



# 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

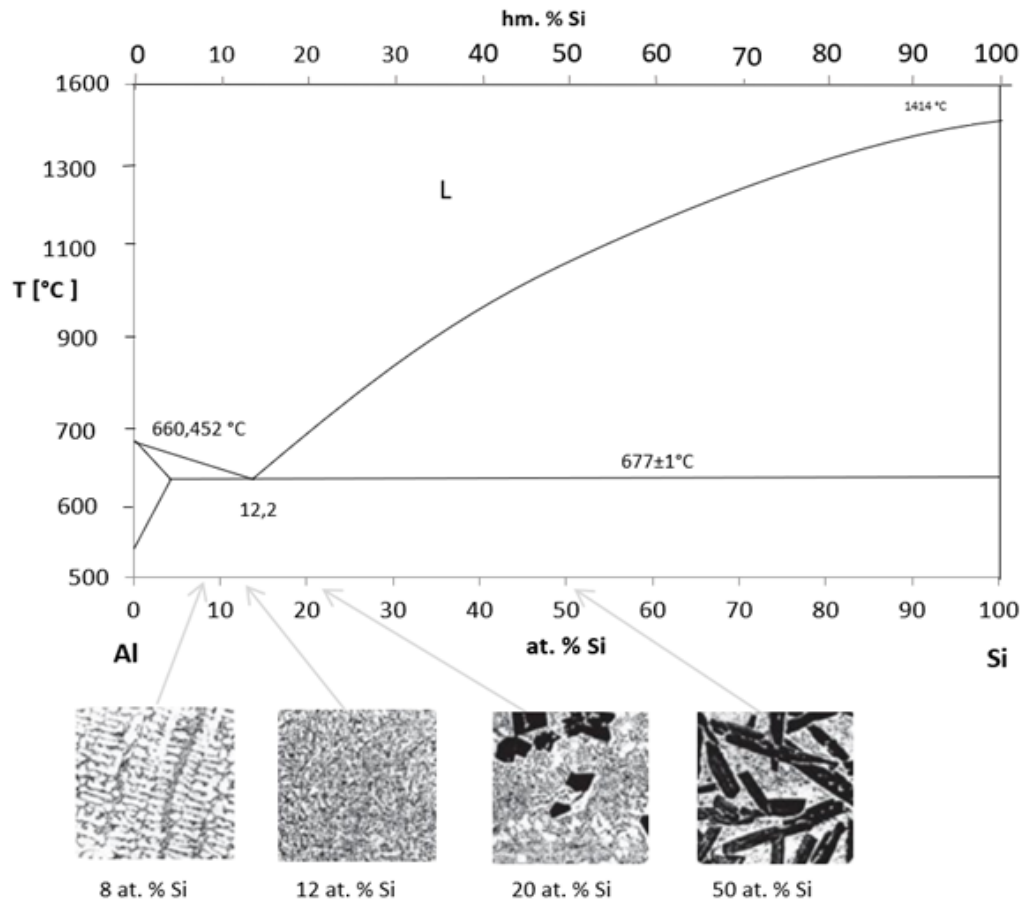
# Slitiny typu Al-Si (tzv. siluminy)

---

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).

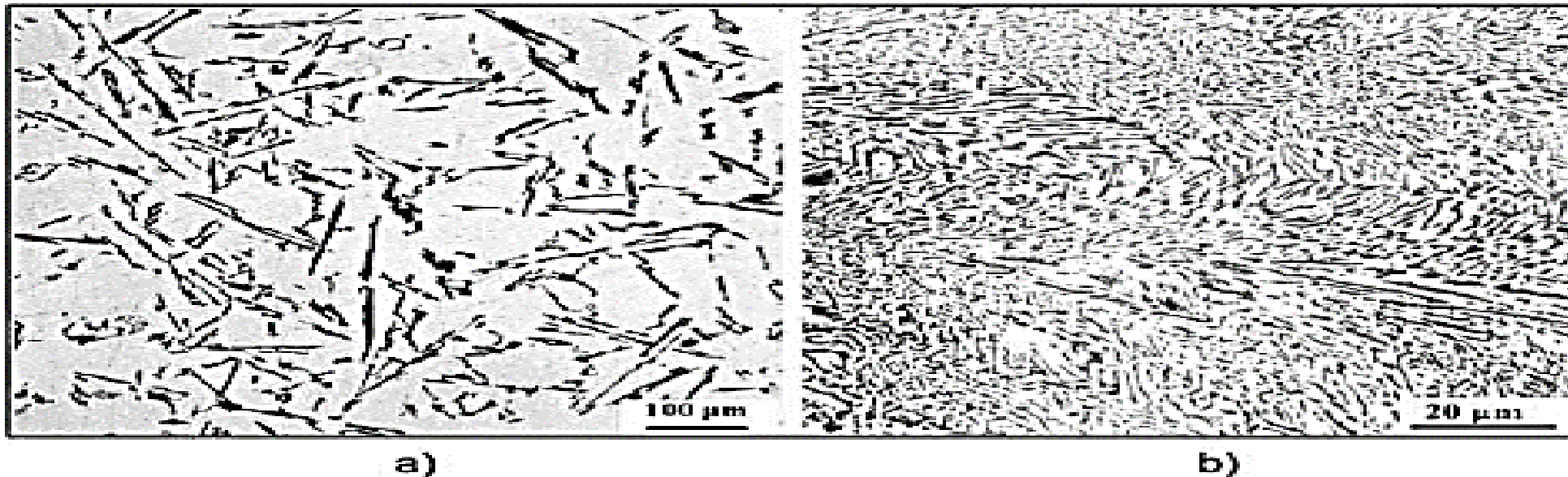
# rovnovážný diagram slitin typu Al-Si (tzv. siluminy)



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

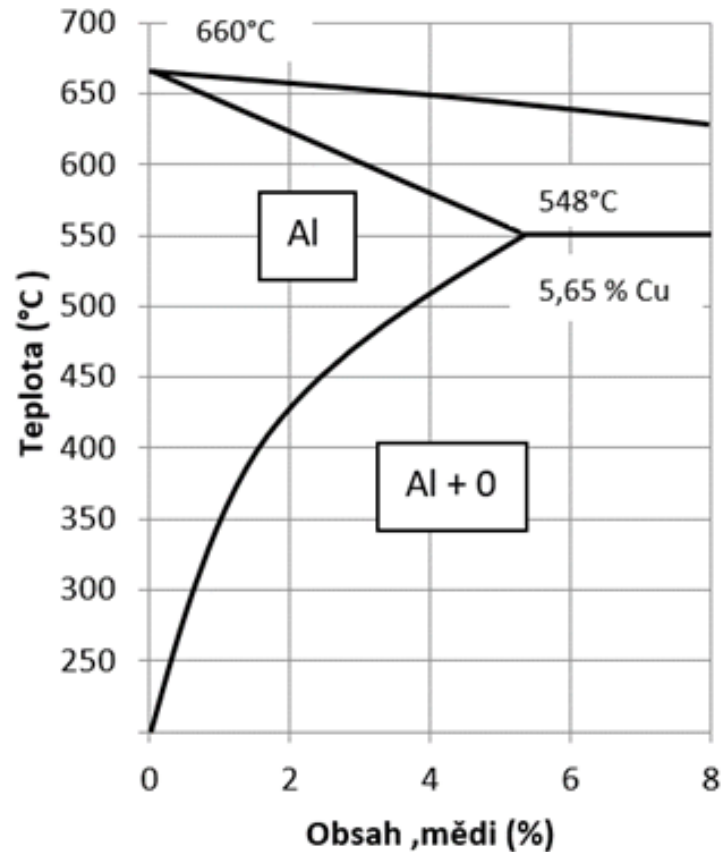
pevnost vybraných slitin hliníku pro odlitky

# 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)

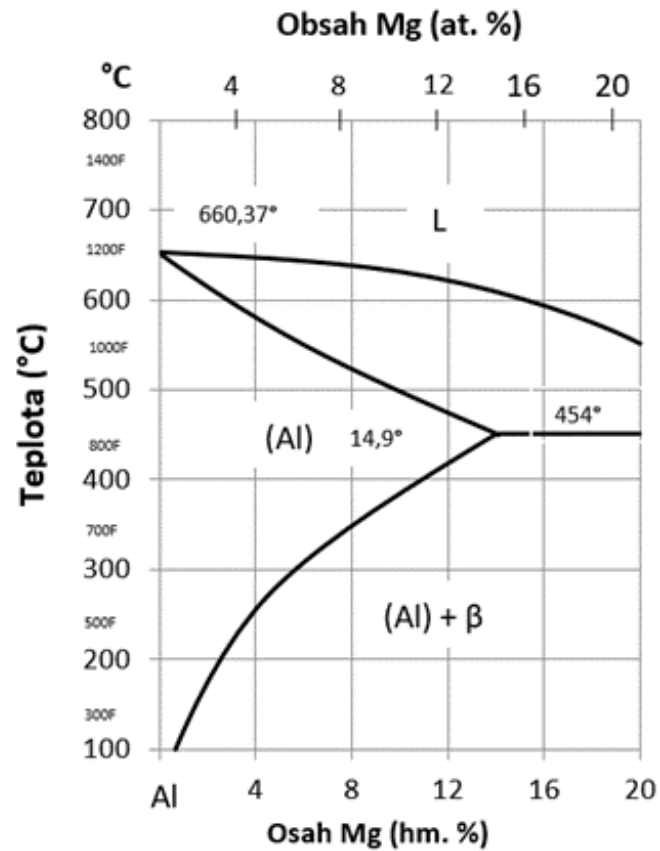


rovnovážný diagram Al-Cu

# 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  $\alpha$  (Al) a  $Al_8Mg_5$ , označované jako fáze  $\beta$ , 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

# Sévárenské 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 houževnatost
- ✓ 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, antikoroziční 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

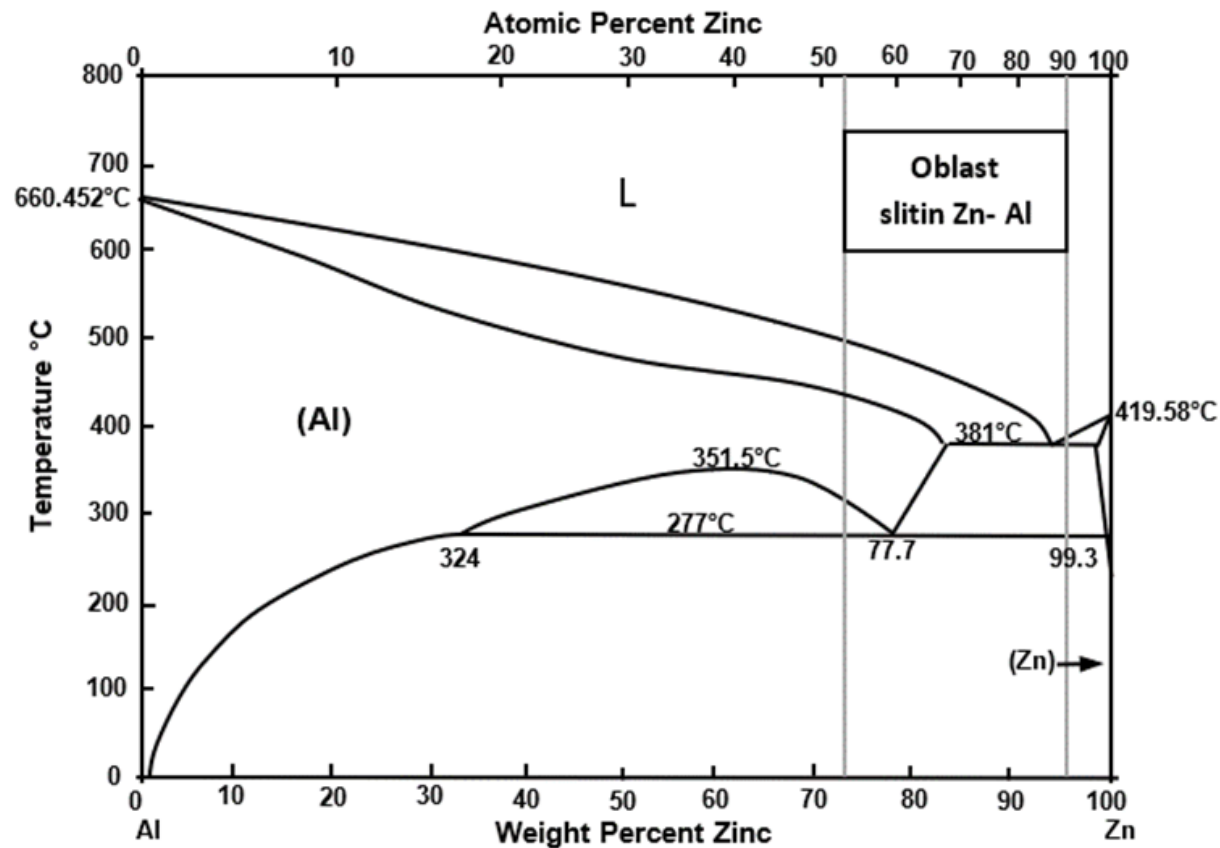


# Slévárenské slitiny zinku

---

- ✓ 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

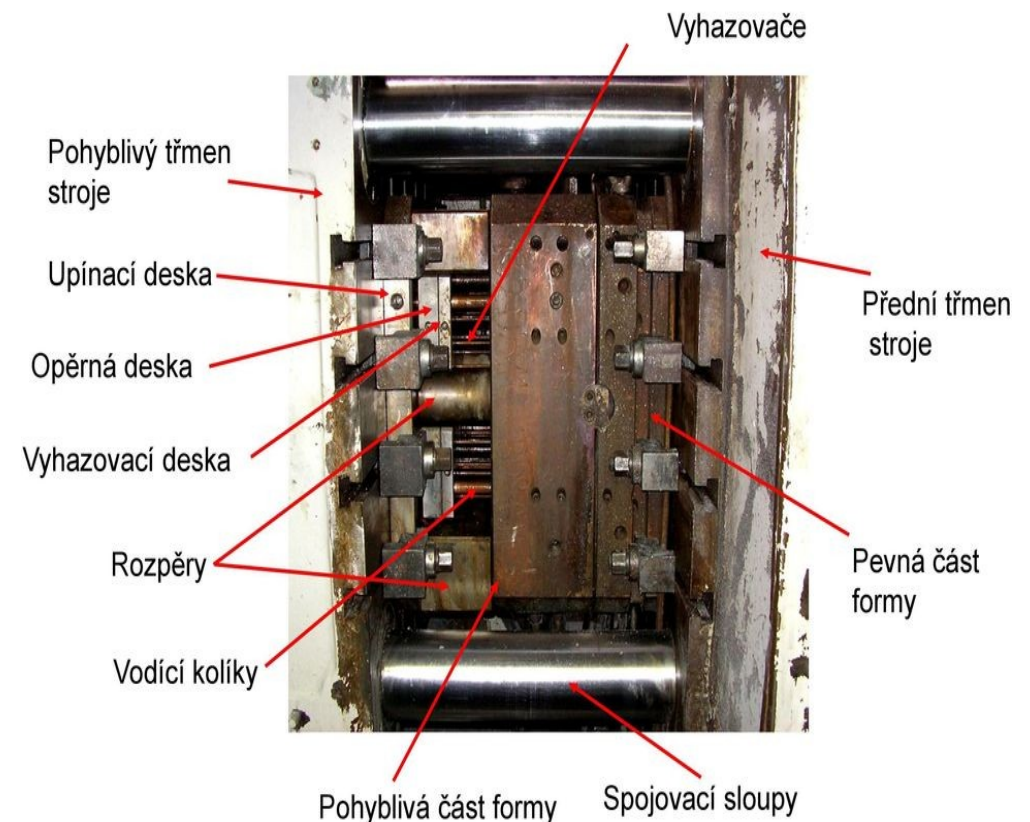
---

- ✓ 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



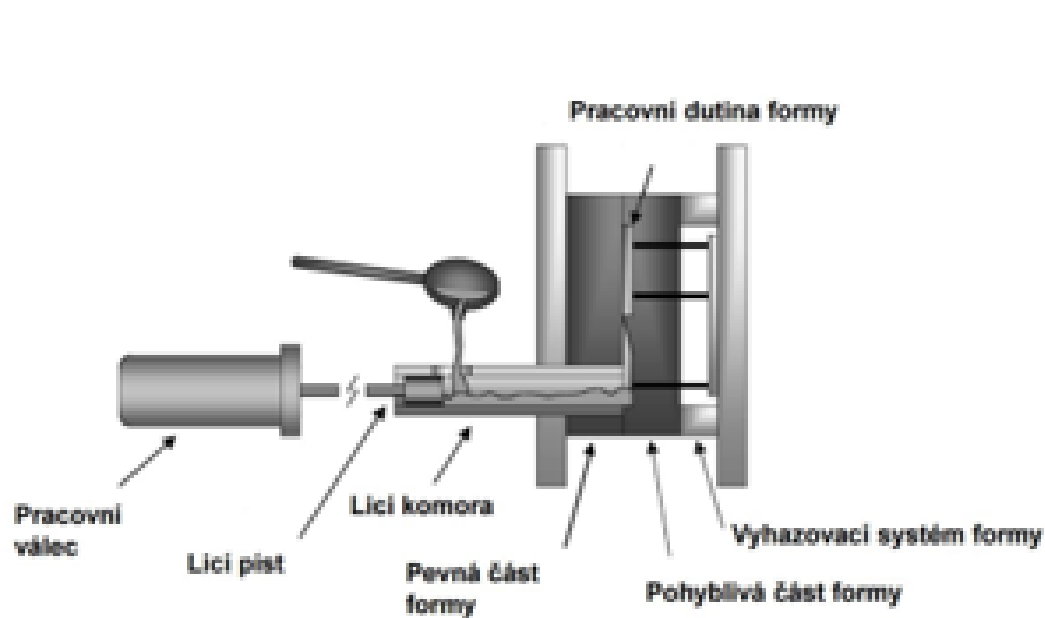


# Nízkotlaké lití

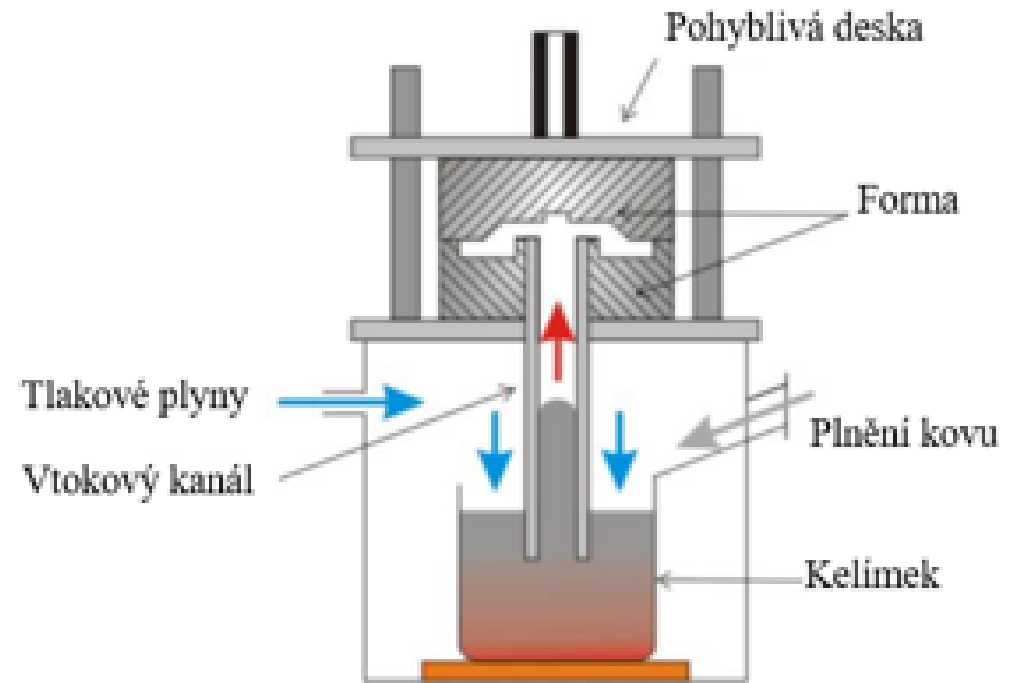
---

- ✓ 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

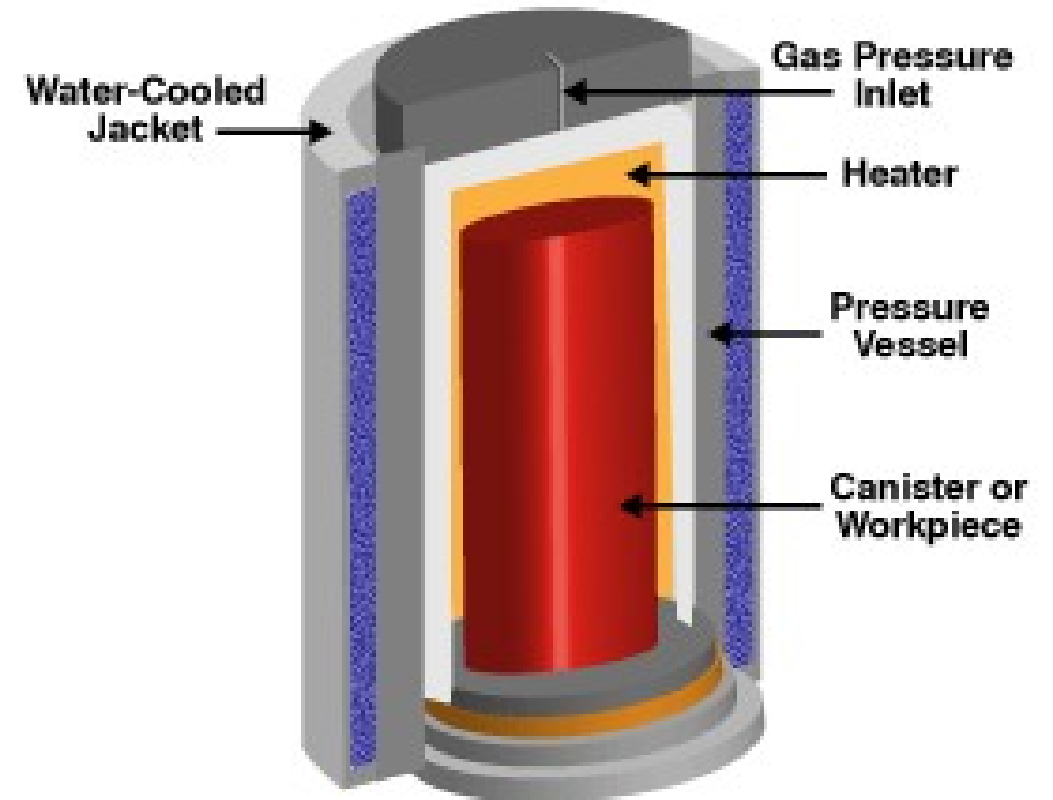
---

- ✓ 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

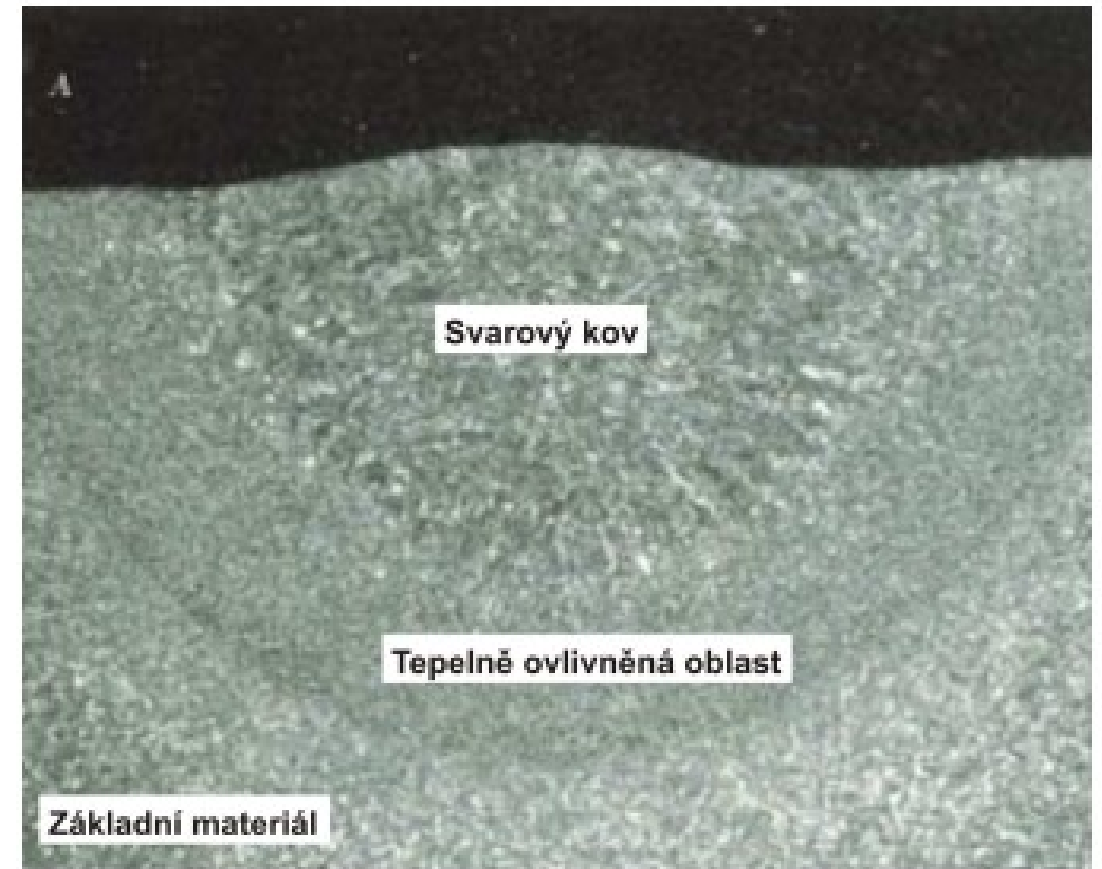
- ✓ HIP (hot isostatic pressing) se používá k odstranění dutin a zvýšení mechanických a únavových vlastností odlitků
- ✓ výsledkem je zvýšení vnitřní homogenity a hustoty slitiny
- ✓ odlitky jsou umístěny v tlakové komoře izostatického lisu, ohřáty na teplotu blízkou teplotě solidu příslušné slitiny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