



Shrnutí problematiky slévárenských technologií neželezných kovů

Seminář č. 2

Klíčová slova

základní typy slitin neželezných kovů, slitiny hliníku, slitiny hořčíku, slitiny mědi, slitiny zinku, odlévání neželezných kovů, lití do netrvalých forem, lití do kovových forem, vady slitin neželezných kovů

Cíle kapitoly

Cílem kapitoly je shrnout základní informace z problematiky slévárenství neželezných slitin.

Úvod do kapitoly

Jako v předchozí kapitole, i zde je nutné podotknout, že cílem tohoto předmětu není se zabývat rozsáhlou problematikou podstaty slévárenských technologií. K tomu je určen náš předmět „Základy slévárenských technologií“, z jehož opory byl sestaven pouze výťah. Neželezné kovy jsou všechny kovy a slitiny, u nichž je základním prvkem jiný kov než železo. Největší využití mají tyto neželezné kovy: hliník, měď, hořčík, zinek, olovo, titan, nikl a jejich slitiny

Slitiny hliníku

- ✓ nejrozšířenější a nejpoužívanější slitiny
- ✓ jejich podíl představuje téměř 90 % hmotnosti všech vyráběných odlitků z neželezných slitin
- ✓ významnou skupinu tvoří odlitky hořčíkových slitin – nízká hmotnost a dobré mechanické vlastnosti
- ✓ dalšími významnými materiálovými skupinami jsou slitiny mědi a slitiny zinky
- ✓ důležitou skupinu tvoří také slitiny niklu, které se vyznačují výbornými mechanickými vlastnostmi z vysokých teplot a odolností proti korozi – použití zejména v leteckém a automobilovém průmyslu

Z velkého počtu vyvinutých a odzkoušených slitin se v běžné slévárenské praxi používají základní typy:

- ✓ Al-Si (tzv. siluminy),
- ✓ Al-Cu (tzv. duralaluminiumy)
- ✓ Al-Mg (tzv. hydronalium)

Slitiny typu Al-Si (tzv. siluminy)

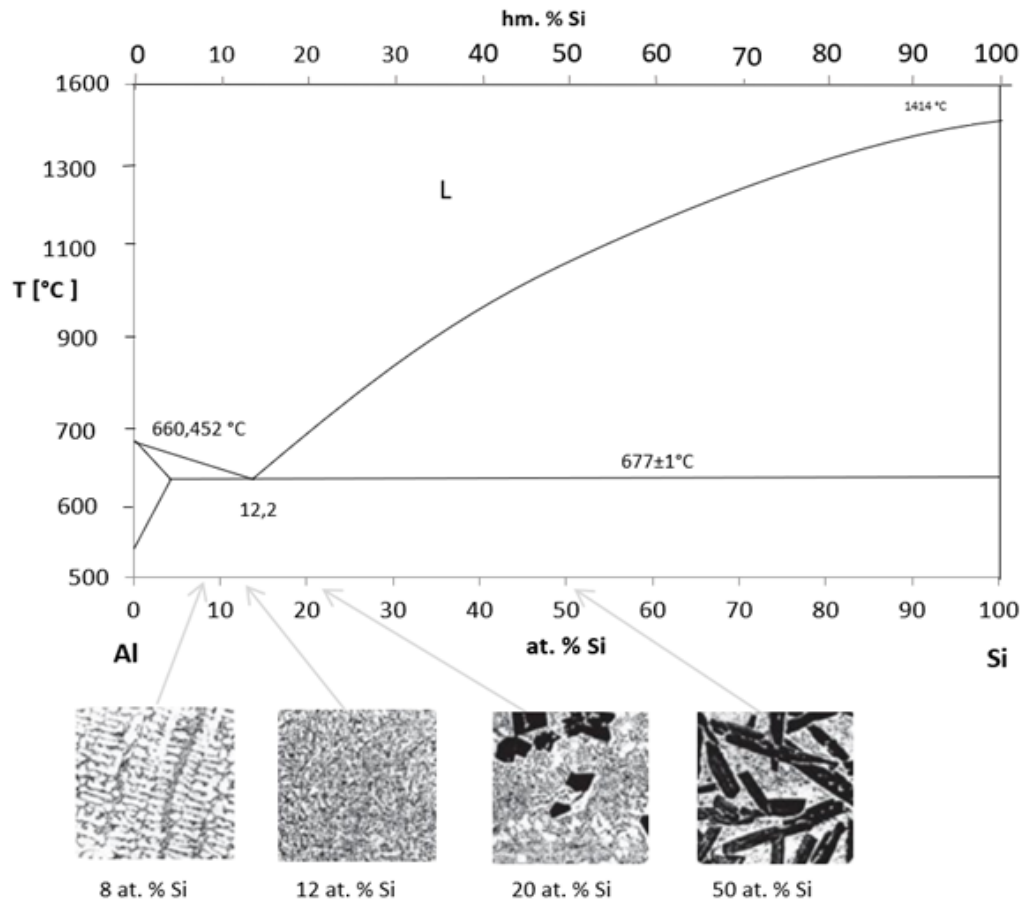
- ✓ obsahují 5 až 20 % Si a další přísady , z nichž nejčastější je Mn
- ✓ obsah křemíku je vyšší než je jeho max. rozpustnost v tuhém roztoku Al
- ✓ dobře slévateľný, odolává různým korozním vlivům, špatně obrobitelný
- ✓ zlepšení mechanických vlastností siluminu se dosáhne menší přísadou hořčíku, která umožní vytvrzování slitiny
- ✓ vytvrzovateľný silumin se používá na skříně leteckých motorů, na součásti v automobilovém a leteckém průmyslu, zejména na složité a tenkostěnné odlitky
- ✓ podle rovnovážného diagramu tvoří pak hliník s křemíkem eutektický systém s omezenou rozpustností Si v Al

Slitiny typu Al-Si (tzv. siluminy)

Slitiny Al-Si lze rozdělit na:

- ✓ ***podeutektické*** - s obsahem Si do 10 % (nejpočetnější skupina),
- ✓ ***eutektické*** - s obsahem Si v oblasti eutektického složení,
- ✓ ***nadeutektické*** - s obsahem Si nad eutektickým složením, hranice není přesně definována, charakteristický je výskyt fáze (3 ve struktuře).

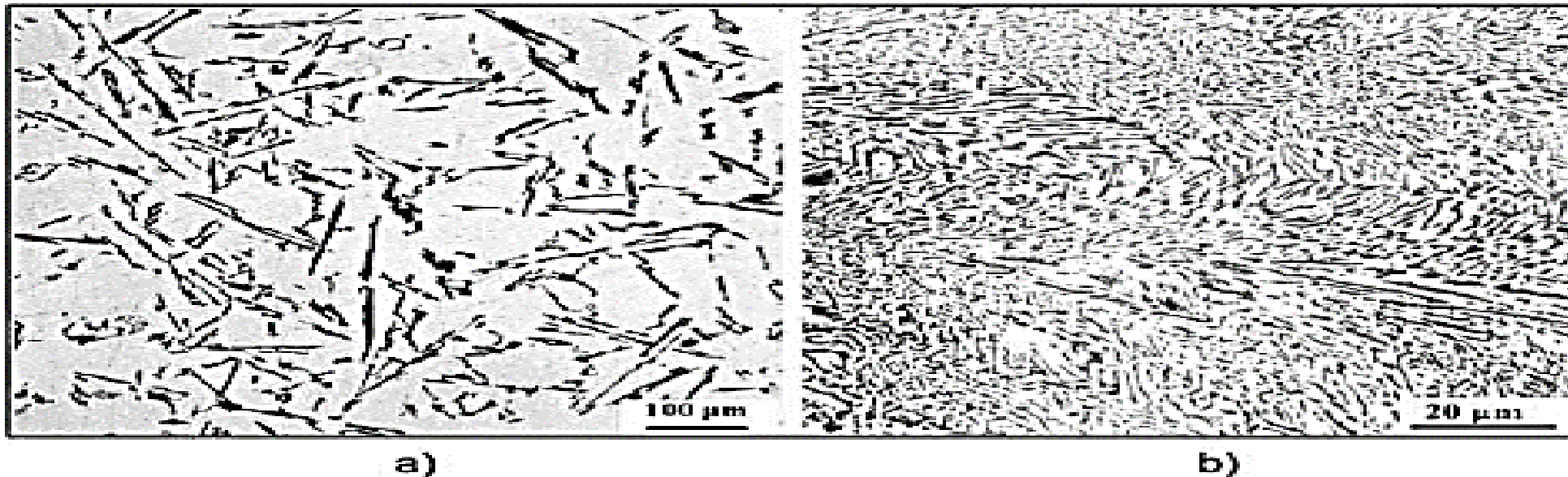
rovnovážný diagram slitin typu Al-Si (tzv. siluminy)



rovnovážný diagram Al-Si a typické
strukturní složení dle obsahu Si

Slitiny typu Al-Si (tzv. siluminy)

- ✓ pokud nejsou legovány dalšími prvky, označují se jako binární nebo jednoduché siluminy
- ✓ binární siluminy Al-Si se však používají zřídka, osvědčily se hlavně jako pájky
- ✓ k odlévání tvarových odlitků se používají tzv. speciální siluminy s dalšími přísadovými prvky



ukázka struktury nemodifikovaného (a) a modifikovaného (b) siluminu AlSi12

Speciální siluminy

- ✓ největší vliv na zlepšení pevnostních charakteristik siluminů mají přísady mědi a hořčíku, které umožňují takto vznikající speciální siluminy Al-Si-Cu a Al-Si-Mg vytvrzovat a dosáhnout vysokou pevnost
- ✓ přísadami ještě dalších prvků (Mn, Ti, Zn, Ni) vznikají siluminy o čtyřech i více složkách, které mají zlepšené některé další vlastnosti
- ✓ slévárenské vlastnosti všech speciálních siluminů jsou však horší než u siluminů binárních
- ✓ v automobilovém průmyslu se používají např. siluminy s přísadou niklu a mědi, příp. železa

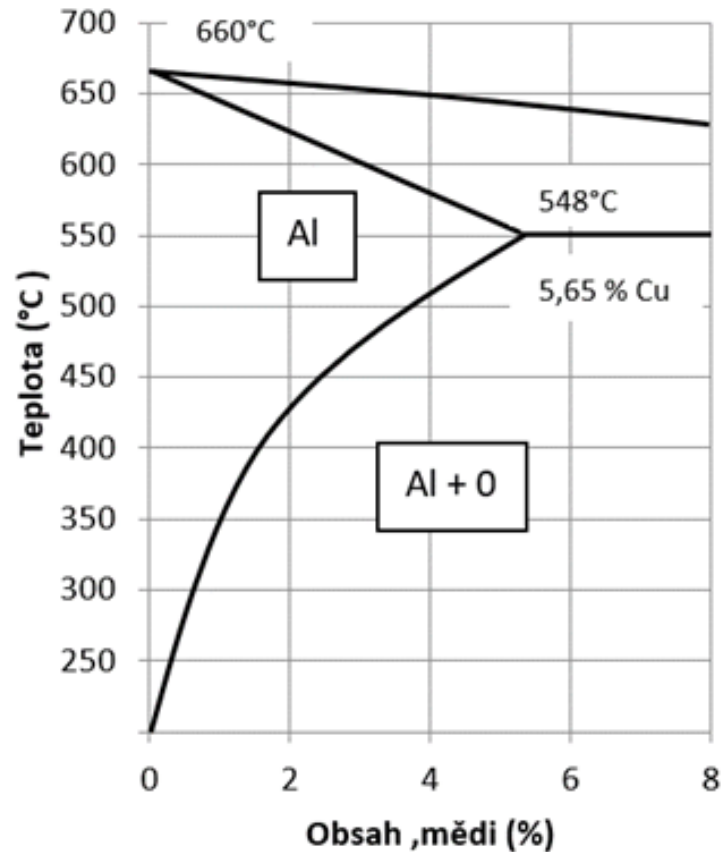
Slitiny hliníku pro odlitky			
Základní báze	ČSN		Rm [MPa]
	Označení	Číslo	
Al-Si-Mn	AlSi12Mn	424330	140 -180
Al-Si-CU	AlSi6Cu2	424353	150 - 160
	AlSi8Cu2Mn	424339	240
Al-Cu	AlCu4Ni2Mg	424315	160 -240
	AlCu8FeSi	424361	160 -200
Al-Mg-Si	AlMg5Si1Mn	424515	120 -170
	AlMg10SiCa	424519	240

pevnost vybraných slitin hliníku pro odlitky

Slévárenské slitiny Al-Cu (duraly)

- ✓ nejčastějšími přísadami jsou Mg, Cu, Si, Zn a Ni
- ✓ měď tvoří s hliníkem slitiny s omezenou rozpustností v tuhém roztoku a eutektikem
- ✓ rozpustnost mědi v hliníku při eutektické teplotě 548°C je max 5,7 % a při ochlazování se snižuje
- ✓ vytvrditelné s vysokou pevností, tažností a lomovou houževnatostí
- ✓ snižující se rozpustnost Cu umožňuje provádět vytvrzování za tepla i za studena
- ✓ velmi důležitý konstrukční materiál na stavbu letadel, kolejových vozidel, automobilů aj.
- ✓ menší odolnosti proti korozi, díky obsahu mědi
- ✓ pokud je nutná odolnost proti korozi, používá se *plátovaný dural*
- ✓ když jsou na materiál kladeny větší požadavky, používá se *superdural* s vyšším obsahem hořčíku

Slévárenské slitiny Al-Cu (duraly)

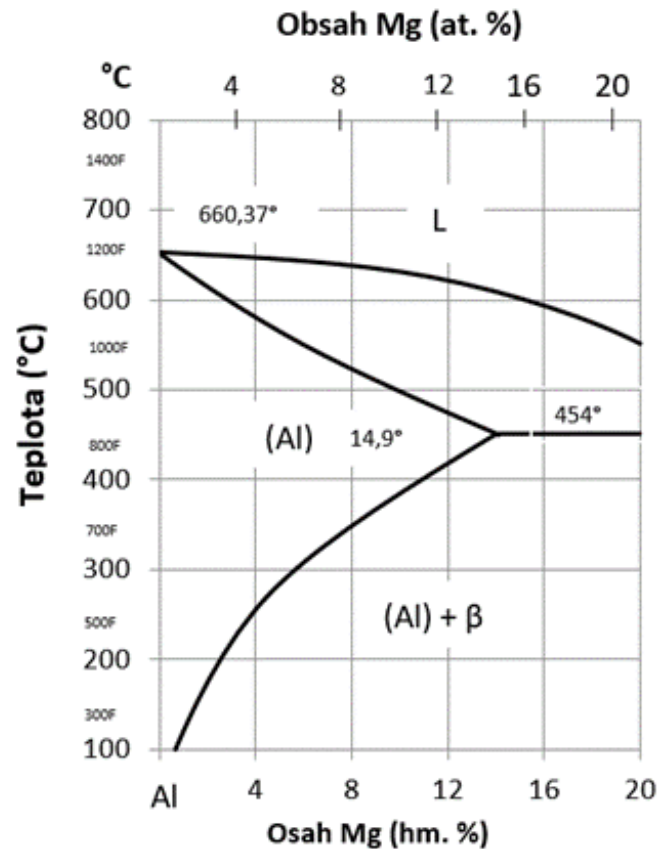


rovnovážný diagram Al-Cu

Slévárenské slitiny typu Al-Mg (hydronalium)

- ✓ hořčík tvoří s hliníkem slitiny s maximální rozpustností 17,4 % Mg při eutektické teplotě 450°C
- ✓ s poklesem teploty se rozpustnost rychle snižuje (při teplotě 300°C je asi 5,3 %, při 200°C 2,9 %)
- ✓ vlivem přísadových prvků se rozpustnost Mg dále snižuje
- ✓ eutektikum je tvořeno fázemi α (Al) a Al_8Mg_5 , označované jako fáze β , eutektická koncentrace je 34,5 % Mg
- ✓ pokud je ve slitině obsažen křemík v množství cca 1 %, váže se hořčík především do sloučeniny Mg_2Si , ta se vylučuje jako intermetalická fáze, která umožňuje provádět vytvrzování
- ✓ vytvrzování umožňuje rovněž měď a zinek, obvykle se však odlitky používají ve stavu tepelně nezpracovaném
- ✓ podle obsahu hořčíku se slévárenské slitiny Al-Mg dělí na typy se 3, 5 a 9 % Mg, čím vyšší je obsah hořčíku, tím širší je dvoufázové pásmo tuhnutí a tím horší jsou slévárenské vlastnosti

Slévarenské slitiny typu Al-Mg (hydronalium)



rovnovážný diagram Al-Mg

Slévárenské slitiny hořčíku

- ✓ převážná část hořčíkových slitin se zpracovává odléváním
- ✓ hlavním přísadovým prvkem je téměř výhradně hliník, slitiny Mg-Al s nízkou hmotností
- ✓ čím je ve slitině vyšší obsah hliníku, tím lepší je zabíhavost
- ✓ ze slitin hořčíku je nejznámější tzv. elektron, obsahující též zinek a mangan, který se přidává do každé hořčíkové slitiny , aby se zvětšila odolnost proti korozi a zmenšila vznítivost
- ✓ technicky zajímavé, ale výrobně mimořádně složité jsou superlehké slitiny Mg-Li
- ✓ nejčastěji používanou slitinou pro tlakové lití je slitina s 9 % Al a 1 % Zn, označovaná jako AZ91, má vynikající zabíhavost a umožňuje odlévat tenkostěnné, tvarově velmi komplikované odlitky, má vysokou pevnost, ale pouze střední tažnost a houževnost
- ✓ pro vyšší tažnost a houževnatost se snižuje obsah hliníku a zinek je nahrazen manganem – tyto materiály se používají pro odlitky s vysokými požadavky na bezpečnost, např. volanty aut, armatury řízení a díly sedadel

Slévárenské slitiny mědi

- ✓ využívají se jejich specifické mechanické, frikční, fyzikální, antikorozi a jiné vlastnosti
- ✓ podle hlavního přísadového prvku se dělí do dvou základních skupin – bronzů a mosazí
- ✓ bronzů se podle hlavního přísadového prvku nebo skupiny přísadových prvků dělí do jednotlivých materiálových skupin, kdy nejvýznamnější skupiny jsou bronzů: cínové, cíno-olověné, hliníkové a olověné
- ✓ z dalších typů slitin se v menším rozsahu vyrábí slitiny Cu-Ni, Cu-Cr, Cu-Mn, Cu-Si, Cu-Be a další
- ✓ z hlediska slévárenského je důležitá šířka pásma tuhnutí mezi teplotami likvidu a solidu

Slévárenské slitiny mědi

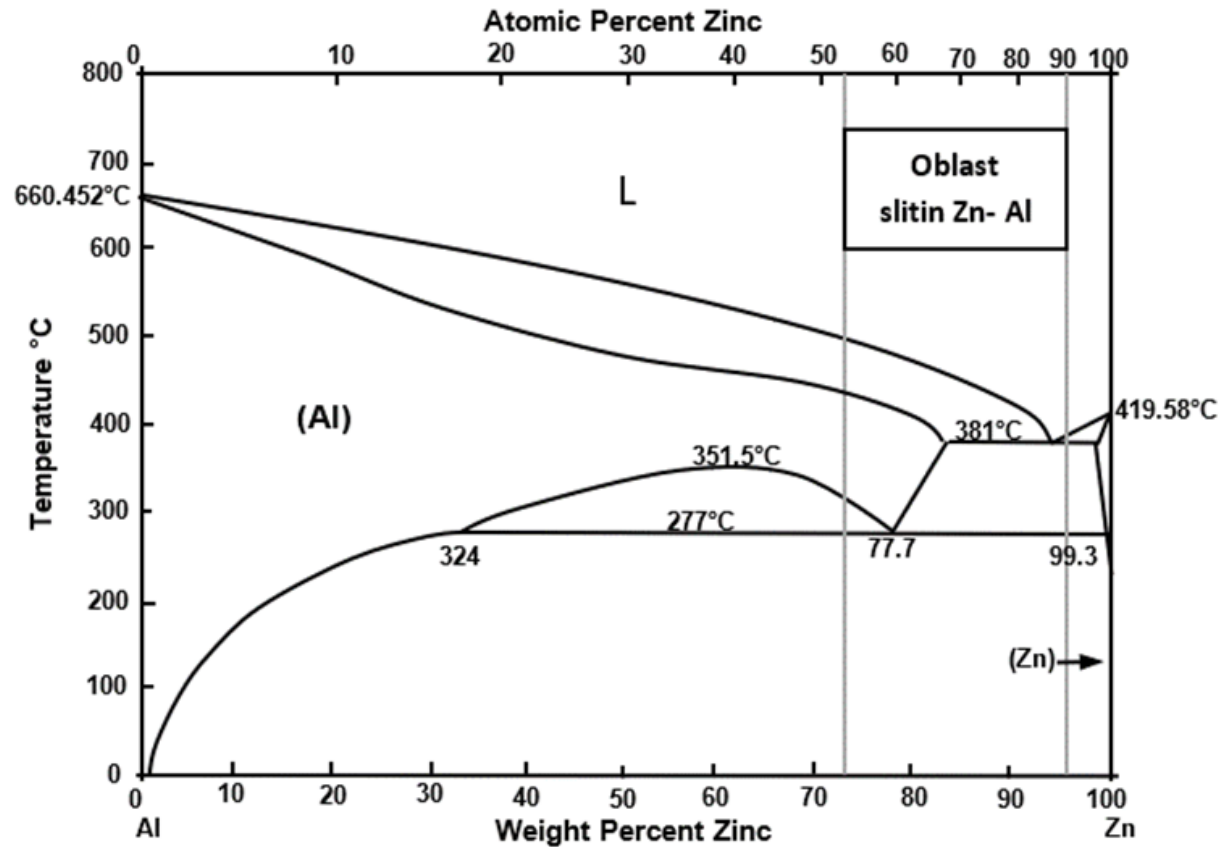
Podle tohoto kritéria je možno slitiny rozdělit zhruba do 3 skupin:

- ✓ *slitiny s úzkým intervalem tuhnutí do asi 50 K. Mezi tyto slitiny patří žluté mosazi, manganový, hliníkový a niklový bronz (slitiny CuZnNiSnPb) a chromová měď,*
 - ✓ *slitiny s intervalem tuhnutí 50-110 K – do této skupiny patří zejména křemíková mosaz, křemíkový bronz a slitiny Cu-Ni,*
 - ✓ *slitiny s intervalem tuhnutí nad 110 K (až do asi 170 K) – cínový a cíno-olověný bronz, červený bronz a olověný bronz.*
- ✓ šířka intervalu tuhnutí má rozhodující význam pro schopnost dosazování kovu do tuhajícího odlitku a pro makro- a mikrosegregaci přísadových prvků

Slévárenské slitiny zinku

- ✓ hlavní přísadový prvek je hliník, vysoká pevnost v tahu a houževnost, dobrá tvářitelnost, schopnost tlumit vibrace, odolnost proti korozi
- ✓ rovnovážný diagram systému Zn-Al je typem diagramu s primární fází s omezenou rozpustností přísadového prvku a se vznikem eutektika
- ✓ eutektikum je tvořeno fází Zn-ZnAl, eutektická teplota systému Zn-Al je rovna 382°C při koncentraci 5,5 % Al
- ✓ obsah hliníku v normovaných slitinách se pohybuje v rozmezí 4-27 % Al
- ✓ slitiny zinku se odlévají všemi běžnými slévárenskými metodami, výrazně však převažuje metoda tlakového lití
- ✓ doporučuje se odlévat na strojích se studenou komorou, v nichž je teplota forem nižší, aby nedocházelo k nalepování odlitků nebo reakci kovu s formou

Slévárenské slitiny zinku



rovnovážný diagram Zn-Al

Odlévání do netrvalých forem

- ✓ tyto netrvalé (jednorázové) formy se při vyjmutí odlitku formy zničí

Lití do pískových forem:

- ✓ flexibilní metoda, která je vhodná pro všechny hmotností kategorie odlitků
- ✓ používá se především pro kusovou a malosériovou výrobu menších odlitků

V-proces:

- ✓ metoda, která se ve světě uplatňuje ve stále větší míře pro výrobu tvarově složitých odlitků s vnitřními dutinami, které by bylo nutno vyrobit komplikovanými jádry
- ✓ typické je použití v automobilovém průmyslu pro výrobu hlav válců, výfukového potrubí nebo složitých skříňovitých odlitků



lití do netrvalé pískové formy

Odlévání do netrvalých forem

Lití do skořepinových forem:

- ✓ formy, vyrobené metodou z vytavitelného modelu, je velmi vhodnou technologií pro menší, tvarově komplikované odlitky z hliníkových slitin
- ✓ pro výrobu forem se obvykle používá křemenná keramika
- ✓ vzhledem k malému mechanickému a tepelnému namáhání se odléhá do samonosných skořepin, které mají menší počet obalů, než je obvyklé při lití slitin železa nebo niklu
- ✓ formy bývají pře litím předehřáty a na 200 až 300 °C
- ✓ odlitky mají vysokou přesnost, řadu rozměrů a je možno předlévat „nahotovo“



Odlévání do kovových forem

- ✓ do trvalých kovových forem se odlévají především odlitky menších až středních rozměrů
- ✓ účelnost použití kovových forem je limitována především náklady na jejich zhotovení



Gravitační lití do kovových forem

- ✓ jednoduchá technologie
- ✓ formy bývají obvykle zhotoveny odléváním z litiny s lupínkovým nebo kuličkovým grafitem
- ✓ dělicí rovina, upínací výstupky a vyhazovací otvory jsou obrobena, funkční plocha dutiny formy zůstává často v litem stavu
- ✓ jsou ovšem možné i jiné technologie výroby a jiné druhy materiálů kovových forem
- ✓ povrch forem se periodicky ošetřuje nátěry, které zamezují lepení odlitků ke kokile a rozpouštění železa
- ✓ nálitky mohou být ošetřeny tepelně-izolačními nátěry nebo je také možné do nálitků zakládat izolační nebo exotermické vložky

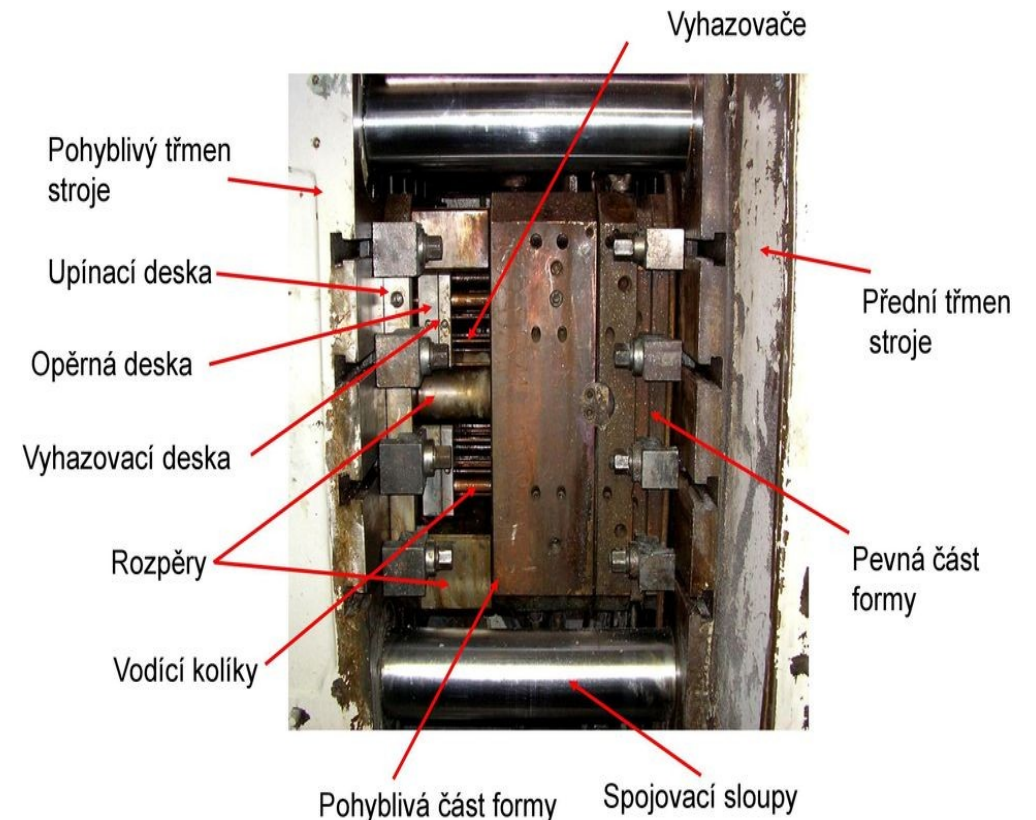
Tlakové lití

- ✓ nejdůležitější technologií výroby hliníkových odlitků
- ✓ principem výroby je vstřikování roztavené slitiny do dutiny kovové pod vysokým tlakem až 250MPa, za těchto podmínek je možné vyrábět tvarově velmi komplikované odlitky
- ✓ tvar odlitku musí respektovat možnosti rozebrání formy a vytažení volných částí a jader
- ✓ maximální velikost odlitků, které se na konkrétním stroji dají vyrobit, je limitována maximální hmotností kovu a uzavírací silou stroje, je to hodnota síly, kterou jsou svírány obě poloviny formy
- ✓ podle konstrukce se tlakové stroje dělí na dva základní typy: se **studenou** a s **teplou komorou**
- ✓ podle směru pohybu plnicího pístu mohou být stroje se svislou nebo vodorovnou komorou

Tlakové lití

- ✓ slitiny hliníku se v současné době odlévají téměř výhradně na strojích se studenou horizontální komorou
- ✓ tlakově lité odlitky nejsou, co se týče vnitřní homogenity, příliš kvalitními výrobky
- ✓ při rozstříkávání kovu ve formě dochází k jeho oxidaci a reakci s mazadlem a důsledkem je vznik velkého množství vměstků

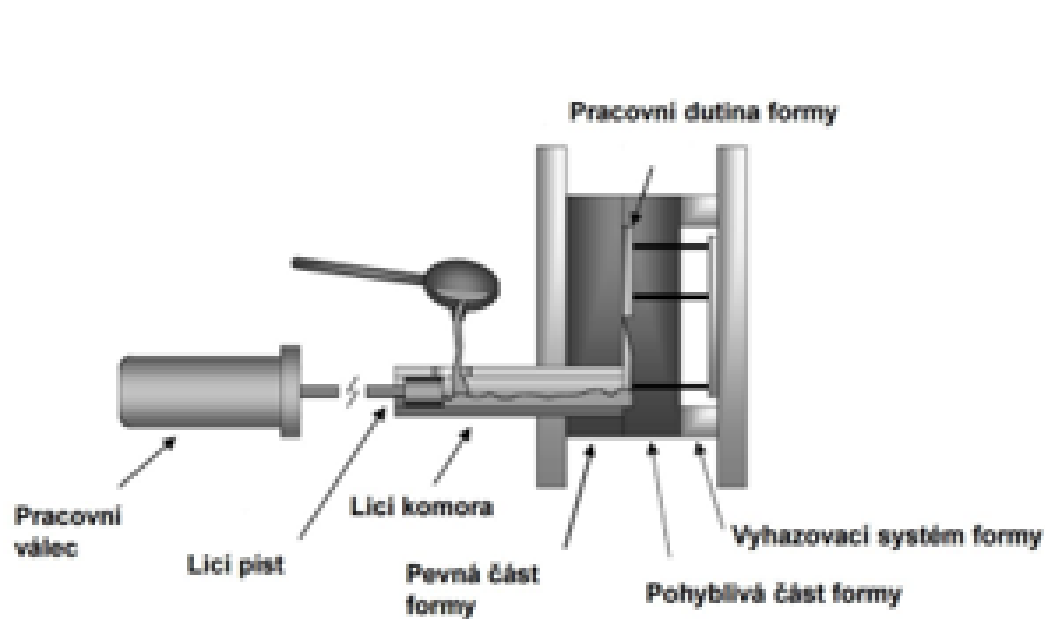
Tlaková licí forma



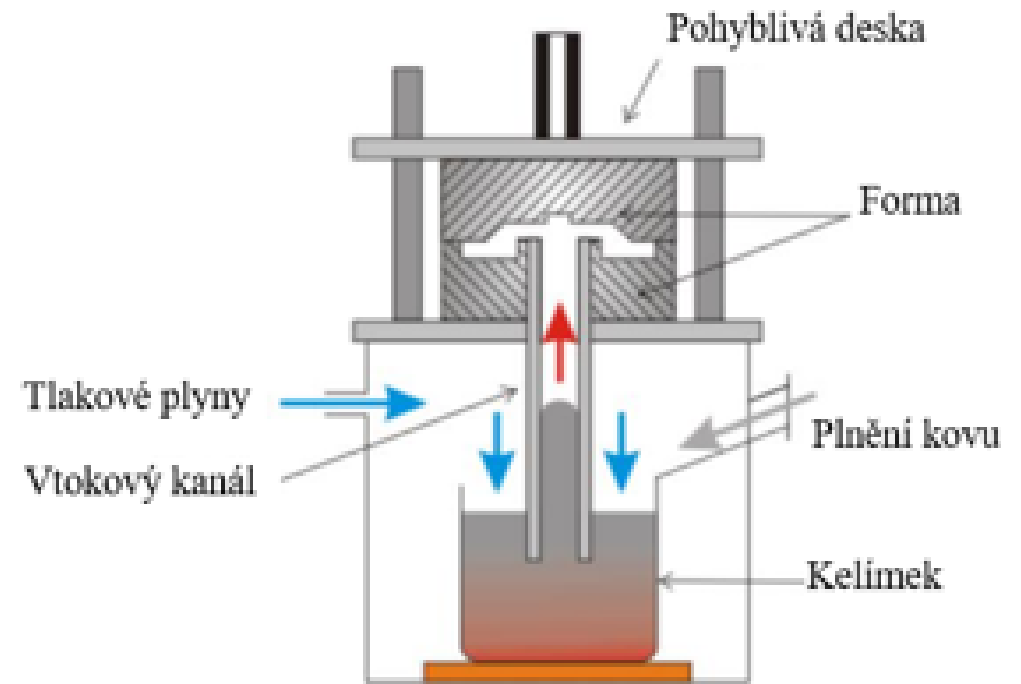
Nízkotlaké lití

- ✓ stroj pro tuto technologii je tvořen tlakotěsnou udržovací pecí, nad kterou je upnuta dělená kovová forma, obvykle s vodorovnou dělící rovinou
- ✓ tavenina v kelímku pece je se spodním dílem formy propojena stoupací trubicí ze žáruvzdorného materiálu tak, že trubice spodním okrajem zasahuje pod hladinu kovu
- ✓ odlévání se provádí zvýšením tlaku nad hladinou kovu, čímž je kov z kelímku vtlačován stoupací trubicí vzhůru do formy
- ✓ ústí stoupací trubice je ponořeno pod vrstvu oxidů a nečistot na hladině pece, proto vstupuje do formy čistý kov bez vměstků
- ✓ využití tekutého kovu je při nízkotlakém lití mimořádně vysoké a dosahuje přes 90 %
- ✓ kvalita odlitků, vyrobených touto metodou, je velmi vysoká
- ✓ nízkotlakým litím je možno vyrábět různorodé hmotnostní kategorie odlitků
- ✓ při lití silnostěnných odlitků s dlouhou dobou tuhnutí se však velmi prodlužuje délka výrobního cyklu

Odlévání do kovových forem



Obrázek – Schéma procesu tlakového lití



Obrázek – Schéma procesu nízkotlakového lití

Kontrola odlitků a opravy vad

- ✓ po ztuhnutí a uvolnění odlitků forem následuje dokončovací operace a kontrola odlitků
- ✓ během dokončovacích operací se provádí průběžná kontrola odlitků, jejímž cílem je zachycení odlitků se zjevnými vadami a jejich vyřazení z výroby
- ✓ další testování se provádí podle požadavků zákazníka, přičemž se provádí zejména:
 - rozměrová kontrola
 - zkoušky struktury
 - zkoušky mechanických a fyzikálních vlastností
 - nedestruktivní kontrola odlitků prozařováním a ultrazvukem
 - penetrační zkoušky nebo zkoušky těsnosti

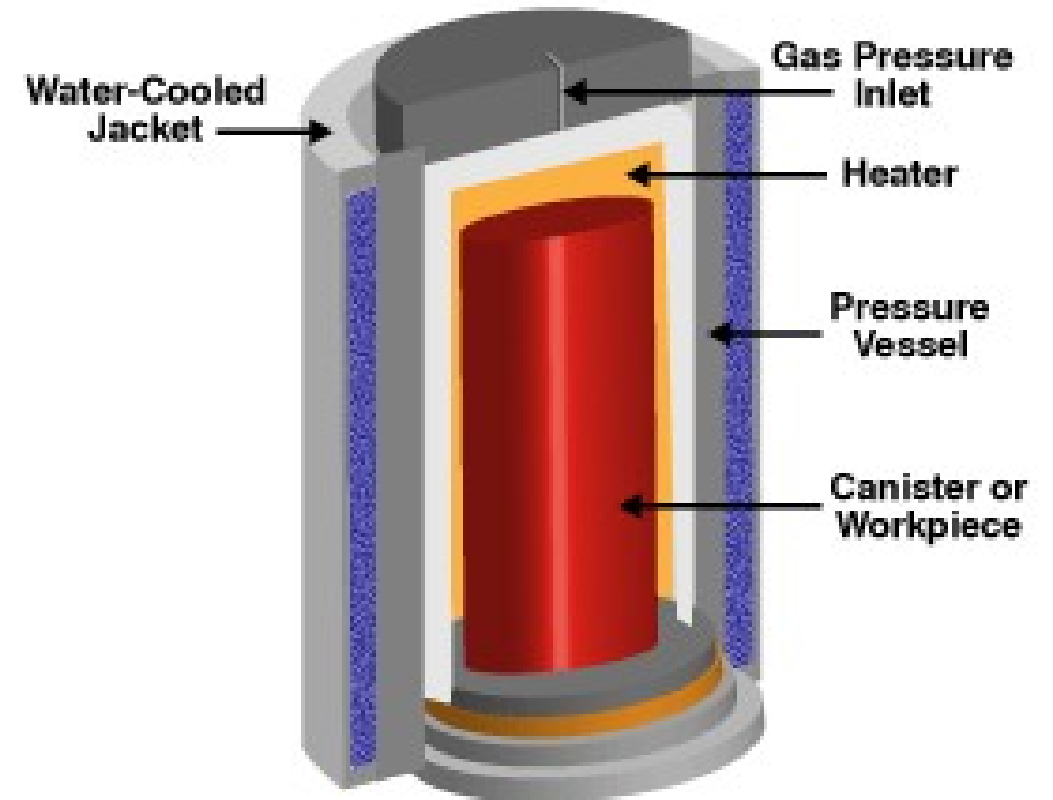
Impregnace odlitků

- ✓ v případě, kdy se vyžaduje těsnost odlitků vůči průniku tlakových médií, provádí se zkoušky těsnosti
- ✓ těsnost se kontroluje téměř výhradně pomocí přetlaku plynů, neboť stěna odlitků je pro plyny podstatně propustnější než pro kapaliny
- ✓ dutina odlitků se uzavře vhodnými zátkami, odlitky se ponoří do vody a natlakují vzduchem
- ✓ průnik plynu je indikován vznikem bublin

Izostatické lisování za tepla

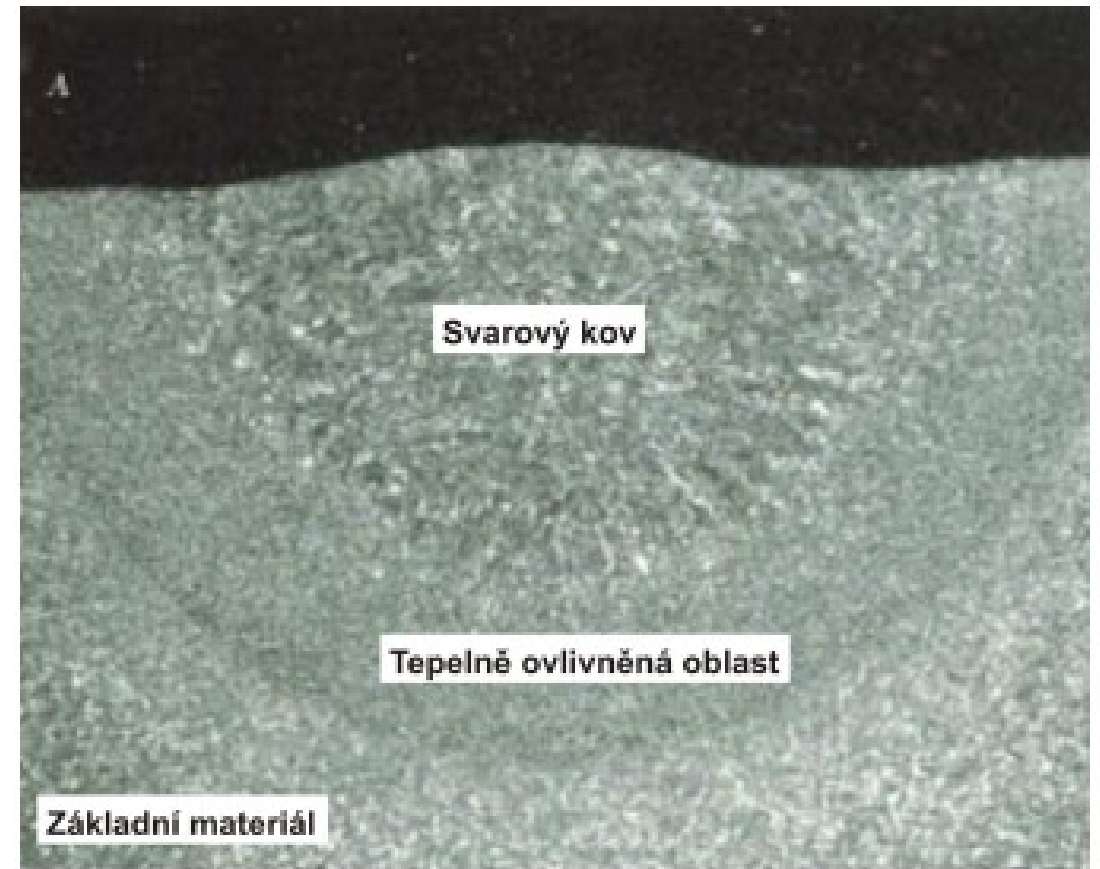
- ✓ HIP (hot isostatic pressing) se používá k odstranění dutin a zvýšení mechanických a únavových vlastností odlitků
- ✓ výsledkem je zvýšení vnitřní homogenity a hustoty slitiny
- ✓ odlitky jsou umístěny v tlakové komoře izostatického lisu, ohřáty na teplotu blízkou teplotě solidu příslušné slitiny a tlak v komoře lisu je zvýšen na hodnoty kolem 100 MPa

HOT ISOSTATIC PRESSING



Opravy zavařováním

- ✓ zavařováním se odstraňují lokální vady typu dutin, prasklin nebo defekty tvaru (např. podříznutí při odstraňování nálitků nebo místní podbroušení apod.)
- ✓ podmínkou použití této metody je přípustnost svařování pro daný odlitek



Kontrolní otázky

1. Charakterizujte základní typ hliníkových slitin.
2. Charakterizujte slévárenské slitiny typu Al-Si.
3. Uveďte a popište slévárenské slitiny typu Al-Cu.
4. Definujte slévárenské slitiny typu Al-Mg.
5. Uveďte aplikace ve strojírenské praxi následujících slitin typu Al-Si, Al-Cu a Al-Mg.
6. Charakterizujte slévárenské slitiny hořčíku.
7. Uveďte základní typy slévárenských slitin mědi.
8. Definujte slévárenské slitiny zinku.
9. Vyjmenujte technologie odlévání hliníkových slitin do netrvalých forem.

Kontrolní otázky

10. Popište princip technologie lití do pískových forem.
11. Uveďte a popište technologii lití do skořepinových forem.
12. Definujte technologie odlévání do kovových forem.
13. Uveďte princip technologie tlakového lití.
14. Charakterizujte a popište technologii nízkotlakého lití.
15. Charakterizujte zkoušky jakosti odlitků nejčastěji požadované zákazníky.
16. Definujte princip a účel impregnace odlitků.
17. Uveďte, k čemu je používána technologie o názvu izostatické lisování za tepla.
18. Definujte princip oprav zavařováním.

Použitá literatura a zdroje

- ✓ [online]. [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/12533621-Vyroba-odlitku-ze-slitin-hliniku.html>
- ✓ [online]. [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: http://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/granty/lapsanska_prehled_metod_svarovani.pdf
- ✓ [online]. [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://www.mpif.org/IntrotoPM/Processes/IsostaticPressing.aspx>