vltava/zvony/>
- [8] <http://marketa.dolnik.net/default.htm?stranka=autor&autorID=49&date=2007-11-05>
- [9] Makarius Miroslav, Poul Oldřich, Hašek Vladimír: Výroba a zpracování kovů, SNTL – Nakladatelství technické literatury Praha 1970
- [10] Kybalová Ludmila: Pražské zvony, Nakladatelství československých výtvarných umělců, Praha 1985
- [11] Kuča Karel: České, moravské a slezské zvonice, Nakladatelství Libri, Praha 1995
- [12] Havalda Andrej: Prášková metalurgia, Slovenská technická univerzita v Bratislave, vydavateľstvo STU, 1999
- [13] Fiala Alois: Teorie slévání, SNTL – Nakladatelství technické literatury Praha 1985
- [14] <http://www.mmspektrum.com/clanek/praskova-metalurgie-a-jeji-vyuziti>
- [15] www.sweb.cz/wrata/soubory/skola/soubory/nac_odpovedi.doc
- [16] Slavin D.O.: Vlastnosti kovů, Průmyslové vydavatelství Praha 1952
- [17] Fiedler Rudilf: Struktura a vlastnosti kovů I, Nakladatelství VUT Brno, 1992
- [18] Kratochvíl Bohumil, Švorčík Václav, Votěch Dalibor: Úvod do studia materiálů, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze 2005
- [19] Karpenko V., Augusta P.: Křivolaké cesty vědy, Albatros Praha, 1987

- [20] Karpenko V., Blažej B.: Alchymie, dcera omylu, nakladatelství Práce, Praha 1988
- [21] Skripta Fyzikální základy vědy o materiálu Pedagogické fakulty Masarykovy Univerzity dostupné z www.ped.muni.cz/wphy/FyzVla/index.htm
- [22] www.avogadro.co.uk/.../metallic/metallic.htm - obrázky
- [23] www.chembook.co.uk/chap5.htm - obrázky
- [24] Technický slovník
- [25] Klikorka J, Hájek B., Votinský J.: Obecná a anorganická chemie, SNTL, Praha 1989
- [26] Greenwood N.N., Ernschaw A.: Chemie prvků, Informatorium, Praha 1993
- [27] Skripta Katedry fyziky Technické univerzity Liberec dostupné z http://www.pwg.vslib.cz/kfy/vyuka/ft/Stud_mat/Fyzika2/10www.pdf
- [28] <http://www.oa.svitavy.cz/pro/renata/priroda/priroda1/nerosty/cin/index.html> - obrázek
- [29] Kadlec Ferdinand a kolektiv: Výroba neželezných kovů, SNTL, Praha 1971
- [30] Neničková Bohuslava: Výroba železných kovů II, SNTL, Praha 1986
- [31] <http://www.boucnik.cz/litiny.htm>
- [32] Skripta Úvod do strojírenství Technické univerzity Liberec dostupné z <http://www.fs.tul.cz/dokumenty/uvodstroj/>
- [33] Skripta Recyklace slévárenských odpadů Vysoké školy báňské – Technická univerzita Ostrava dostupné z <http://fmml10.vsb.cz/632/skripta.pdf>
- [34] <http://www.scienceworld.cz/sw.nsf/0/415862E51A6B13B4C1256E970048FA66?OpenDocument&cast=1> – obrázek
- [35] Vacík J. a kolektiv: Přehled středoškolské chemie, SPN 1999
- [36] Kizlink J.: Technologie chemických látek I, Vysoké učení technické v Brně, 2001
- [37] Vojtěch D.: Struktura, vlastnosti a zpracování kovových materiálů, Vydavatelství VŠCHT Praha, 2006
- [38] Skripta Strojní fakulty Technické univerzity Liberec dostupné z http://www.ksp.vslib.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm
- [39] Engels S., Nowak A.: Chemické prvky - Historie a současnost, Praha 1977
- [40] Nový L. a kolektiv: Dějiny techniky v Československu do konce 18. století, Academia, Praha 1974
- [41] Ptáček L. a kolektiv: Nauka o Materiálu II., CERM, 1999

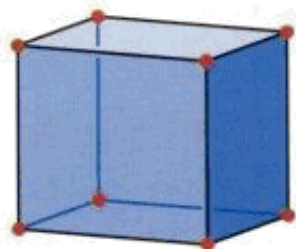
- [42] WWW stránky Historie železářství v Moravském Krasu dostupné z <http://www.starahut.com/>
- [43] WWW stránky VSCHT, skripta k Laboratorní práci Metalografie I dostupné z http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_metalografie_1/teorie.ht
- [44] Horáček J., Nauka o materiálu, Česká zemědělská univerzita 2004
- [45] Pilous V., Technologie kovových materiálů, Západočeská univerzita v Plzni, 2001
- [46] http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/vyroba_zeleza.html - obrázek
- [47] <http://www.potteryfestival.org/bell.htm> - obrázek pouring the bell
- [48] fredlyfx.com/bronze.htm - odlévání
- [49] <http://marketa.dolnik.net/default.htm?stranka=clanek&clanekID=74826&date=2008-03-31> – obrázek pražská mobilní
- [50] <http://www.archiweb.cz/news.php?action=show&type=2&id=3045> - obrázek Car Kolokol
- [51] www.katedralapraha.cz/?lang=cz&pageId=galerie – obrázek zvon Zikmund
- [52] www.archiweb.cz – obrázek srdce zvonu Zikmund
- [53] journals.worldnomads.com/.../post/9362.aspx – obrázek Liberty Bell
- [54] www.cccbr.org.uk/prc/pubs/bellsAndBellringing.php - obrázek formy Zvonu
- [55] www.zvonyperner.cz/Zvony.htm - obrázek falešný zvon
- [56] www.zlin.sdb.cz/jakvypada.php - obrázky svěcení zvonu a vyzdvihování na věž
- [57] <http://klobouky.evangnet.cz/bylo.php> - obrázky odlévání zvonů
- [58] <http://zvony.varhanici.info/> - nahrávky zvonů
- [59] <http://www.rychnov.estranky.cz/fotoalbum/zvon-krystof/zvonkrystof> - obrázky zvonu Kryštof
- [60] www.varhany.org/o_loreta_z1.html - obrázky Pražská Loreta
- [61] <http://www.cestovatel.cz/clanky/stezky-okolo-ponavky/galerie/> - obrázek zvonohry Vranov
- [62] cs.wikipedia.org/wiki/Tom%C3%A1%C5%A1_Jaro%C5%A1 – obrázek Zpívající fontána
- [63] <http://www.cornille-havard.com/fonderie99ang/pagesang/menuprod.htm> - obrázek zvonového závěsu
- [64] <http://sumavskecyklotrasy.euweb.cz/cyklotrasa14.htm> - obrázek zvonu
- [65] http://www.chomutov-mesto.cz/html/images/zvon_big.jpg - obrázek zvonu
- [66] www.petit-fritsen.nl/engels/klokken/foto.htm - obrázek falešného zvonu

- [67] www.msu.edu/~carillon/batmbook/chapter4.htm - obrázek pláště zvonu
- [68] http://www.ksd.vslib.cz/studenti/texty/uvod_do_strojirenstvi/UdS-5pr.pdf
- [69] membership.acs.org/g/greenmt/NCW_contest.html – obrázek
- [70] Machek V., Sodomka J.: Nauka o materiálu – 2. část: Vlastnosti kovových materiálů, ČVUT Praha 2007
- [71] www.volny.cz/milos-sluka/ocelf.html - obrázek
- [72] <http://www.slevarna-cv.cz/abrazivzdorne.html>
- [73] foto.solvayovylomy.cz/22-6-2007-poldi.php – obrázek kokil
- [74] www.raslindia.com – obrázek Ingoty
- [75] <http://myhomefoundry.com/> - obrázek pískové formy
- [76] www.grinningplanet.com/.../reduce-waste.htm - obrázek odlévání
- [77] www.iabrno.cz/agalerie/agalerie.htm - obrázek pravěk
- [78] www.lovecpokladu.cz/home?page=7 – obrázek zlata
- [79] cs.wikipedia.org/wiki/Sestercius – obrázek Sestercia
- [80] <http://www.tyrolit.cz/page.cfm?vpath=divisions/trade/securrondeller> – obrázek broušení
- [81] www.kovona-karvina.cz/ - obrázek trubky
- [82] www.bld.cz – obrázek slinuté karbidy
- [83] http://www.ateam.zcu.cz/praskova_metalurgie.pdf - obrázek
- [84] geologie.vsb.cz/loziska/loziska/historie.html – obrázky
- [85] Chemie anorganická, Votoček E.: Praha, 1922
- [86] http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Lead_pipe_-_Bath_Roman_Baths.jpg – obrázek
- [87] www.matnet.sav.sk – obrázek
- [88] cs.wikipedia.org/wiki/Redoxn%C3%AD_reakce – obrázek
- [89] <http://permonik.host.sk/vymena%20a%20predaj/chalkopyrit4.jpg> – obrázek
- [90] www.geonord.org/edu/camera.html – obrázek
- [91] zelezna-ruda.navajo.cz – obrázek
- [92] cs.wikipedia.org/wiki/Bauxit – obrázek
- [93] <http://www.natur.cuni.cz/ugmz/mineral/mineral/sfalerit.html> – obrázek
- [94] home.att.net/~cat6a/metals-XIII.htm – obrázek
- [95] www.hornictvi.info/techpam/kladno/kladno.htm - obrázek
- [96] <http://www.airproducts.sk/metals/metalurgia/tavenieOdlievanie.htm> - obrázek
- [97] fotky.hln.cz/jhradec/IMG_5076 - obrázek

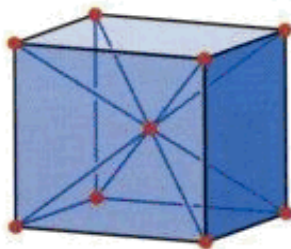
- [98] http://www.sandstastny.cz/images/park/ATLAS_-_bagr_otocny_16t_1.JPG -
obrázek
- [99] www.altman.cz/cz/sortiment/f284.htm - obrázek

9 PŘÍLOHY

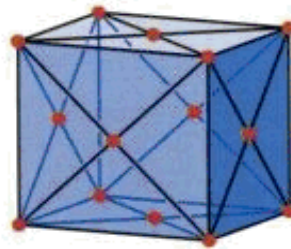
Příloha A: Krystalografické soustavy



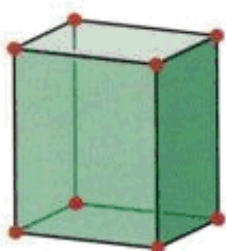
Krychlová *P*



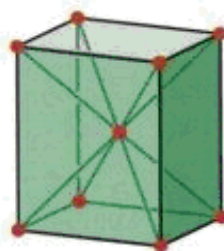
Krychlová *I*



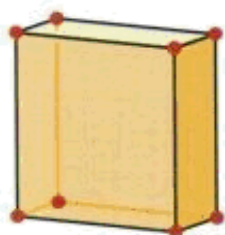
Krychlová *F*



Čtyřúhelníková *P*



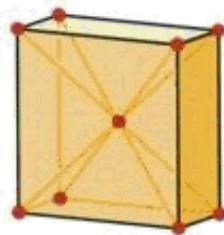
Čtyřúhelníková *I*



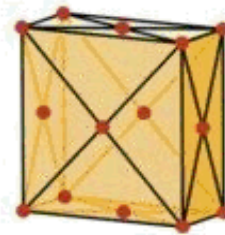
Kosočtverečná *P*



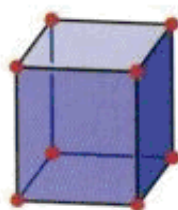
Kosočtverečná *C*



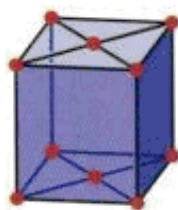
Kosočtverečná *I*



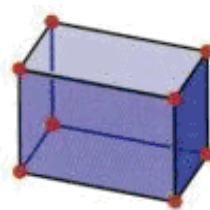
Kosočtverečná *F*



Jednoklonná *P*



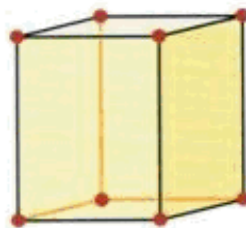
Jednoklonná *C*



Trojklonná *P*



Trojúhelníková *R*

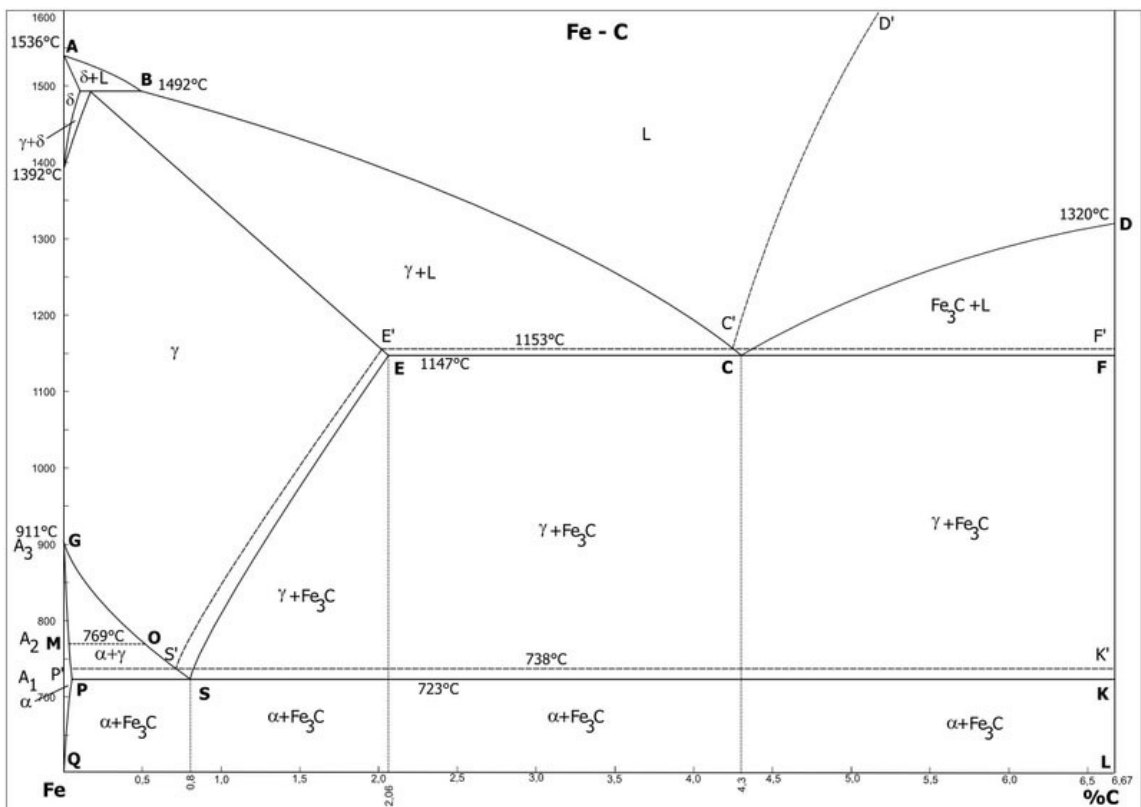


Trojúhelníková
a šesterečná *C* (nebo *P*)

Příloha B: Rovnovážný diagram soustavy železo-uhlík

Na mechanické vlastnosti železných slitin má zásadní vliv množství zastoupeného uhlíku. Při teoretickém zjišťování těchto vlastností můžeme vycházet z rovnovážného diagramu železo – uhlík. V diagramu se vyskytují následující fáze:

- Ferit – tuhý roztok uhlíku v α -Fe
- Austenit – tuhý roztok uhlíku v γ -Fe
- Delta ferit - Tuhý roztok uhlíku v δ -Fe
- Cementit – intersticiální sloučenina železa a uhlíku Fe_3C
- Grafit – modifikace uhlíku
- Ledeburit – eutektikum v metastabilní soustavě, které se při eutektické teplotě skládá z krystalů austenitu a cementitu
- Grafitické eutektikum – eutektikum ve stabilní soustavě, které se při eutektické teplotě skládá z austenitu a grafitu
- Perlit – eutektoid v metastabilní soustavě, skládá se z perlitu a cementitu



Příloha C: Mezní obsahy legujících prvků (uvedené v hmotnostních procentech)

Prvek	Mezní obsah	Prvek	Mezní obsah
Hliník	0,10	Tellur	0,10
Bor	0,0008	Titan	0,05
Bismut	0,10	Vanad	0,10
Kobalt	0,10	Mangan	1,65
Chrom	0,30	Molybden	0,08
Měď	0,40	Niob	0,06
Nikl	0,30	Wolfram	0,10
Olovo	0,40	Zirkon	0,05
Selen	0,10	Ostatní (kromě C, P, S, N)	0,05
Křemík	0,50		