

Interreg



Rakousko-Česká republika

Evropský fond pro regionální rozvoj

STROJÍRENSTVÍ

Formy a lití kovů



UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES
UPPER AUSTRIA



EVROPSKÁ UNIE

OBSAH

1. Výroba forem a jader	3
1.1. Formování	3
1.1.1. Strojní formování.....	3
1.1.2. Bezrámové formování	4
1.2. Speciální způsoby výroby odlitků.....	7
1.3. Odlévání forem – gravitační lití a zvláštní způsoby lití	10
2. Namáhání forem při odlévání.....	12
2.1. Volba formovacího rámu	12
2.2. Formování	13
2.3. Odlévání.....	14
2.4. Vyjímání odlitků a dokončovací operace	15
2.5. Příklad postupu formování pomocí děleného modelu a jádra	18
3. Tuhnutí a chlazení odlitků	34
3.1. Slévárenské vlastnosti kovů a slitin	34
3.2. Slévárenské formovací materiály a vtoková soustava odlitku.....	36
3.2.1. Formovací směsi.....	37
3.2.2. Vlastnosti při odstraňování formy	38
3.3. Překrystalizace kovů - křivka ochlazování.....	39
3.3.1. Zárodky:	40
4. Tavení	41
4.1. Tavení.....	41
4.2. Základní pojmy	41
4.3. Tavení kovů	42
5. Vlastnosti roztavených kovů a slitin	44
5.1. Vlastnosti roztavených kovů a slitin	44
5.2. Technologické vlastnosti kovů a slitin	45
6. Kovy a slitiny v slévárenství a jejich označování.....	46
6.1. Materiály používané na výrobu odlitků	46
7. Výroba odlitků	48
7.1. Technická příprava výroby	48
7.2. Technologický postup výroby odlitku.....	49

7.3.	Volba polohy odlitku ve formě při odlévání	51
7.4.	Volba dělicí plochy.....	51
8.	Modelové zařízení.....	52
8.1.	Modely	52
8.2.	Smrštění odlévaných slitin	53
8.3.	Přídavky na obrábění a přídavky technologické.....	53
8.4.	Slévárenské úkosy modelů a odlitků	53
8.5.	Šablonovací zařízení.....	54
8.6.	Jádrovníky	55
8.7.	Modelové desky.....	55

1.VÝROBA FOREM A JADER

1.1. Formování

- ruční
- strojní

Pro výrobu jednorázové formy se používá formovací rám, který může být kruhového, čtvercového anebo obdélníkového tvaru. Stěny má perforované (děrované), po stranách má oka.

Při ručním formování se používají šablony:

- rovinné - příčné a podélné
- rotační

Šablona je modelářské zařízení (dřevěné), které má aktivní hranu vyztuženou plechem - pro zvýšení životnosti. Je vyrobená z desky. Využívá se při velkorozměrných pravidelných odlitcích jako model.

- **výhody:** nízká náročnost na materiál, málo odpadu při výrobě
- **nevýhoda:** namáhavá náročná práce

Při ručním formování známe formování na nedělený model (vyřezáním anebo pomocí šněrovačky) anebo formování na dělený model.

1.1.1. Strojní formování

Provádí se vždy na dělený model, přičemž se používá modelová deska, avšak na rozdíl od běžné modelové desky má tato deska kolíky, na které se nasazuje formovací rám, čímž se zabezpečí 100% reprodukovatelnost polohy dutiny odlitku oproti rámu. Každá část složené formy se vyrábí samostatně:

- **lisováním** - při výrobě lisováním vzniká problém, že formovací směs okolo modelu v rámu není rovnoměrně zpevněná. Nejméně zpevněná je tam, kde je nejvyšší sloupec. Z toho důvodu se volí tvarová lisovací deska.
- **setřásáním** - nejvíce je upevněná formovací směs okolo modelu v dolní poloze. Ke zpevnění dochází kinetickou energií sloupce formovací směsi, přičemž výška

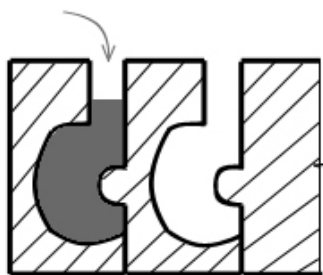
zdvihu je 10-100mm a počet zdvihů za 1 min je 120 až 150.

- **metáním** - používá se při výrobě velkorozměrných výrobků
- **foukáním** - při výrobě jader - jaderník se vyplní postupným usazováním jádrové směsi (málo používané)
- **vstřelováním** - též při výrobě jader - dochází k přemístění jádrové směsi do jaderníku ve zlomku sekundy

I.I.2. Bezrámové formování

Vstřelování + lisování

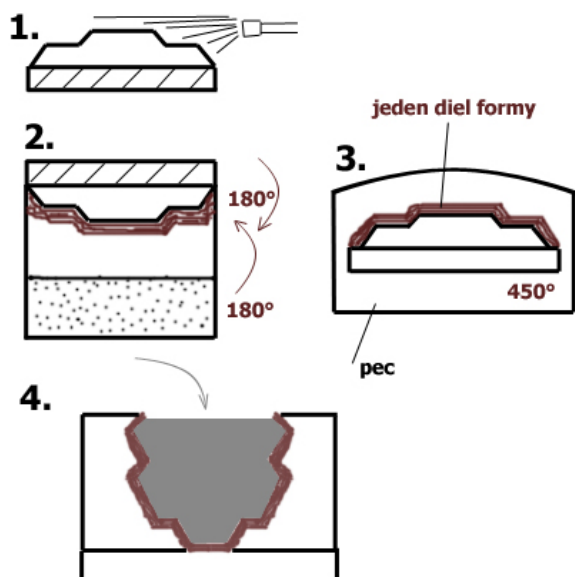
Vyrábí se jím až 300 forem za hodinu – obr. 1.1



Obr. 1.1 Bezrámové formování

Výroba skořepinových forem na kovový model

Kovový model se předeřeje a postříká se silikonovým olejem, nasadí se do zásobníku, překlopí se (2x), skořepina se dá do pece (přibližně 450 °C), uděláme ještě jednu a zaformujeme – obr. 1.2.



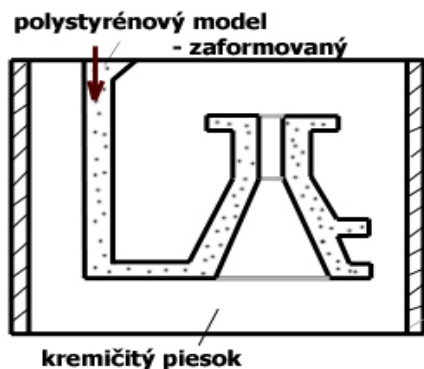
Obr. 1.2 Skořepinové formy na kovový model

Výroba skořepin na vytavitelný model

Stromečkový model z vosku se ponoří do tekutého pojiva, následně se posype křemičitým pískem, to se opakuje, dokud se nevytvoří dostatečně hrubá skořepina, v obrácené poloze se stromeček ponoří do horké vody, přitom dojde k roztavení a vytečení vosku, samotná skořepina se vypálí do červeného žáru – vznikají velmi přesné výrobky.

Výroba skořepin na spalitelný model

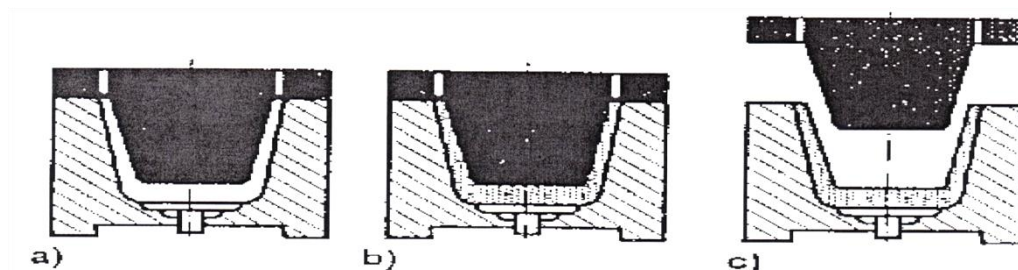
Jedná se o polystyrenový model - polystyren se spaluje při 100 °C, dokola vzniká $H_2O + CO_2$, slepí křemičitý písek a tím se vytvoří tenká skořepina – obr. 1.3.



Obr. 1.3 Skořepinová forma se spalitelným modelem

Vytvrzování jader

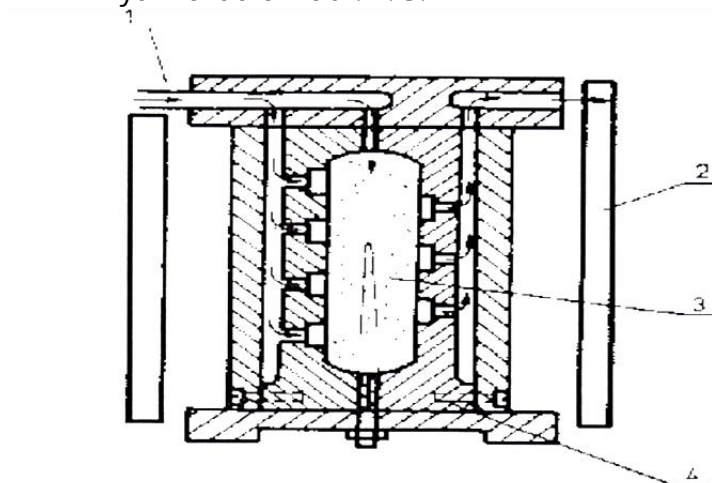
- v teplých jadernících - HOT-BOX - křemičitý písek + pojivo (živice) - kovový jaderník – obr. 1.4.



Obr. 1.4 Princip výroby dutého jádra metodou Hot-Box

- a) zahřátý jaderník;
- b) vytvrzování formovací směsi teplem jaderníku;
- c) rozebrání jaderníku a uvolnění jádra

- ve studených jadernících - COLD-BOX - vznikají chemické reakce - plynové vytvrzovací - obr. 1. 5.

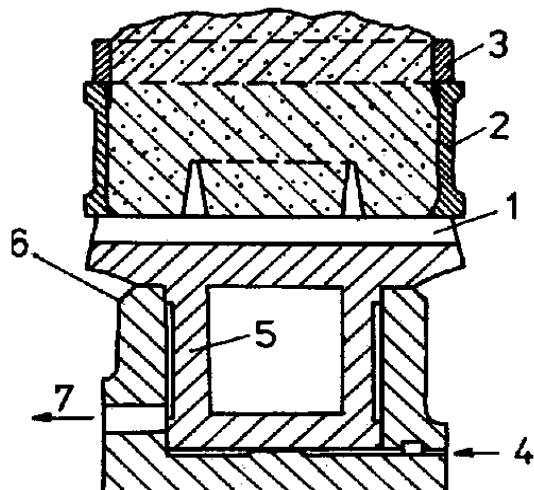


Obr. 1.5 Jaderník pro metodu Cold-Box

- 1) přívod plynného katalyzátoru; 2) odsávání; 3) jádro; 4) jaderník

1.2. Speciální způsoby výroby odlitků

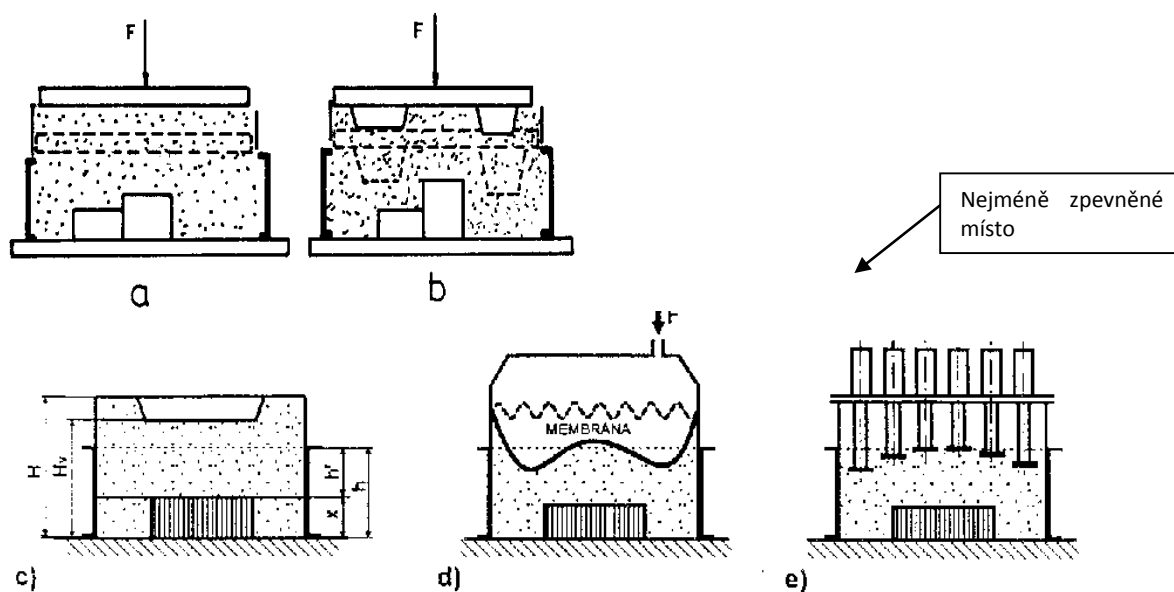
Výroba forem setřásáním – obr. 1.6



Obr. 1.6 Forma vyráběná setřásáním

1) modelová deska, 2) formovací rám, 3) pomocný rám, 4) přívod stlačeného vzduchu, 5) setřásací stůl, 6) stojan stroje, 7) výfuk vzduchu

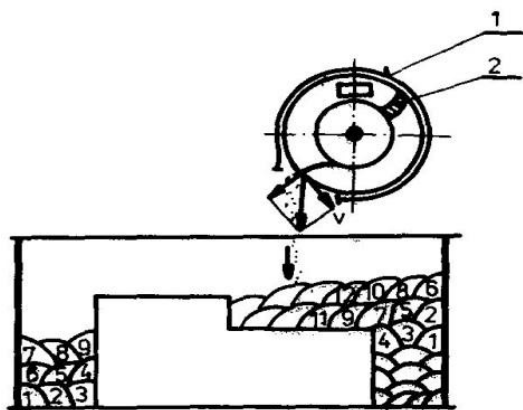
Výroba forem lisováním – obr. 1.7



Obr. 1.7 Forma vyráběná lisováním

a) rovná lisovací deska, b) tvarová lisovací deska, c) lisování rovnou lisovací deskou s před úpravou povrchu směsi, d) lisování pružnou membránou, e) lisování dělenou lisovací hlavou

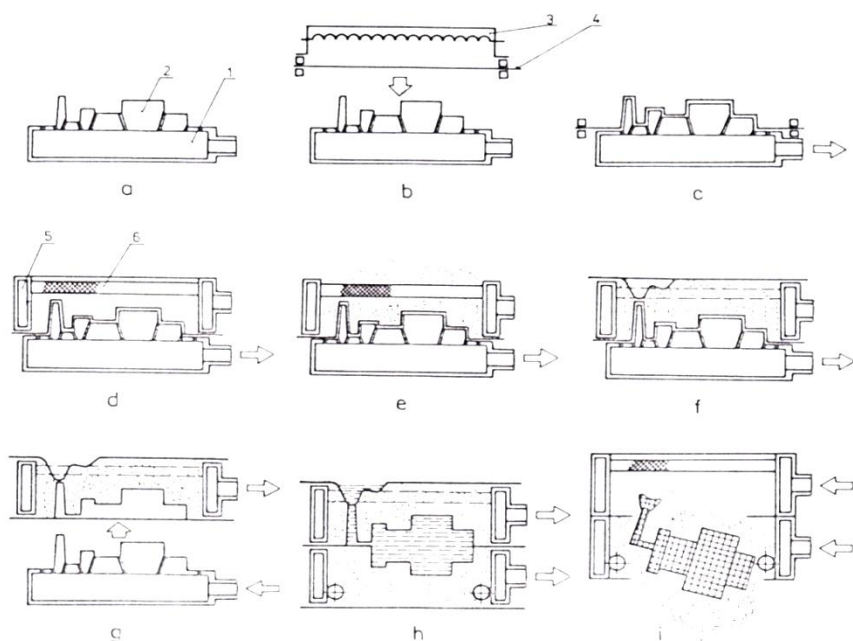
Výroba forem metáním – obr. 1.8



Obr. 1.8 Forma vyráběná metáním

1 – vrhací hlava, 2 – vrhací lopatka

Vakuové formování – obr. 1.9



Výroba forem na voskovo - vytavitelný model

a – model, b – výroba voskových modelů, c – spojování voskových modelů do stromčeka, d – máčání stromčeka do suspenzie, e – sypanie piesku na stromček, f – odvoskovanie formy, g – plnenie vypálenej formy kovom

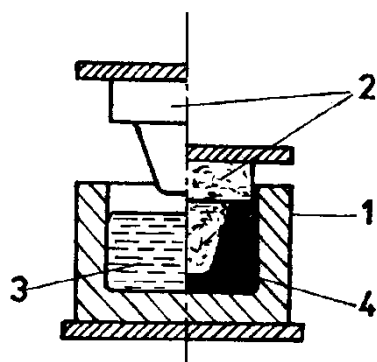
Obr. 1.9 Způsob vakuového formování

1) modelová deska, 2) model, 3) ohřívací těleso, 4) fólie, 5) horní formovací rám, 6) nasávací roura

a) výchozí poloha modelu, **b)** ohřev fólie, **c)** napnutí změkklé fólie na model působením vakua ve forem. rámu, **d)** umístění formovacího rámu na model, **e)** vyplnění forem. rámu suchým pískem, **f)** po vytvoření vtokové jamky přikrytí forem. rámu druhou fólií, **g)** zavzdušnění modelové desky a odebrání forem. rámu, **h)** spojení dvou půlek formy do jednoho celku a vyplnění formy kovem, **i-** zrušení vakua v obou formovacích rámech a vyjmutí odlitku

Metóda litie a lisovanie – obr. 1.10

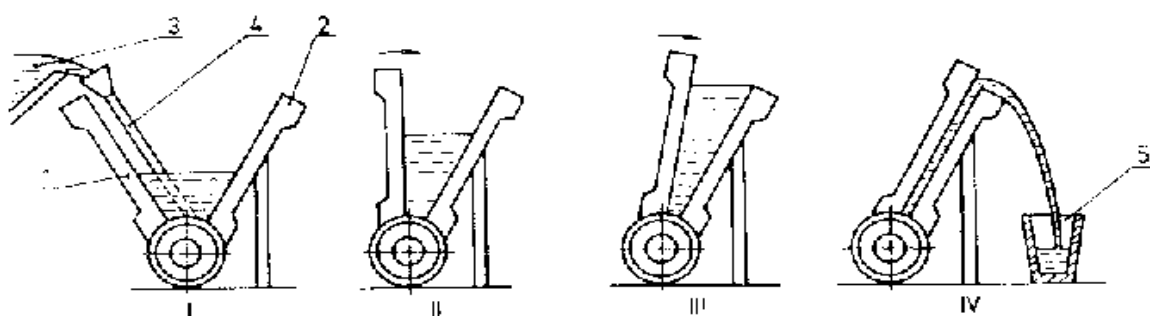
Lití a lisování – obr. 1.10



Obr. 1.10. Metoda lití a lisování

1) forma, 2) lisovací píst, 3) lisovaný tekutý kov, 4) odlitek

Výroba odlitků vytlačováním taveniny z formy – obr. 1.11



Obr. 1.11 Způsob výroby odlitků vytlačováním taveniny z formy

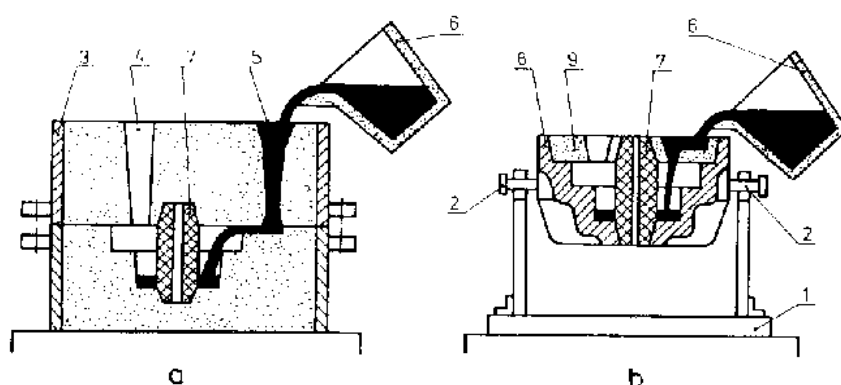
1, 2) pohyblivé části formy, 3) licí pánev, 4) vtoková roura, 5) pánev
I - plnění formy kovem, II - tvarování odlitků působením lisovníku, III - vyhození odlitku z formy, IV - odlévání čepů

1.3. Odlévání forem – gravitační lití a zvláštní způsoby lití

Výroba odlitků gravitačním litím s použitím sklopné licí pánve – obr. 1.12

Způsob výroby odlitků gravitačním litím se zpravidla vykonává dvěma principy:

- a) princip gravitačního odlévání do jednorázové pískové formy,
- b) princip gravitačního odlévání do trvale kombinované kokily.

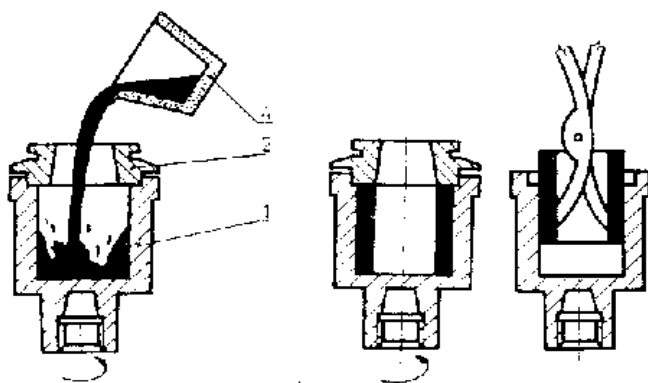


Obr. 1.12 Výroba odlitků gravitačním litím s použitím sklopné licí pánve

1) základová deska, 2) otočné čepy, 3) rám, 4) nálipek, 5) vtokový kůl, 6) licí pánev, 7) jádro, 8) kokila, 9) jádro

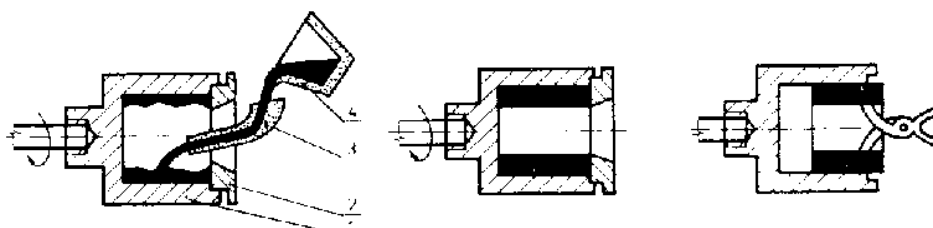
a) odlévání do jednorázové pískové formy, b) odlévání do trvale kombinované kokily

Výroba odlitků odstředivým litím – obr. 1.13, obr. 1.14



Obr. 1.13 Výroba odlitků odstředivým litím s vertikální osou otáčení

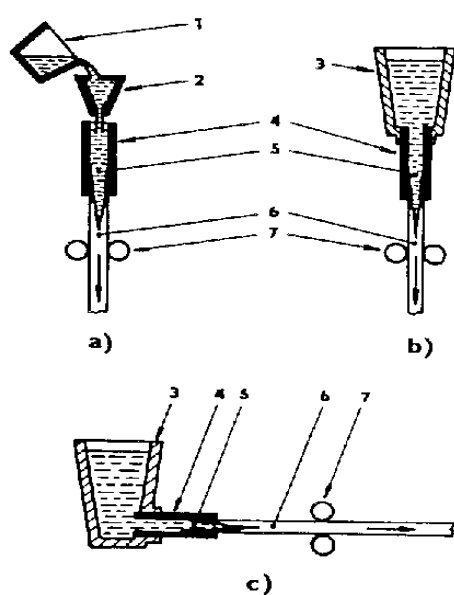
1) kokila, 2) víko, 4) licí pánev



Obr. 1.14 Výroba odlitků odstředivým litím s vodorovnou osou otáčení

1) kokila, 2) víko, 3) kovovod, 4) licí pánev,

Plynulé – kontinuální odlévání – obr. 1.15



Obr. 1.15 Plynulé - kontinuální odlévání

1) licí pánev, 2) nálevka, 3) kelímek, 4) forma, 5) tekutý kov, 6) ztuhlý materiál, 7) tažné válce

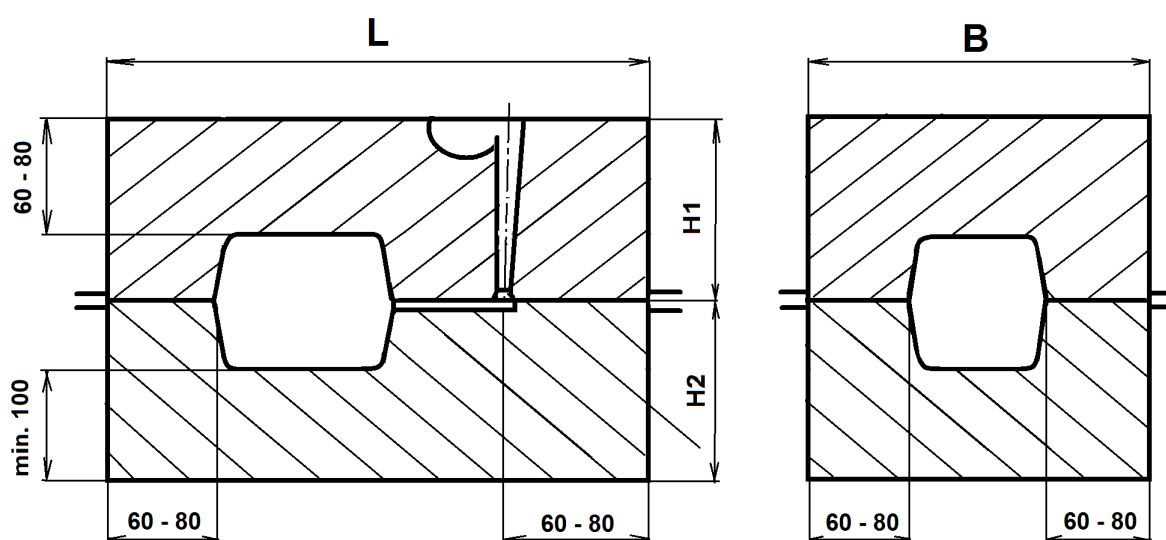
a) vertikální otevřený systém, b) vertikální uzavřený systém, c) horizontální uzavřený systém

2. NAMÁHÁNÍ FOREM PŘI ODLÉVÁNÍ

2.1. Volba formovacího rámu

Při volbě formovacího rámu se vychází z umístění modelu ve formě, přičemž se dodržují orientační vzdálenosti modelu od formovacího rámu podle obr. 2.1.

Formovací rámy: tvoří pevný a kompaktní obal formy, umožňující její zhuštění a manipulaci s ní. Mohou být různého tvaru, ale nejčastěji se používají obdélníkového nebo čtvercového průřezu. Na rámech se nachází patky s otvory určenými ke skládání forem pomocí skládacích kolíků. Ty zajišťují přesnou a neměnnou vzájemnou polohu částí formy po jejím rozebrání a opětovném složení.



Obr. 2.1 Orientační vzdálenosti modelu od formovacího rámu

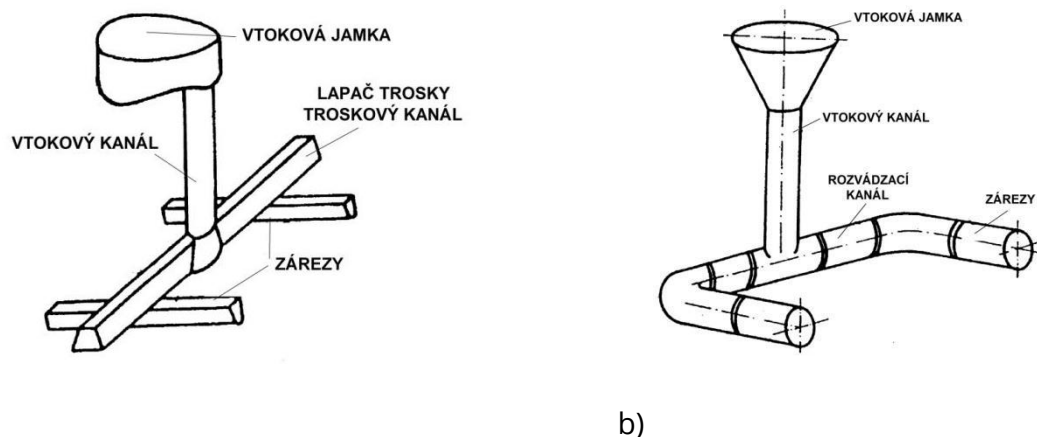
Na základě takto zjištěných hodnot délka x šířka x výška ($L \times B \times H$), resp. při kruhovém tvaru formovacího rámu průměr x výška ($D \times H$) se formovací rám označí následovně:

HR $L \times B \times H1$ (horní rám),
DR $L \times B \times H2$ (dolní rám).

Vtoková soustava

Vtoková soustava je systém kanálů, které slouží k zaplnění dutiny formy tekutým kovem (obr. 2.2). Ve vtokové soustavě se tekutý kov nesmí příliš ochladit, aby spolehlivě vyplnil formu, nesmí se zahlcovat plyny, zpěnit a pod. Tekutý kov též nesmí svým proudem poškodit stěny formy. Vtoková soustava musí zachytit co nejvíce nečistot. Tekutý kov má

být ve formě rozvedený tak, aby jeho tuhnutí bylo usměrněné a zabránilo se tak vzniku staženin.



Obr. 2.2 Vtoková soustava

a) pro odlévání litiny, b) pro odlévání ocele

Základní prvky vtokové soustavy jsou:

- **vtoková jamka** – slouží k zachycení proudu kovu z lící pánve a jeho usměrnění do vtokového kanálu,
- **vtokový kanál** – slouží k přivedení tekutého kovu z vtokové jamky do rozvodného kanálu,
- **rozvodný (struskový) kanál** – rozvádí kov od vtokového kanálu k vtokovým zářezům a zachytává strusku a nečistoty, které tekutý kov strhl,
- **zářezy** – spojují rozvodný kanál s dutinou formy,
- **výfuk** – odvádí plyny a páry, které vznikají při lití.

2.2. Formování

Stanovení množství formovacího písku pro zaformování

Čistá spotřeba písku je daná rozdílem objemu všech použitých rámců k formování a objemem modelu. K tomu je třeba připočítat objem jádra. Pro výpočet hmotnosti formovacích hmot počítáme se specifickou hmotností písku $1,7 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.

Složení formovací směsi pro menší odlitky:

- | | | |
|---------------|---------------|------------|
| • šedá litina | použitý písek | 75 – 90 %, |
| | čistý písek | 22 – 8 %, |
| | kamenné uhlí | 3 – 2 %, |

Jádrová směs:

- šedá litina čerstvý písek 98 – 99 %,
 sulfitový louh 1 – 3 %,
 pro zvlášť tenkostěnná jádra se používá 1,5 % lněný olej.

Výpočet síly působící na vršek formy při lití

Při odlévání je vršek formy zdviháný značnou silou, která vzniká působením vzlaku jádra ve známkách a tlakem tekutého kovu na vršek formy. Při odlévání menších odlitků postačí upevnění rámu navzájem k sobě, čímž se vytvoří jeden celek. U větších odlitků se musí použít zatížení, zvlášť pro tento účel zhotovené s oky pro jeřáb.

Stanovení místa a objemu nálitku a chladítek

Následkem smrštění vznikne sraženina, která znehodnocuje odlitek. Proto se odlitek zvětšuje o náletek, který se po ztuhnutí odstraní. Nejčastěji se používají nálitky u ocelových odlitků (ocel má největší smrštění). Při stanovení objemu nálitku (nejvhodnější průřez je kruhový) se vychází z objemu staženiny, která je přibližně 3,8% z výchozího objemu. Náletek se musí dimenzovat tak, aby se sraženina do něj vešla. Proto se volí poměr objemu staženiny k objemu nálitku 1:5, přičemž výška nálitku je:

$$h = (1,5 \div 2)d \quad [\text{mm}] \quad (2.1)$$

kde:

d – průměr nálitku v mm.

Pokud není možné náletek umístit, přikládají se, nebo se přímo zformují, do těchto míst chladítka, která způsobí rychlejší ochlazení kovu a tak se předejde vzniku sraženiny.

2.3. Odlévání

Výpočet využití kovu

Je třeba určit stupeň využití kovu, což je poměr váhy hrubého odlitku k váze surového odlitku.

Hrubá váha odlitku je váha odlitku očištěného od vtoků, nálitků a jiných pomocných slévárenských přísad.

Váha surového odlitku je váha čistého kovu ztuhnutého ve formě.

Proces odlévání

Tekutý kov se odlévá do formy z pánve dopravované k formě jeřábem anebo na vozíku. Pro šedou litinu se používá normální sklopná pánev, pro ocel na odlitky pánev se spodní výpustí.

Pro získání kvalitního odlitku je velmi důležitá rychlost lití. Teplota odlévaného kovu má být tak vysoká, aby kov dokonale zaplnil formu i v nejslabších stěnách. Výška teploty odlévání má vliv na jakost odlitku. Rychlost odlévání musí být tak vysoká, aby byl vtok během odlévání naplněný tekutým kovem a po odlití formy naplněný až k okraji. Tím se dosáhne toho, že nečistoty, struska i vyplavený písek zůstanou plavat na hladině tekutého kovu a nebudou proudem stáhnuté do formy. Současně je důležité nepřerušit proces odlévání, v opačném případě vzniká stejné nebezpečí, navíc tekutý kov se ihned pokrývá vrstvou oxidů, které zabraňují dokonalému spojení kovu.

2.4. Vyjímání odlitků a dokončovací operace

Uvolňování odlitků závisí na technologii formování (rámové, bezrámové) a konstrukci zařízení, které může být:

- **vytlačovací** (v sériové výrobě),
- **vytloukáci** (v kusové výrobě).

Vytlačování – provádí se pomocí tvarové desky umístěné na pístu pneumatického válce. Formovací materiál se vytlačí spolu s odlitkem z obou polovin formovacích rámců a potom následuje vytloukání formovací směsí.

Vytloukání se realizuje:

pneumatickými vibrátory, které se zavěsí na stěnu formovacího rámu nebo odlitku, na vytloukacích roštích, které jsou pozitivní anebo negativní. Pozitivní rošty jsou uloženy v ložiskách na rámu stroje a jsou rozkmitány pomocí excentrického hřídele. Nevýhodou je velká hmotnost vytloukacího stroje z důvodu eliminace rázů. Častěji jsou používány negativní rošty, které jsou volně uloženy na pružinách. Kmitání způsobuje otáčení průběžného hřídele se závažími, který způsobuje kmitání roštů,

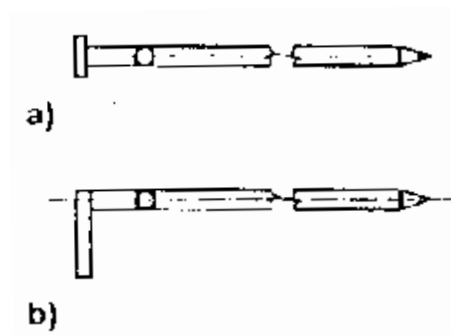
- v rotačních uvolňovacích bubnech,
- vibračními vytloukacími dopravníky.

Další důležitou technologickou operací při odlévání je apretura odlitků. Slouží na odstranění zbytků po vtokových soustavách, výfucích, nálitcích, výroncích. Odstraňují se

otřepy a hrubé chyby. U masovních odlitků se tyto zbytky odstraňují pneumatickými sekáči. Menší odlitky se opracovávají strojovým a ručním broušením.

Formovací pomůcky

Pískovače – používají se na vyztužení forem a jader. Zpevňují se jimi velké plochy, místa v blízkosti vtokové soustavy, výstupky a pod. Vyrábějí se z měkkého železného drátu a jsou povrchově upravené. pískovače (obr. 2.4) se vpichují do formy ručně.

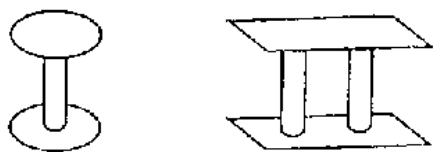


Obr. 2.4 pískovače

a) pískovače

b) pískovače s háčkem

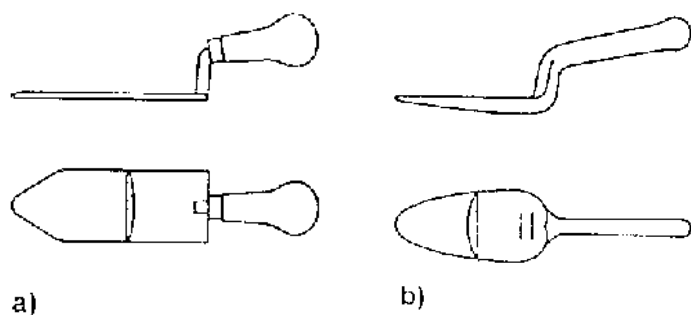
Podpěrky jader – používají se na zajištění správné polohy jádra v dutině formy. Zabraňují prohnutí jádra následkem vlastní hmotnosti nebo vzlakem po nalití taveniny. Vzdálenost nosných ploch podpěrek (obr. 2.5) se rovná tloušťce stěny odlitku. Jsou kovové a zpravidla se chrání proti korozi pocínováním. Po ztuhnutí taveniny se mají svařit tak, aby byly stěny odlitku homogenní.



Obr. 2.5 Podpěrky jader

Formovací nářadí

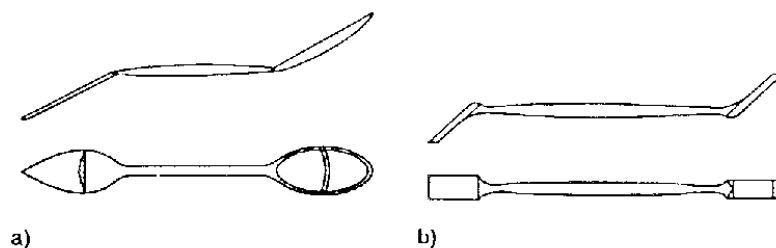
Ubíječky – základní nářadí při ručním formování. Ruční **ubíječky** mohou být dřevěné anebo kovové. **Hladítka** – jsou určena na úpravu a vyhlazení líce formy po vyjmutí modelu (obr. 2.6).



Obr. 2.6 Hladítka

a) ploché b) lžícovité

Lancety – používají se na vyřezávání vtokových zářezů, jamek, anebo na úpravu chyb formy. Mají rozličné velikosti a tvary (obr. 2.7).



Obr. 2.7 Lancety

a) lžícovitá
b) plochá

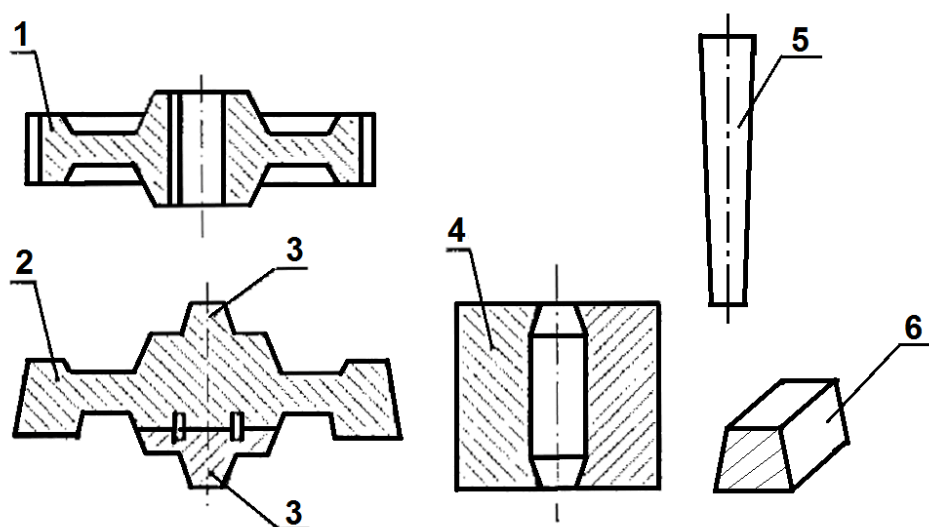
Pomocné nářadí

Modelové desky, slévárenské lopatky, průdušník na vytvoření průduchů, háky anebo šrouby na vytahování modelů, štětce pro vlhčení formovací směsi, zarovnávací pravítko, ruční síta na modelový písek, dřevěná a gumová kladiva, pinzety, atd.

2.5. Příklad postupu formování pomocí děleného modelu a jádra

Na obr. 2.8 je znázorněné ozubené kolo (1), které se bude vyrábět odléváním. Jde o odlitek s vnitřním otvorem předlévaný pomocí jádra. V tomto případě se na vytvoření dutiny ve formě použije dělený model (2) – model skládající se ze dvou částí, navzájem spojených a vystředěných pomocí spojovacích čepů. Na obou částech modelu se nacházejí přídavné části – známky (3), které nám po zaformování modelu vytvoří ve formovací směsi lůžka na uložení jádra – jádro je uložené ve formě pomocí kuželovitých čepů. Jádro vyrobíme pomocí jaderníku (4). Dřevěný model vtokového kanálu (5) je shodný s modelem výfukového kanálu.

Pro tento způsob formování je charakteristické, že model odlitku vytváří dutinu ve vrchní i ve spodní polovině formy.



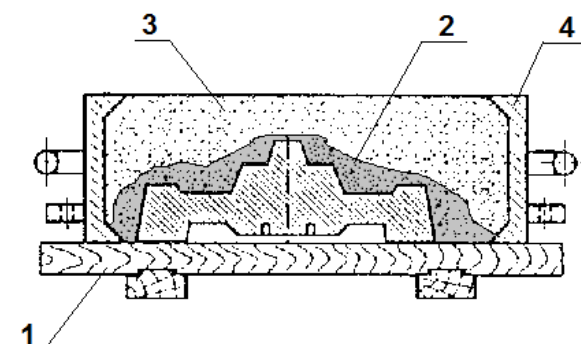
Obr. 2.8 Výrobek s modelovým zařízením a vtokovou soustavou

1) součástka (ozubené kolo), 2) dělený model, 3) známka, 4) jaderník, 5) model vtokového kanálu, 6) model lapače strusky

Zaformování spodku formy

Na očištěnou modelovou desku (1) se položí spodní formovací rám (4) a do prostoru se vhodně umístí spodní část modelu odlitku (obr. 2.9). Aby bylo možné později model ze zhotovené formy vytáhnout, popráší se dělicím prostředkem, který zabrání nalepení formovací směsi na model. Ručním sítlem prosejeme na model vrstvu připravené nakypřené formovací směsi s tloušťkou asi 2- 3cm (modelová směs) - (2), kterou ručně přitlačíme k modelu. Prostor formovacího rámu doplníme formovací směsí (3). Formovací směs zhustíme pýchováním pomocí ruční pýchovačky od vnějšího obvodu po střed.

Postupně přidáváme další vrstvy formovací směsi, které obdobně upěchujeme, dokud nezaplníme formovací rám zhruba po horní okraj. Nakonec seřízneme nadbytečnou směs ocelovým zarovnávacím pravítkem podle horního okraje rámu. Tím vytvoříme rovinnou plochu, na které bude spodek formy ležet po jejím otočení.



Obr. 2.9 Zaformování spodní části formy

1) modelová deska, 2) modelová směs, 3) formovací směs, 4) formovací rám,

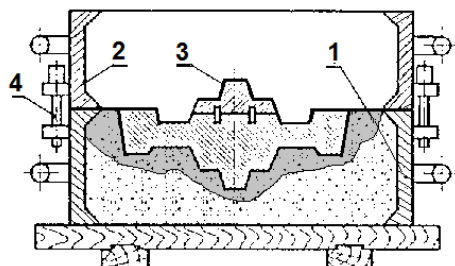
Z důvodu nutnosti odvádění plynu vyvíjejících se při zahřátí směsi tekutým kovem je třeba udělat odvodu vzduchu formy. Realizuje se to pomocí průduchů, které nemají zasahovat na model. U větších forem se vedou dělicí rovinou odvodu vzdušňovací kanálky, do kterých ústí průduchy.

Otočení spodku formy o 180°

Po zaformování spodní části formy otočíme formovací rám i s podložkou (aby model nevypadl) o 180° a položíme na další podložku.

Zaformování vršku formy (obráz. 2.10)

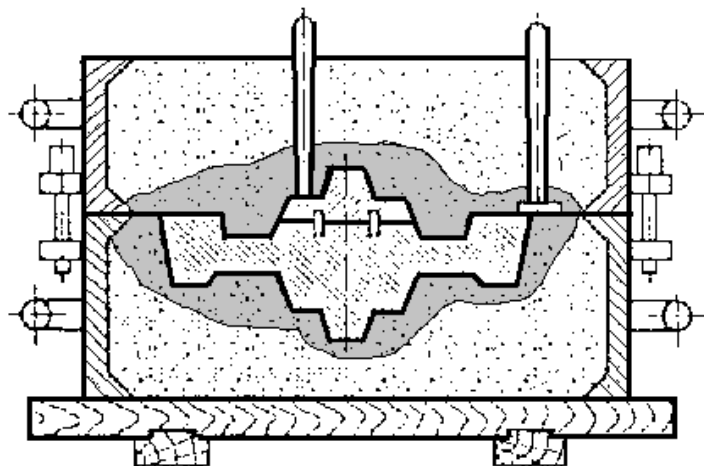
Na spodní formovací rám (1) - (otočený o 180°) založíme vrchní formovací rám (2) pomocí vodících kolíků (4), které zasuneme do otvorů v patkách rámu. Kolíky nám zajistí přesnou vzájemnou polohu vršku a spodku, což bude důležité později, po rozebrání a opětovném složení formy.



Obr. 2.10 Založení vrchní části modelu a formovacího rámu

1) spodní formovací rám, 2) vrchní formovací rám, 3) vrchní část modelu, 4) vodící (distanční) kolíky

Na spodní část modelu přiložíme vrchní část modelu (3) - (obr. 2.11) a modely části vtokové soustavy tak, aby nebyly blízko stěn nebo příček rámu. Vršek formy se upěchuje a odvzdušňuje stejným způsobem jako spodek formy. Okolo vtokového kanálu se vyřeže vtoková jamka požadovaného tvaru. V případě, že jsme vtokovou jamku zhotovili pomocí modelu, tento uvolníme rozklepáním a vytáhneme z formy. Uvolníme a vytáhneme modely vtokového kanálu a výfuku.



Obr. 2.11 Zaformování vršku formy

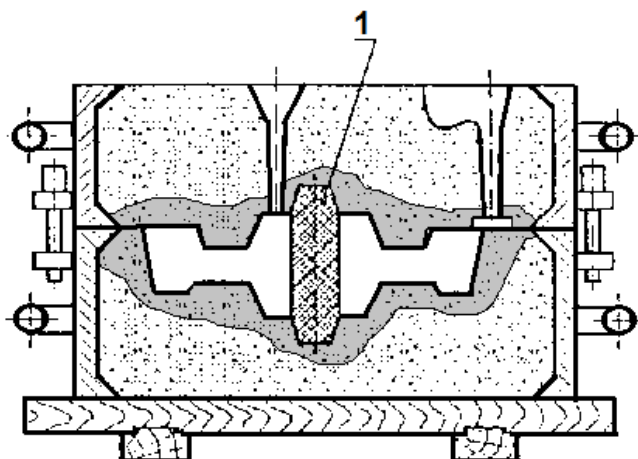
Rozebrání formy a vytáhnutí modelů

Dřevěným kladivem poklepeme po rozích vrchního rámu tak, aby se uvolnila styková plocha mezi spodkem a vrškem, jakož i mezi modelem a formovací směsí. Vodící kolíky povolíme, ale nevytahujeme je. Vrchní rám s povytáhnutými kolíky rovnoměrně zdviháme, až potom vytáhneme vodící kolíky. Vršek formy otočíme o 180° a položíme ho na dřevěnou podložku. Slévárenským štětcem navlhčíme okraj formovacího materiálu okolo modelu tak, aby se voda nedostala na model. Model odlitku, jakož i model rozvodného kanálu uvolníme rozklepáním a vyjímáme je pomocí háků, tyčky zabroušené do čtyřbokého jehlanu, nebo zašroubováním zvedáků. Zářezy vyřežeme do spodku formy – pokud jsme je nezhotovili pomocí modelu. Případné chyby povrchu ručně opravíme a zbytky nadrobené formovací směsi vyfoukáme vzduchem.

Složení formy a příprava na lití

Po vyjmutí jednotlivých částí modelu se do formy založí jádro, které bylo vyrobené pomocí jaderníku. Jádro (1) se zakládá do spodku formy – čep jádra musí zapadnout do lůžka vytvořeného známkou na modelu. Na spodek formy nasadíme vršek, přičemž jejich vzájemnou polohu zajistíme skládacími kolíky. Složenou formu dopravíme na odlévání

pole (obr. 2.12). Vršek formy zatížíme závažím, čímž zabráníme jeho případnému nadzdvihnutí při odlévání následkem vztlačkových sil.



Obr. 2.12 Složená forma se založeným jádrem

1) pískové jádro

Vzorový příklad postupu formování a odlévání součástky na obr. 2.13 a obr. 2.14.

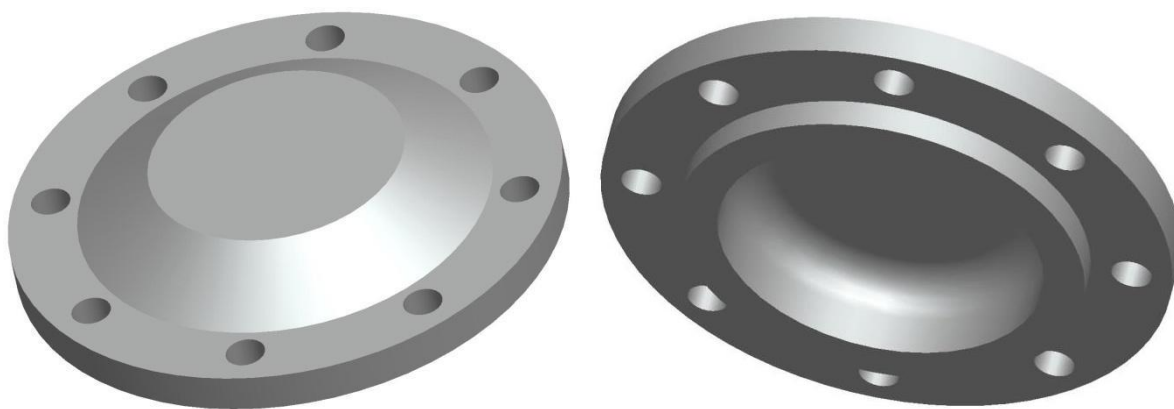
- Název součástky: VEKO
- Počet kusů: 20
- Formování (způsob): ruční
- Odlévání: gravitační – do pískových forem
- Materiál součástky: šedá litina (STN 42 2420) (tab. 2.1 a tab. 2.2)

Tab. 2.1 Chemické složení materiálu STN 42 2420 v %

C	Mn	Si	P	S
3,2	0,8	0,4	0,3	0,18

Tab. 2.2 Mechanické vlastnosti materiálu STN 42 2420

R _m [MPa]	R _{mo} [MPa]	E [GPa]	KCU 3 [J.cm ⁻²]	HB	Hustota ρ (pri 20 °C) (10 ³ .kg.m ⁻³)	Teplota topení (°C)
100 215	– ≥ 380	≥ 109	6,6	≤ 220	7,0	1150 – 1300

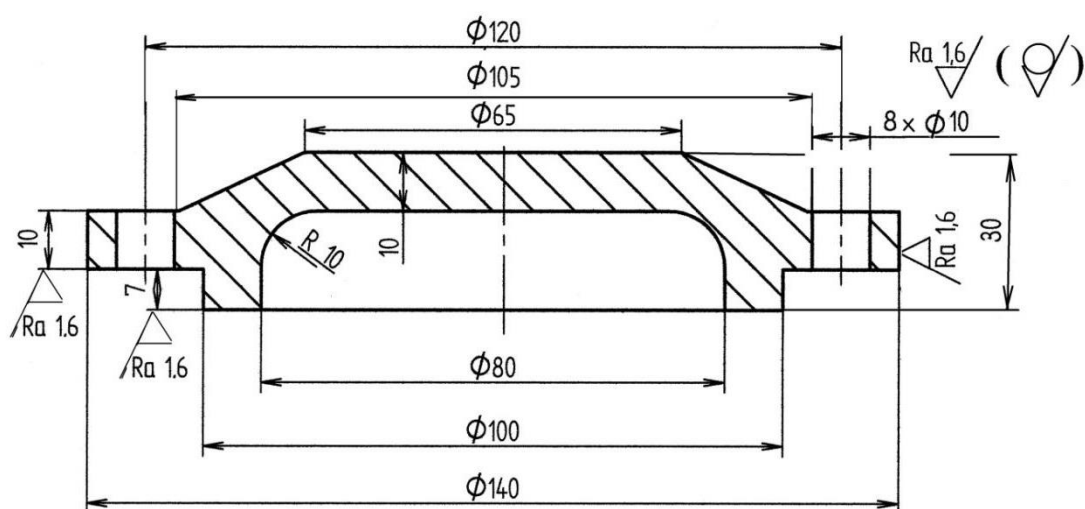


A

b)

Obr. 2.13 Součástka vyrobená odléváním v axonometrii

a) pohled shora, b) pohled zdola



Obr. 2.14 Výkres součástky

Výpočet hmotnosti součástky:

$$m = \rho \cdot V \quad [\text{kg}] \quad (2.2)$$

kde: m – hmotnost součástky [kg],
 ρ – hustota materiálu [103 kg.m⁻³],
 V – objem součástky [cm³].

Hmotnost součástky na obr. 5

$$m = 7,0 \cdot 103 \text{ kg.m}^{-3} \times 182,32 \text{ cm}^3$$

$m = 1,28 \text{ kg}$

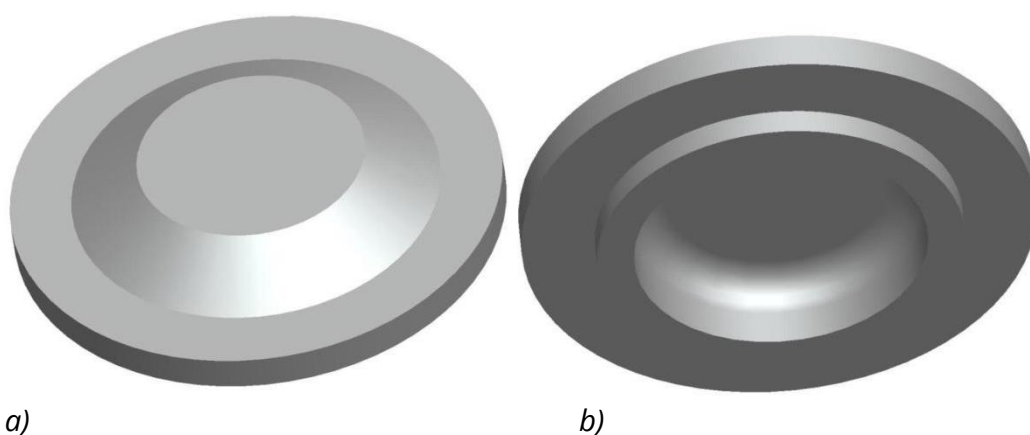
Hmotnost 20 odlitků bude 25,6 kg.

Návrh modelového zařízení

- **Volba materiálu modelu:**

vzhledem ke kusové výrobě je vhodným materiálem pro výrobu modelu dřevo. Podle STN 04 2008 bude pro odlitky ze šedé litiny použitý dělený dřevěný model, jehož povrch bude mít červenou barvu.

Vzhledem k tomu, že na víku se 8 děr $\varnothing 10\text{mm}$ předlévat nebude, není potřebné při návrhu modelu nad nimi uvažovat (obr. 2.15).

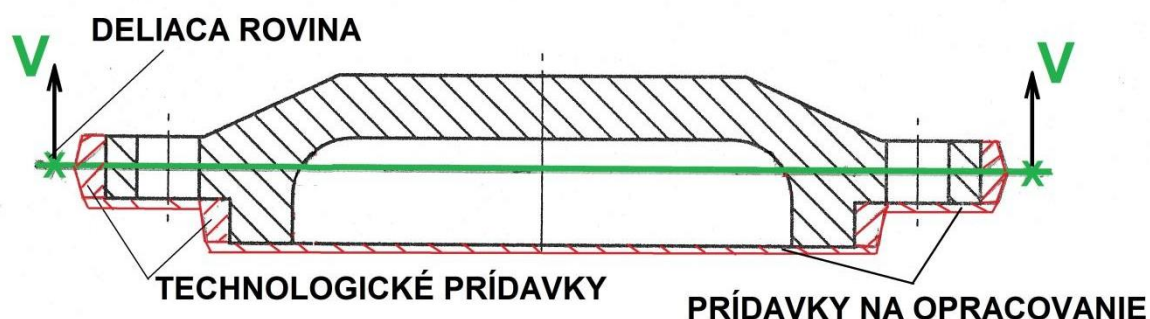


Obr. 2.15 Tvar součástky bez předlévaných otvorů v axonometrii

a) pohled shora, b) pohled zdola

- **Volba dělicí plochy (roviny):**

Dělicí rovina se na výkresech označuje plnou zelenou čarou ukončenou křížky a směrem zaformování. Pro součástku je volená dělicí rovina v nejširším místě součástky (obr. 2.16).



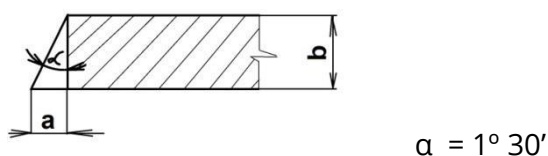
Obr. 2.16 Součástka s dělicí rovinou a přídávky

- **Volba přídávků na obrábění**

Přídávky na obrábění se na výkresech označují červenou barvou. Přídavek se nachází na plochách, u kterých je předepsaná drsnost, které není možné dosáhnout odléváním. Tyto přídávky jsou z odlitku odstraněné struskovými způsoby obrábění.

- **Návrh technologických úkosů**

Pro ulehčení vyjmutí modelu z formy je třeba použít technologické úkosy typu C ve smyslu STN 04 2021 (obr. 2.17).



Obr. 2.17 Technologický úkos typu C

- **Rozhodnutí o nutnosti předlévání otvorů**

Pro součástku na obr. 1.16 je potřebné předlévat otvor, neboť se jedná o kusovou výrobu a je splněná podmínka pokud $d > 50$ mm.

Pro šedou litinu platí vzta :

$$SL: d < 0,3 \cdot h + 10 \quad [\text{mm}] \quad (2.3)$$

kd :

d – průměr otvoru,

h – výška otvoru,

Otvory pro šrouby (obr. 2.14):

$$10 < 0,3 \cdot 10 + 10$$

$10 < 13 \Rightarrow$ z toho vyplývá, že otvory se nepředlévají

Dutina veka (obr. 2.15b):

$$80 < 0,3 \cdot 20 + 10$$

$80 > 16 \Rightarrow$ z toho vyplývá, že je potřebné otvor předlévat

- **Volba formovacího rámu:**

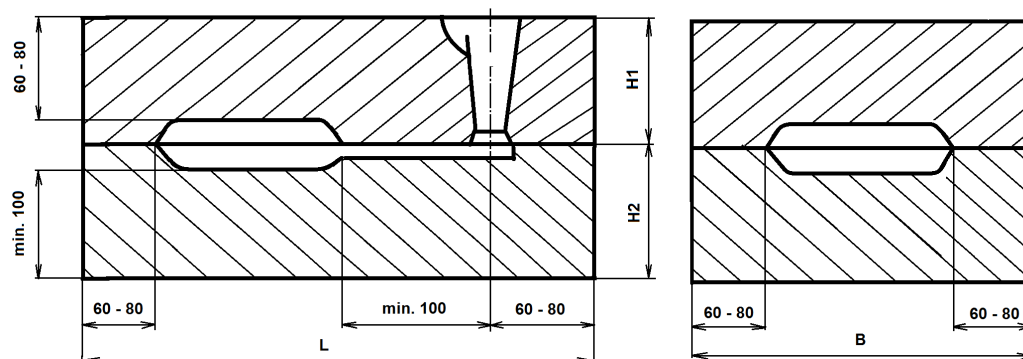
Rozměry formovacího rámu jsou voleny na základě rozměrů modelu a vtokové soustavy. Vzdálenost modelu od okrajů formovacího rámu je prezentovaná na obr. 2.18.

Rozměry formovacího rámu pro veko:

Horní rám HR L x B x H1 : 400 x 300 x 100 [mm]

Dolní rám DR L x B x H2 : 400 x 300 x 140 [mm]

Délka vtokových zářezů je 100 mm.



Obr. 2.18 Doporučené rozměry rámu

Výpočet vtokové soustavy

Při výpočtu vtokové soustavy se vychází ze zjednodušené hydrodynamické rovnice.

Výpočet plochy vtokových zářezů Sz:

$$\sum Sz = x \cdot \frac{\sqrt{G}}{\sqrt{HP}} \quad [\text{cm}^2] \quad (2.4)$$

kde:

Sz – celková plocha zářezů,

G – hmotnost odlitku,

x – koeficient zohledňující tloušťku stěny a složitost odlitku tab. 2.3.

Pro řešenou součástku se x = 2,8.

Tab. 2.3 Koeficient x

	jednoduché odlitky				složité odlitky		
Tloušťka stěny odlitku [mm]	3 – 4	5 – 9	9 – 15	> 15	3 – 4	5 – 9	9 – 15
x	3,8	3,2	2,8	2,4	5,8	4,9	4,3

Výpočet hmotnosti odlitku s vtokovou soustavou:

$$G = 1,5 \cdot m_o \quad [\text{kg}] \quad (2.5)$$

kde:

G – hmotnost odlitku s vtokovou soustavou, pro kterou počítáme $0,5m_o$ [kg],

m_o – hmotnost odlitku

$G = 1,92 \text{ kg}$

Výpočet střední ferostatické výšky:

$$H_p = H - \frac{p^2}{2 \cdot C} \quad [\text{cm}] \quad (2.6)$$

$$H_p = 10 - \frac{1,8^2}{2 \cdot 3,0}$$

$$H_p = 9,46 \text{ cm}$$

kde:

C – výška odlitku [cm],

H_p – střední ferostatická výška [cm],

p – výška odlitku nad vtokovým zářezem [cm],

H – výška vtokového kanálu nad zářezem [cm],

Výpočet plochy vtokových zářezů:

$$\sum S_z = x \frac{\sqrt{G}}{\sqrt{H_p}} \quad [\text{cm}^2] \quad (2.7)$$

$$\sum S_z = 2,8 \frac{\sqrt{1,92}}{\sqrt{9,46}} = 1,26 \text{ cm}^2$$

Pro plochu jednoho vtokového zářezu platí vztah:

$$S_z = \frac{\sum S_z}{n} = \frac{1,26}{2} = 0,63 \text{ cm}^2 \quad (2.8)$$

kde:

n – počet vtokových zářezů

Pro výpočet plochy kanálu a plochy lapače u jednoduchých odlitků platí vztah:

$$S_K > S_L > \sum S_z = 1,4 : 1,2 : 1 \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} S_K &= 1,4 \cdot \sum S_z & S_L &= 1,2 \cdot \sum S_z \\ S_K &= 1,76 \text{ cm}^2 & S_L &= 1,51 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

kde:

S_K – plocha vtokového kanálu [cm²]

S_L – plocha lapače strusky [cm²]

Vtokový kanál má kruhový průřez a proto pro jeho výpočet platí vztah:

$$S_K = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \text{ potom } d = \sqrt{\frac{4S_K}{\pi}} \quad [\text{cm}] \quad (2.10)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,54}{\pi}} = 1,4 \text{ cm}$$

V praxi se používají mírné podtlakové vtokové kanály kuželovitého tvaru s vrcholovým úhlem 3 – 5°.

Pro výpočet rozměrů lapače strusky na obr. 2.19 platí vztah :

$$S_L = 0,935 \cdot a^2 \quad [\text{cm}^2] \quad (2.11)$$

$$a = \sqrt{\frac{S_L}{0,935}} \quad [\text{cm}] \quad (2.12)$$

$$a = \sqrt{\frac{1,51}{0,935}} = 1,27 \text{ cm}$$

Při navrhování vtokové soustavy je potřebné dodržet podmínku, aby dolní průměr vtokového kanálu byl totožný se šířkou lapače strusky na horní straně. Rozměry lapače strusky budou následující:

$$0,7a = d \text{ kanálu} = 1,4 \text{ cm} \quad (2.13)$$

$$a = 2 \text{ cm.}$$

Výška lapače strusky lichoběžníkového průřezu je:

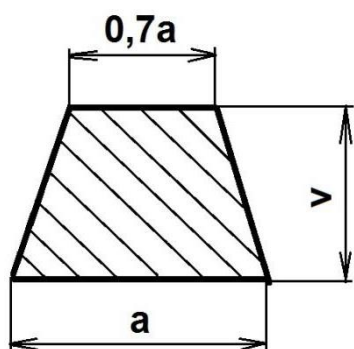
$$S_L = \frac{0,7a + a}{2} \cdot v \quad [\text{cm}^2] \quad (2.14)$$

$$v = \frac{2 \cdot S_L}{0,7a + a} \quad [\text{cm}] \quad (2.15)$$

$$v = \frac{2,1,51}{1,4 + 2} = 0,89 \text{ cm}$$

kde:

v – výška lapače strusky



Obr. 2.19 Průřez lapače strusky

Pro výpočet rozměrů vtokových zářezů na obr. 2.20 platí vztah :

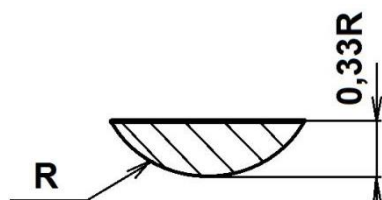
$$S_z = 0,285 \cdot R^2 \quad [\text{cm}^2] \quad (2.16)$$

$$R = \sqrt{\frac{S_z}{0,285}} \quad [\text{cm}] \quad (2.17)$$

$$R = \sqrt{\frac{0,63}{0,285}} = 1,48 \text{ cm}$$

kde:

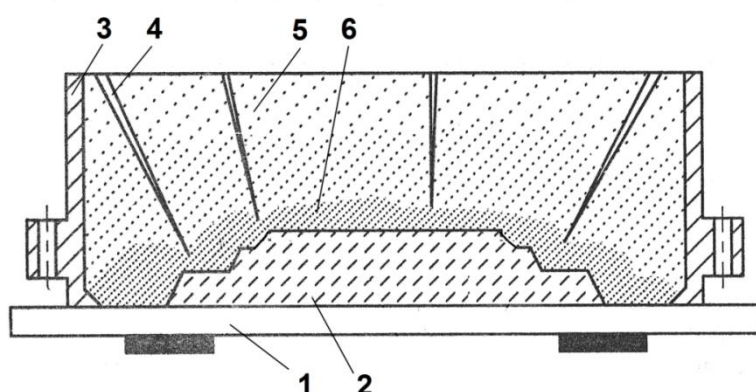
R – poloměr vtokového zářezu



Obr. 2.20 Průřez vtokového zářezu

Výfuk, který bývá většinou umístěný na nejvyšší ploše odlévané součástky, má stejně jako vtokový kanál kuželový tvar. Kužel má vrcholový úhel 2 – 4 °.

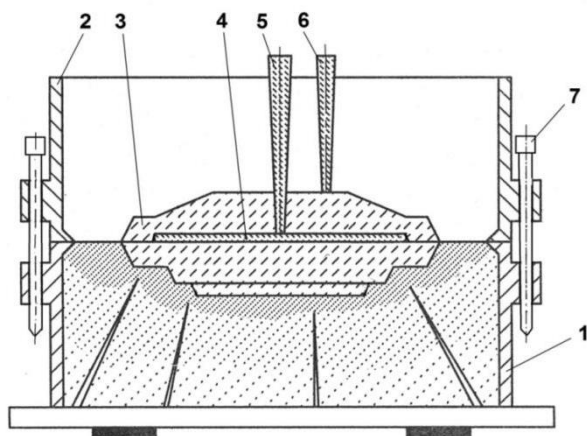
Na základě výpočtu, je možné vyrobit dělený dřevěný model součástky a vtokové soustavy. Spodní část modelu součástky a modelu jádra je možné zaformovat do spodní části rámu jako je to prezentované na obr. 2.21.



Obr. 2.21 Formování spodní části modelu

1) podmodelová deska, 2) spodní část dřevěného děleného modelu, 3) spodní rám formy, 4) průduchy, 5) výplňová formovací směs, 6) modelová směs

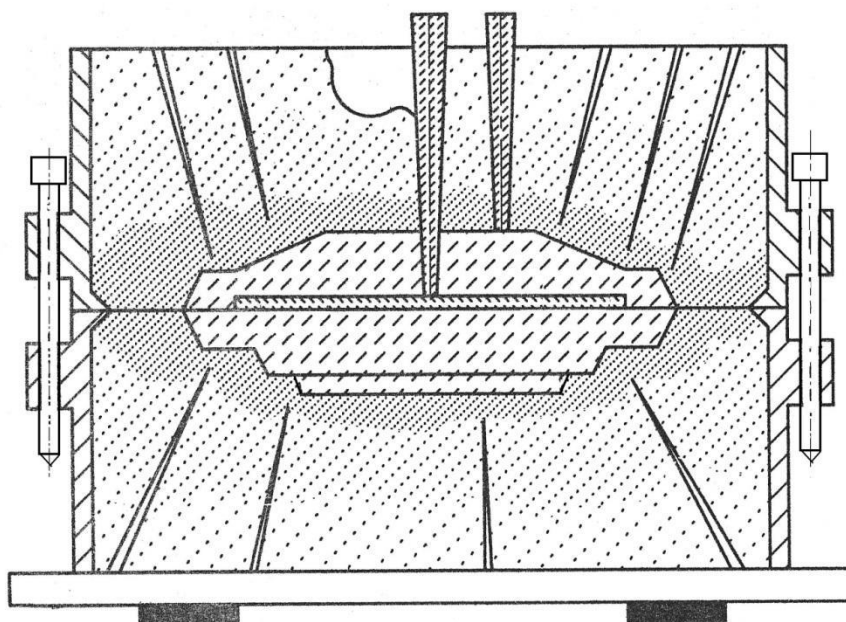
Po zaformování spodní části modelu, je spodní rám obrácený a spojený s vrchním rámem (obr. 2.22). Na spodní část modelu je umístěná vrchní část modelu a ve vzdálenosti min. 100 mm od modelu umístěný lapač strusky.



Obr. 2.22 Formování vrchní části modelu

1) spodní rám formy, 2) vrchní rám formy, 3) vrchní část dřevěného děleného modelu, 4) struskový kanál, 5) vtokový kanál, 6) výfuk, 7) distanční kolíky

Na lapač strusky je umístěný model vtokového kanálu, který je zaformovaný do modelové směsi a následně výplňové směsi. Stejně je zaformovaný i model výfuku (obr. 2.23). Délka obou modelů sahá nad úroveň horního formovacího rámu, z důvodu ulehčení jejich vyjmutí při rozebírání formy. Po zaformování je formovací směs upěchovaná např. pneumatickou pěchovačkou a ve formovací směsi jsou vytvořené průduchy. Kromě vtokového kanálu je do formovací směsi vyhloubená vtoková jamka.

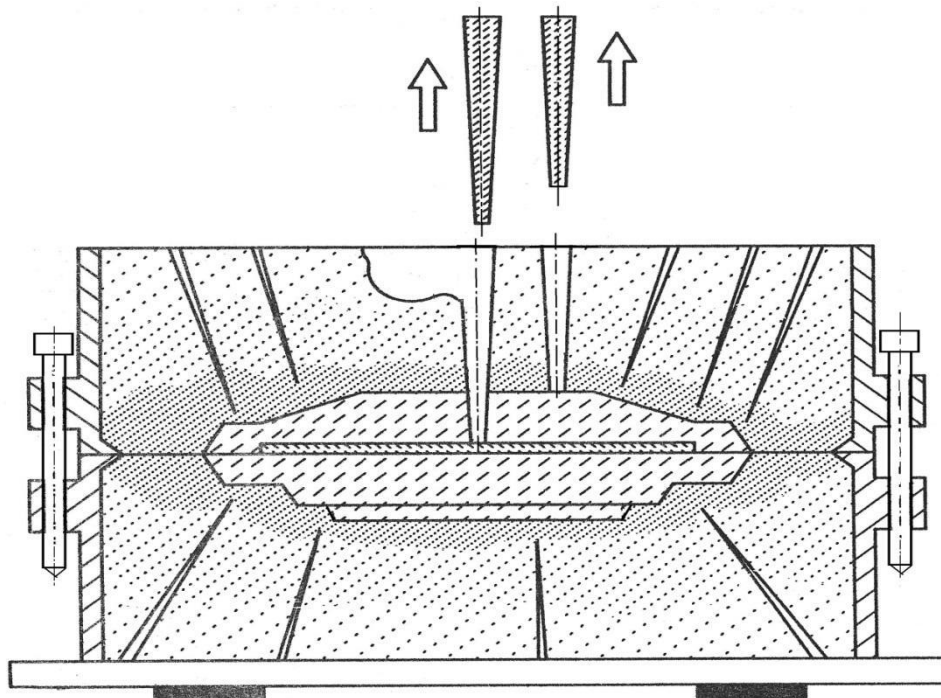


Obr. 2.23 Zaformovaný model s vtokovou soustavou v dělené formě

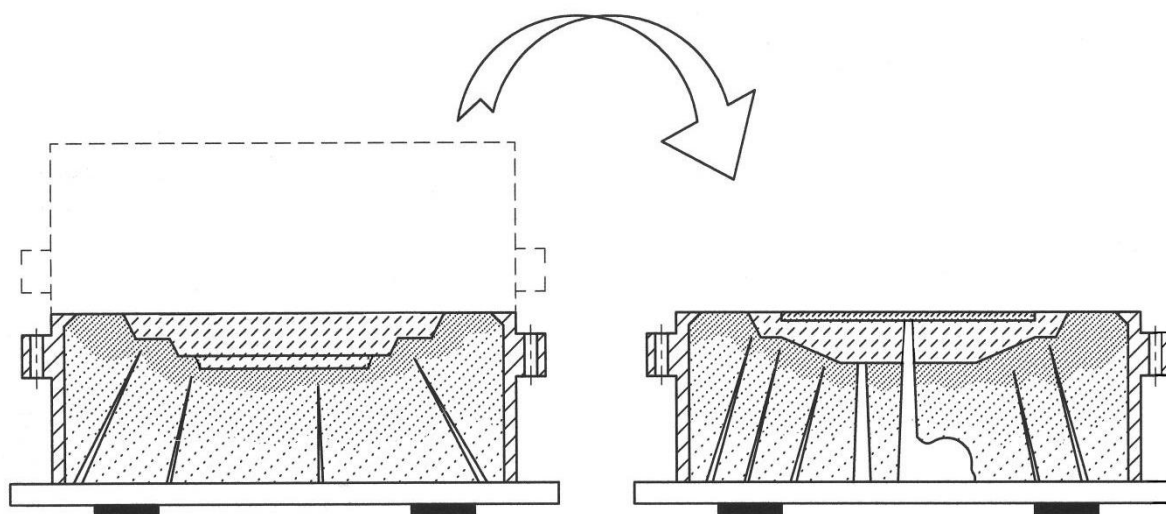
Po upěchování je potřebné z pískové formy odstranit dřevěné modely. Jako první se odstraní modely výfuku a vtokového kanálu (obr. 2.24). Odstraněny jsou též distanční kolíky a formu je možné v dělicí rovině rozebrat (obr. 2.25).

Ze spodní a vrchní části formovacího rámu je odstraněn dřevěný model součástky a lapače strusky (obr. 2.26). V dutině spodní části formy se pomocí formovacího nářadí vyrobí vtokové zářezy podle obr. 2.21.

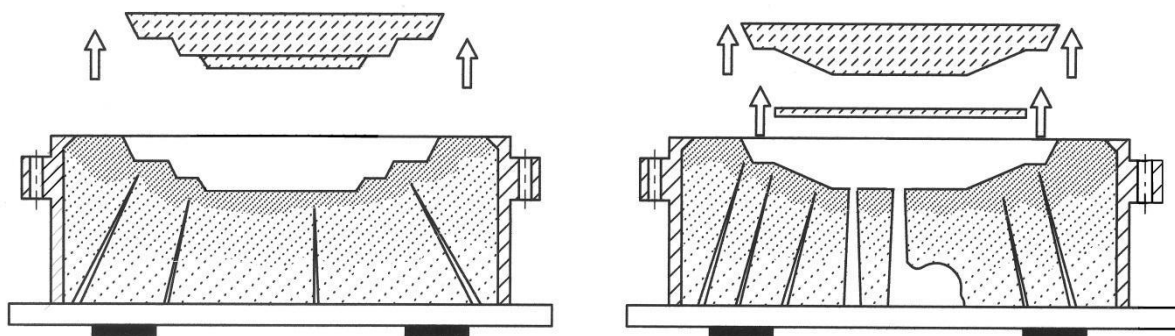
Vrchní a spodní část formy jsou spojené pomocí distančních kolíků a okraje vrchu formy jsou zatíženy závaží, které má zabránit pohybu formy během odlévání. (obr. 2.27).



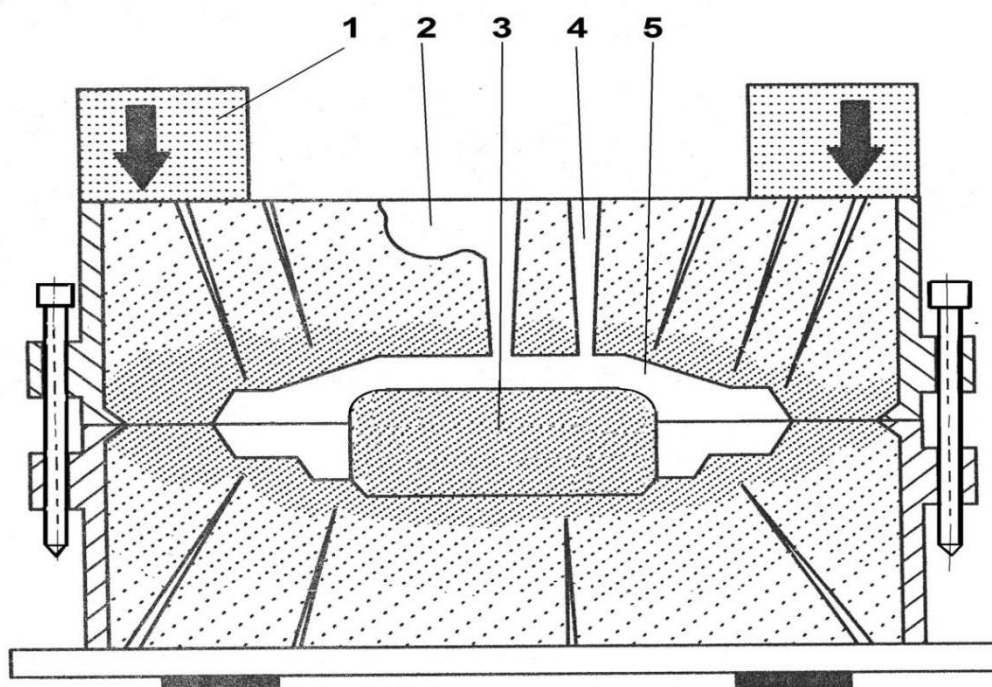
Obr. 2.24 Odstranění vtokového kanálu a výfuku před rozebráním formy



Obr. 2.25 Rozebrání formy za účelem odstranění modelů součástky a vtokové soustavy



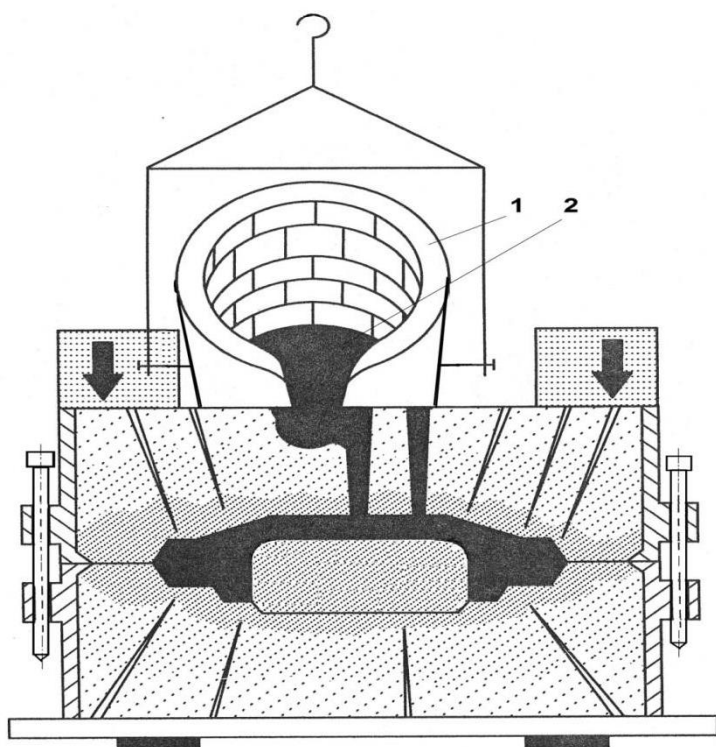
Obr. 2.26 Vyjmutí děleného modelu, zářezů a lapače strusky z formy



Obr. 2.27 Sestavení formy před odléváním

1) zatížení formy pomocí závaží, 2) dutina vtokové jamky a vtokového kanálu, 3) jádro, 4) dutina výfuku, 5) dutina tvaru součástky

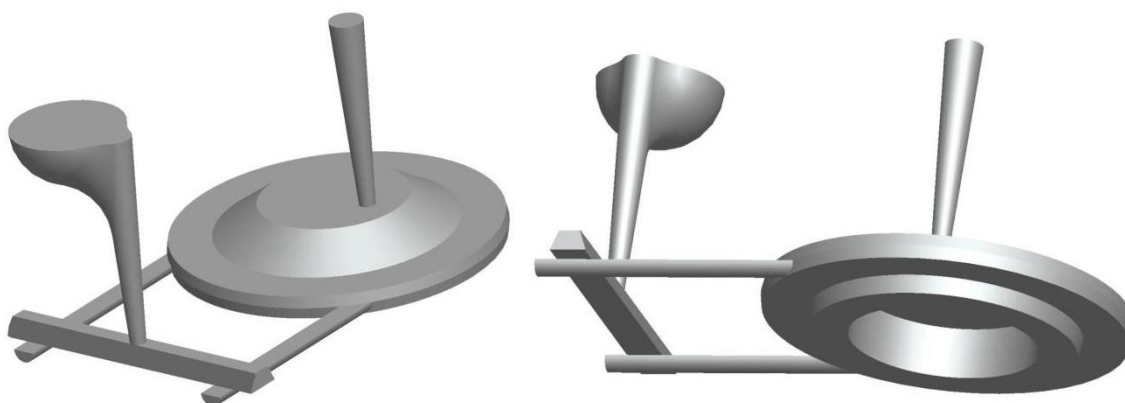
Po ustavení a zatížení formy následuje odlévání součástky ze sklopné pánve. Do vtokové jamky je lita šedá litina, která se vtokovým kanálem dostává do dutiny formy. Během odlévání je pomocí výfuku z dutiny formy odváděn vzduch a výpary. Proces odlévání je ukončen, pokud roztavený kov vyplní celou dutinu výfuku (obr. 2.28).



Obr. 2.28 Odlévání do pískové formy

1) sklopná pánev, 2) roztavený kov

Po ochlazení odlitku je forma rozebrána a surový odlitek (obr. 2.29) je opracovaný apreturou a následným třískovým obráběním na požadované rozměry podle obr. 2.14.



Obr. 2.29 Surový odlitek

Objem surového odlitku je 281 cm³. Hmotnost surového odlitku je 1,92 kg.

3.TUHNUTÍ A CHLAZENÍ ODLITKŮ

3.1. Slévárenské vlastnosti kovů a slitin

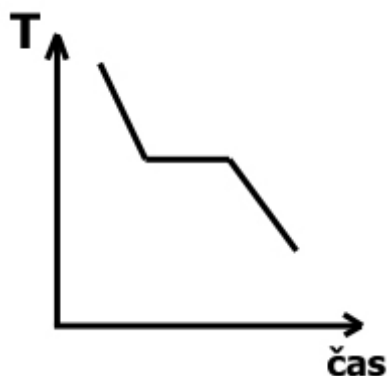
Tavitelnost

Tavitelnost je schopnost přecházet z tuhého do kapalného skupenství při zachování chemického složení a stupně čistoty.

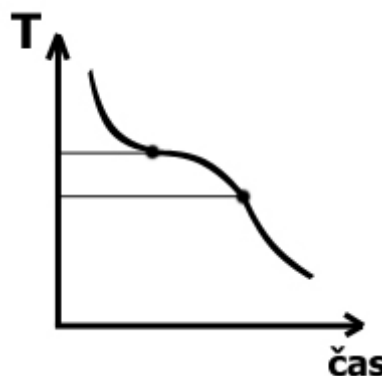
Vyjadřuje se spotřeba tepla na natavení a přehřátí litiny – obr. 3.1 a obr. 3.2.

Množství tepla:

$$Q=c_s(t_L-20)m+m.l_T+c_s'(t_p-t_L)m \quad (3.1)$$



Obr. 3.1 Ochlazování čistého kovu



Obr. 3.2 Ochlazování slitiny

Tekutost

Tekutost je převrácená hodnota dynamické viskozity.

$\varphi=1/\eta$, kde η je dynamická viskozita.

Zabíhavost je tekutost měřená při plnění formy, dokud neztuhne tavenina. U litiny se zabíhavost zvyšuje fosforem (šedá litina). Fosfor je negativní prvek, pozitivní jedině pro zvýšení zabíhavosti taveniny.

Odmíchávání je oddělování jednotlivých strukturních složek při tuhnutí. Příčinou je částečná nebo úplná nerozpustnost dvou kovů nebo slitin, např. olověný bronz (Cu-Pb); $T_{TAV-Cu}=1083^{\circ}C$ a $T_{TAV-Pb}=327^{\circ}C$

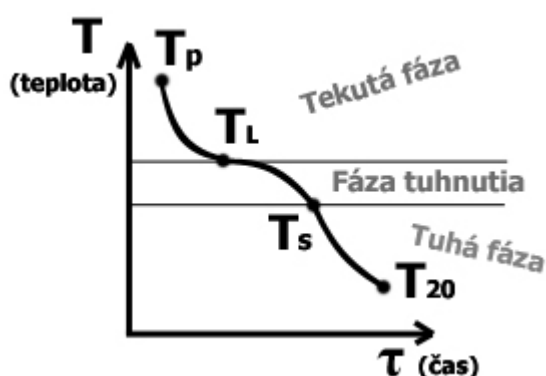
Schopnost pohlcovat plyny je rozpustnost plynů v kovech, se zvyšující se teplotou se zvyšuje, se snižující se teplotou se snižuje.

Smršťování

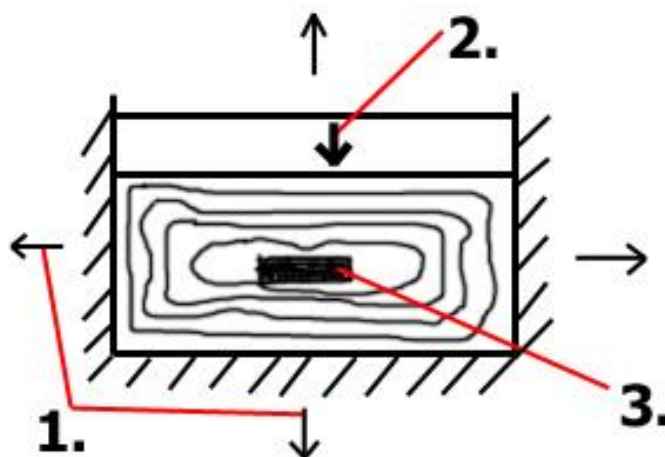
Smršťování je slévárenská vlastnost, která se projevuje změnou objemu, resp. rozměrů; s klesající teplotou se rozměry zmenšují. Viz obr. 3.3 a obr. 3.4.

Měrná hmotnost

ocel v pevném skupenství $\rho=7,8 \text{ kg.dm}^{-3}$, roztavená ocel $\rho=6,8 \text{ kg.dm}^{-3}$
 šedá litina v pevném stavu $\rho=7,25 \text{ kg.dm}^{-3}$, v tekutém stavu $\rho=6,9 \text{ kg.dm}^{-3}$



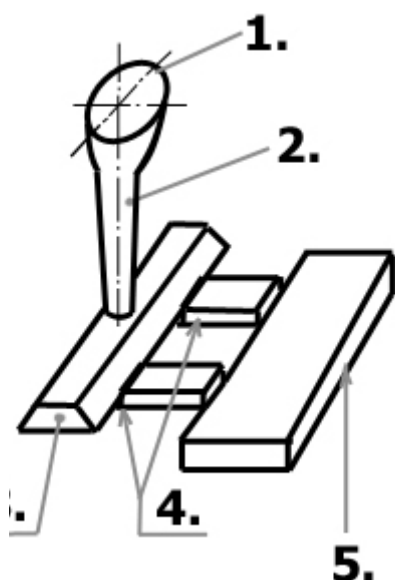
Obr. 3.3 Smršťování v tekutém stavu, v intervalu tuhnutí a v pevném stavu
 $T_p - T_L$ - smršťování v tekutém stavu - řeší se dotékáním, zásobárnou tekutého kovu
 $T_L - T_s$ - smršťování v intervalu tuhnutí - řeší se nálitkem nebo chladítkem
 $T_s - T_{20}$ - smršťování v pevném stavu - model se vyrábí o míru smrštění větší



Obr. 3.4 Smršťování
 Odvod tepla, 2. Klesání hladiny, 3. Sražení - vznik SRAŽENINY

3.2. Slévárenské formovací materiály a vtoková soustava odlitku

Vtoková soustava – obr. 3.5



- 1) vtoková soustava
- 2) vtokový kanál
- 3) lapač strusky
- 4) zářezy
- 5) odlitek

Obr. 3.5 Vtoková soustava

Vtokový kanál se zužuje o 2-4°.

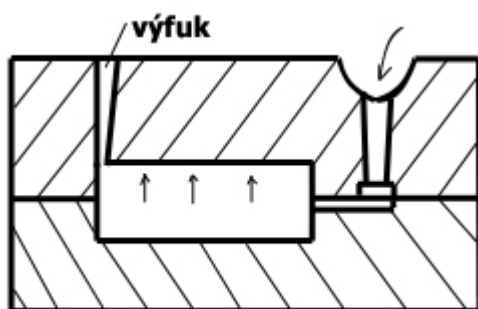
Na nalévání taveniny se používají dva základní typy pánví:

- Sklopná pánev
- Pánev se spodní výpustí – je dražší, náročnější na údržbu; používá se pro oceli; nečistoty se zachytávají na povrchu taveniny, lapač tudíž není třeba

Lapač strusky u ocele se nepoužívá.

Vtokové zářezy mohou mít různé průřezy - čtvercové, trojúhelníkové a půlkruhové. Umístění vtokových zářezů do dutiny formy musí být zvolené tak, aby natavený kov nenarážel na líce formy, případně nepadal z větší výšky na dno formy. A aby se nejprve zaplnily nejtenčí stěny formy.

Výfuk odvádí plyny a páry, signalizuje zaplnění formy, tlumí náraz tekutého kovu v okamžiku zaplnění dutiny. Na jeho výrobu slouží model – kolík – obr. 3.6.



Obr. 3.6 zaplnění dutiny formy

Odlitky:

- **SUROVÝ ODLITEK** - vypadne z formy
- **HRUBÝ ODLITEK** - opracovaný, bez výfuku a vtokové soustavy
- **HOTOVÝ ODLITEK** - obroušený, úplně opracovaný

3.2.1. Formovací směsi

Používají se pro výrobu jednorázových forem, jsou složeny z ostřiva a pojiva. Pojivo slouží k vytvoření kompaktní směsi tím, že obaluje a vzájemně propojí ostřivo - jeho zrnka.

Formovací směsi jsou:

- **Přírozené:**
 - OSTŘIVO - křemenné a křemičité písky na bázi SiO_2
 - POJIVO - jíly- jejich spojením vznikají mastné, polomastné a velmi mastné písky
- **Syntetické:**
 - OSTŘIVO - přírozené (křemičitý písek) a umělé (šamot, magnezit)
 - POJIVO - anorganické (cement, sádra, vodní sklo, jíly) a organické (oleje, živice, sacharidy) - spojování pojiva buď přírodním, nebo umělým ostřivem.

Vlastnosti formovacích směsí:

- fyzikální (vodivost, roztažnost)
- chemické (nízká reaktivnost s roztaveným kovem)
- technologické:
 - při formování - lepivost, tekutost, životnost, rozměrová přesnost
 - při lití – mechanické
 - průdušnost

3.2.2. Vlastnosti při odstraňování formy

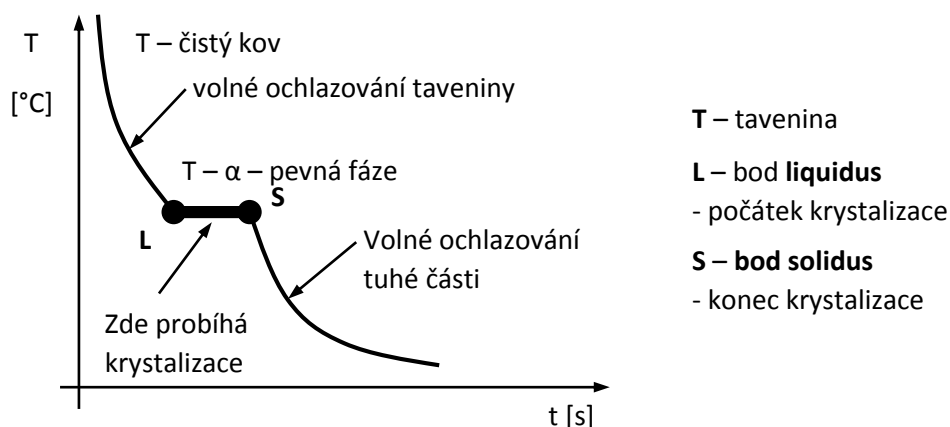
Výroba forem a jader je podmíněná vlastnostmi formovacích směsí:

- **Formovatelnost** - schopnost přesně přijímat tvar modelu a tím umožnit zhotovení formy, která odpovídá tvaru odlitku
- **Vaznost** - schopnost zachovat tvar daným formováním a přenášet silové odpory aby měla forma stálé rozměry
- **Průdušnost** - schopnost upěchované FZ propouštět plyny a páry, které vznikají při lití
- **Pevnost po vysušení** - vaznost v syrovém stavu nestačí a u složitějších forem a jader se hodnoty vaznosti zvyšují vysušením
- **Žáruvzdornost** - závisí na chemickém složení FZ a na přítomnosti škodlivých tavidel
- **Zrnitost** - podmíněná velikostí zrn ostřiva, stejně jako druhem odlévaného kovu - velikostí odlitku a požadavky na jakost povrchu
- **Chemická odolnost** - má vliv na jakost povrchu odlitku a chemický účinek se projevuje reakcí kyselých oxidů se zásadami
- **Rozpadavost** - schopnost směsi ztrácet pevnost po odlití, odlitek se může nerušeně smršťovat po odlití, je to způsobené tím že některá pojiva se působením kovu spálí a přestanou vázat ostřivo

Nežádoucí vlastnosti:

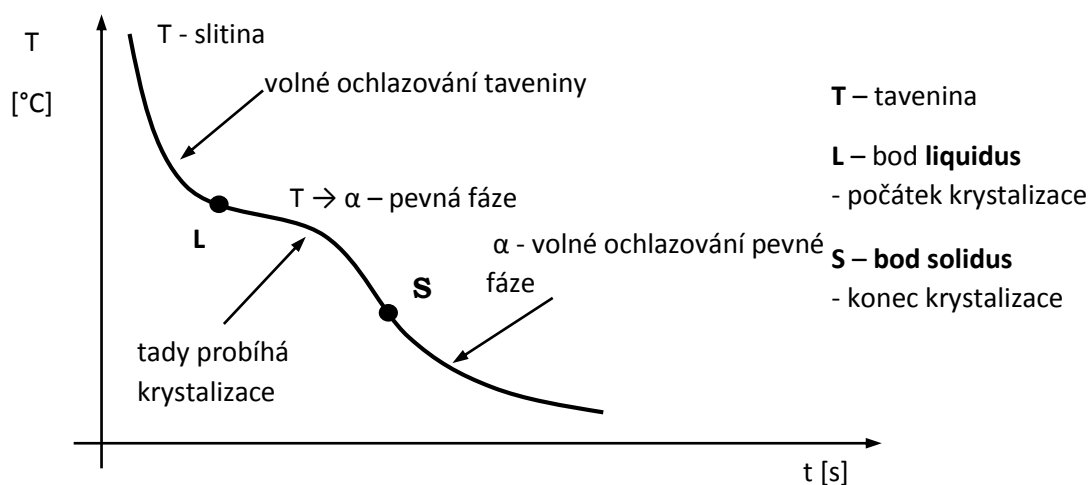
- **Lepivost** - ztěžuje odstranění modelu, poškozuje líce formy, model se potírá speciálními látkami
- **Navlhavost** - schopnost FZ přijímat vlhkost z ovzduší
- **Drobivost** - při sušení formy snižuje vaznost

Krystalizace kovů - křivka ochlazování – ČISTÝ KOV (Obr. 3.7)



Obr. 3.7 Křivka ochlazování čistého kovu

Krystalizace kovů- křivka ochlazování – SLITINA (Obr.3.8)



Obr. 3.8 Křivka ochlazování slitiny

3.3. Překrystalizace kovů - křivka ochlazování

- **Překrystalizace kovů:** je to změna krystalického uspořádání – přeměna struktury v pevném skupenství během ochlazování kovu (slitiny), např. Fe, Be, Sn, Ce, Ti a I.
- **Překrystalizace:** změna krystalické mřížky v pevném skupenství
- **Křivka ochlazování:** je funkce teploty v závislosti na čase
- **Polymorfismus:** schopnost kovu krystalizovat v různých soustavách v závislosti na T
- **Altropismus:** schopnost slitin krystalizovat v různých soustavách.

Proces přeměny struktury kovu v pevném skupenství - změna krystalické mřížky.

Krystalizace kovů - přechod z tekutého do pevného stavu a to souvisí s uspořádáním atomů do krystalické mřížky.

Skládá se ze dvou etap

- vznik krystalizačních zárodků
- růst zárodků

3.3.1. Zárodky:

- stálé (když dosáhnou určitého rozměru)
- nestálé

Krystalizující zárodky:

- ze základního stavu
- cizorodé (Al_2O_3 , TiO_2)

Průběh krystalizace ovlivňují 2 činitele:

- **krystalizační schopnost** – rychlost tvorby zárodků vzniklých v 1 cm^{-2} za sek.
- **krystalizační rychlost** – rychlost růstu krystalů se mění

Při odlévání je vršek formy zdvihán značnou silou, která vzniká působením vztlaku jádra ve známkách a tlakem tekutého kovu na vršek formy. Při odlévání menších odlitků postačí upevnění rámu navzájem k sobě, čímž se vytvoří jeden celek. U větších odlitků se musí použít zatížení, zvláště pro tento účel zhotovené s oky pro jeřáb.

Odlévací proces tekutého kovu do formy se vykonává z pánve dopravované k formě pomocí jeřábu nebo na vozíku. Pro šedou litinu se používá normální sklopná pánev (obr. 3.9), pro ocel na odlitky pánev se spodní výpustí.

Pro získání kvalitního odlitku je velmi důležitá rychlost lití. Teplota odlévaného kovu má být tak vysoká, aby kov dokonale zaplnil formu i v nejslabších stěnách. Výška teploty odlévání má vliv na jakost odlitku. Rychlost odlévání musí být tak vysoká, aby byl vtok během odlévání naplněný tekutým kovem a po odlití formy naplněný až k okraji. Tím bude dosaženo toho, že nečistoty, struska i vyplavený písek budou na hladině tekutého kovu a nebudou proudem staženy do formy. Současně je důležité nepřerušit proces odlévání, v opačném případě vzniká stejné riziko. Tekutý kov se kromě toho ihned pokrývá vrstvou oxidů, které zabraňují dokonalému spojení kovu.



4.TAVENÍ

4.1. Tavení

Tavení je tepelně-metalurgický proces, během kterého působením či vytvářením tepla mění materiál (vsázka) svůj fyzický stav ze skupenství pevného (solidus) na skupenství kapalné (likvidus).

Pro tuto změnu je nutné určité množství tepla, skládajícího se z Q_1 potřebného na ohřev celého objemu vsázky z normální teploty okolí T_0 na teplotu tavení kovu (případně na teplotu likvidu T_L), tepla Q_2 potřebného na roztavení celé hmotnosti vsázky a tepla Q_3 , které je potřebné na ohřátí taveniny na určitou teplotu T_{pr} .

Čisté kovy se taví a tuhnou při stejné teplotě (teplota likvidu = teplota solidu), slitiny se taví a tuhnou v určitém intervalu teplot (teplota likvidu je vyšší než teplota solidu).

Tavení kovů probíhá v tavicích agregátech (pecích).

4.2. Základní pojmy

Slitina je útvar skládající se z nejméně dvou prvků, ze kterých alespoň jeden musí být kov, tvořící v pevném skupenství soudržný celek. Slitina vzniká rozpuštěním přísad (prvků) v roztaveném základním kovu.

K výrobě odlitků se používají dvou, tří a vícesložkové slitiny, ve kterých můžeme rozlišit:

- základní prvek (hlavní legující prvek), jehož obsah je vyšší než 50 % a určuje název slitiny (např. slitiny hliníku, zinku, mědi apod.)
- legující prvek (legující přísada), jejíž obsah ve slitině je v porovnání s obsahem základního prvku menší.

Obsah všech prvků slitiny je vymezený příslušnou normou.

Legování je proces při výrobě slitiny, při kterém se do tekutého kovu přidávají legující prvky. Při legování se podíl jednoho resp. více prvků zvyšuje, což vede ke zlepšení některých vlastností odlitku.

Opakem legování je ředění – určitý legující prvek je ředěný, pokud je v tavenině v příliš vysoké koncentraci tzn., pokud přesahuje maximální přípustnou hranici koncentrace.

Zpravidla se při ředění přidává čistý základní kov, čímž dochází ke zvýšení podílu základního kovu a současně k poklesu podílu legujících prvků.

Příměsi (nečistoty) – jsou to prvky, jejichž přítomnost ve slitině není žádoucí. Zpravidla jsou to ostatní prvky, kromě legur.

4.3. Tavení kovů

K tavení kovů se používají různé typy tavících agregátů. Rozhodujícími faktory při volbě typu zařízení jsou ekonomičnost a technologičnost přípravy kovu nebo slitiny. Mezi nejdůležitější technologické parametry patří:

- výkon tavícího agregátu
- obsah, konstrukce a typ agregátu
- způsob ohřevu agregátu (ohřev plynovým, kapalným nebo tuhým palivem, případně ohřev elektrickou energií)
- způsob výměny tepla
- pohyb taveniny v pracovním prostoru
- rozsah pracovních teplot, změna teploty
- kontrola a regulace
- atmosféra a tlak
- délka procesu tavení

Velmi důležitým parametrem je výměna tepla v pracovním prostoru pece, která se uskutečňuje sáláním, prouděním nebo vedením. V závislosti na pracovní teplotě a konstrukci pece převládá jeden ze způsobů výměny tepla. Např. v pecích s minimální teplotou 1000°C je hlavním způsobem výměny tepla sálání, v pecích s teplotním rozsahem nad 650°C je to vedení. V procesu výměny tepla má důležitou roli i výstelka, která se v důsledku nižší tepelné vodivosti ohřívá na teplotu vyšší než vsázka. Rozměry a tvar pracovního prostoru mají pro proces tavení a pro výkon pece zásadní význam. Jsou hlavním kritériem určujícím množství nataveného kovu.

Pohyb taveniny v pracovním prostoru je užitečný jev, protože způsobuje vyrovnání tepelných a hmotnostních gradientů v objemu tekutého kovu. Při správném pohybu taveniny nenastává lokální přehřátí, které má při tavení především slitin hliníku negativní vliv na kvalitu taveniny. Pro rovnoměrnost ohřevu a homogenitu taveniny je dostatečné samovolné proudění – konvekce.

Tavící agregáty můžeme rozdělit podle použití na tavící a udržovací a podle vzniku tepla na palivové (plynové nebo na pevné palivo) a elektrické (obloukové, indukční a odporové).

Tavení litin

Nejběžnějším a nejvhodnějším zařízením na tavení LLG (litiny s lupínkovým grafitem) je kupolová pec. Problémem při výrobě litiny v kupolové peci je možnost vyrábět kvalitnější druhy litin a dalším poměrně vážným problémem sléváren především na Slovensku jsou ekologické předpisy, kterým některé kupolové pece přestaly vyhovovat a dosáhnout požadovaných emisních limitů, stanovených pro kupolové pece by vyžadovalo značné investice, proto některé slévárny přešly na výrobu litiny především v elektrických indukčních pecích.

Krom těchto dvou pecních agregátů je možné litinu vyrábět, výjimečně ale přece, i v elektrické obloukové peci a v plamenné peci.

- TAVENÍ LITINY V KUPOLOVÉ PECI
- TAVENÍ LITINY V PALIVOVÉ – PLAMENNÉ PECI
- TAVENÍ LITINY V ELEKTRICKÝCH PECÍCH (obloukových, indukčních)

Tavení slitin neželezných kovů

Na tavení slitin neželezných kovů, především slitin hliníku, se používají:

- PALIVOVÉ PECE
- ELEKTRICKÉ ODPOROVÉ PECE
- ELEKTRICKÉ INDUKČNÍ PECE

Racionální výroba ve slévárnách odlitků předpokládá pouze přetavování hotových slitin (případně jejich dodatečné legování) a vlastního vratného materiálu. V tavírnách se na rozdíl od sléváren přetavují různé druhy např. hliníkového odpadu. Jako vsázkový materiál se ve slévárnách používají hotové slitiny, čisté kovy na dodatečné legování, předslitiny, kovy s rafinačním, ochranným, očkujícím a modifikačním účinkem, vlastní vratný materiál a zpracovatelský odpad. V tavírnách se jako vsázkový materiál používají kromě hliníkového šrotu i čisté kovy nebo předslitiny na dodatečné legování.

Součástí vsázky jsou v obou případech i nekovové materiály, obyčejné soli, které se používají na:

- dodatečné legování slitiny určitými prvky
- ochranu taveniny proti oxidaci a přepalem
- rafinaci
- zjemnění struktury

5.VLASTNOSTI ROZTAVENÝCH KOVŮ A SLITIN

5.1. Vlastnosti roztavených kovů a slitin

Nauka o slévání pojednává o výrobě odlitků z kovů i jejich slitin, o vlastnostech základních a pomocných surovin pro jejich výrobu a příslušných pomůckách a zařízeních.

Slévárenství má klíčový význam pro strojírenství a z hlediska ekonomie výroby je nejlacinějším způsobem výroby zejména pokud se jedná o složitý tvar součástí. Je to způsob výroby kovových součástí, při kterém roztavený kov vlijeme do formy, v jejíž dutinách tavenina ztuhne a vytvoří surový odlitek.

Po odstranění vtokové a nálitkové soustavy získáme hrubý odlitek a po jeho opracování podle konstrukčního výkresu součástky čistý odlitek. Sléváním je možné zhotovit součástky a díly o hmotnosti od několika gramů po několik stovek tun.

Podle následného zpracování odlitku se rozlišují dva zásadní způsoby odlévání:

- Tvarování jednoduchého odlitku kruhového, čtvercového nebo osmihranného průřezu se silně zaoblenými hranami, určeného k dalšímu zpracování tvářením, nazývané ingoty nebo kontiodlitky. Zhotovují se odléváním do kovových forem – kokil, anebo při kontinuálním odlévání do **krystalizátorů** čtvercového nebo obdélníkového průřezu. Ztuhlý polotovár se dále zpracovává válcováním nebo kování. Tímto následným tvářením se mění tvar a velikosti výchozího odlitku. Do značné míry jsou ovlivňovány i fyzikální a mechanické vlastnosti odstraněním různých nedokonalostí vzniklých při krystalizaci.
- Odlitky strojních dílů a součástí – jedná se o získání konečného, často velmi složitého tvaru, blížícího se co nejvíc velikosti a tvaru budoucí součástky. Fyzikální a mechanické vlastnosti odlitku jsou ovlivněné hlavně chemickým složením a pracovním postupem při odlévání.

5.2. Technologické vlastnosti kovů a slitin

Slévárenské vlastnosti jsou vlastnosti technologické, odvozené od komplexního působení fyzikálních vlastností kovů a formy při odlévání, podmínek lití a struktury odlitku. Tyto vlastnosti se komplexně nazývají slévatelnost, tzn. schopnost vytvořit kvalitní odlitek.

Nejdůležitější vlastnosti jsou:

- **Tavitelnost** - schopnost kovu přecházet z pevného stavu do tekutého
- **tekutost** - závisí na vzájemné pohyblivosti částic taveniny při dané teplotě
- **zabíhavost** - schopnost taveniny vyplnit tenké průřezy v aktivní dutině formy
- **smršťování** - objemové a rozměrové změny v aktivní dutině formy
- **oddělování** - je oddělování různých strukturních složek při tuhnutí taveniny.
- **rozpustnost plynů** - s rostoucí teplotou rozpustnost plynů v tavenině stoupá, při ochlazování se snižuje.

6.KOVY A SLITINY V SLÉVÁRENSTVÍ A JEJICH OZNAČOVÁNÍ

6.1. Materiály používané na výrobu odlitků

Mezi nejpoužívanější materiály na výrobu odlitků patří: ocel na odlitky, litiny a slitiny Al. Fyzikální vlastnosti kovů používaných na odlévání jsou v tab. 1

Tab. 1 Fyzikální vlastnosti kovů používaných na odlévání

Kov	Teplota tavení (°C)	Bod varu (°C)	Hustota ρ při (20 °C) (10 ³ .kg.m ⁻³)
Ocel na odlitky	1500 - 1550	-	7,8 – 8,0
Litina	1150 - 1300	-	6,8 – 7,5
Al a jeho slitiny	660 - 700	2519	2,70
Cu a její slitiny	1083	2562	8,96
Mg a jeho slitiny	650	1090	1,74
Zn a jeho slitiny	419	907	7,14
Ag	961	2162	10,49
Au	1064	2856	19,3
Sn	231	2601	7,2

Pro odlévání je směrodatným údajem teplota tavení. Typ tavící pece závisí na druhu taveného kovu. Pro tavení jednotlivých druhů železných a neželezných kovů je možné použít následující typy pecí:

Ocel

- elektrické indukční pece,
- elektrické obloukové pece,

Litina

- kupolové pece,
- kupolové pece s předehřátým vzduchem,
- plamenové pece,
- duplexní způsob (kupolová pec + elektrická pec),
(kupolová pec + plamenová pec),

Al a jeho slitiny

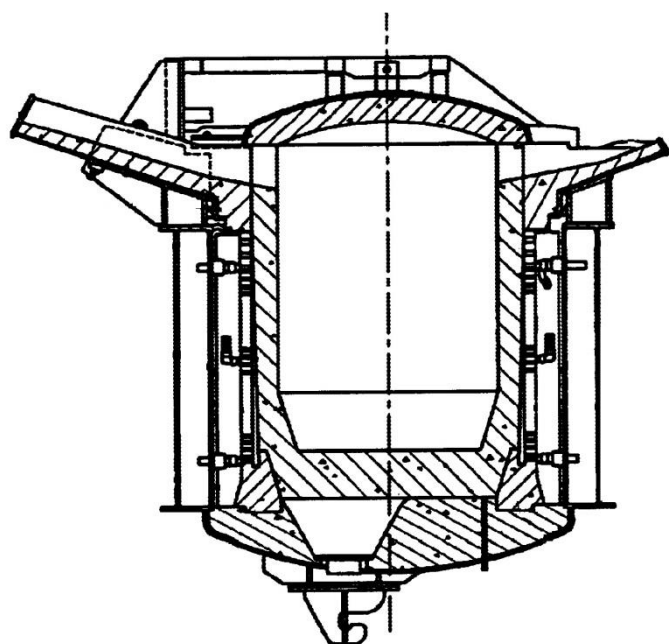
- indukční pece, v kterých se používají grafitšamotové nebo kovové kelímky,

Cu a její slitiny

- vanové pece,
- bubnové pece,
- kelímkové pece na tuhé, plynné a tekuté palivo,
- indukční kelímkové pece (nejpoužívanější) - (obr. 5.1),
- kanálové pece,

Zn a jeho slitiny

- kelímkové pece s plynovým ohřevem nebo elektrickým odporovým ohřevem.



Obr. 6.1 Indukční kelímková pec

7.VÝROBA ODLITKŮ

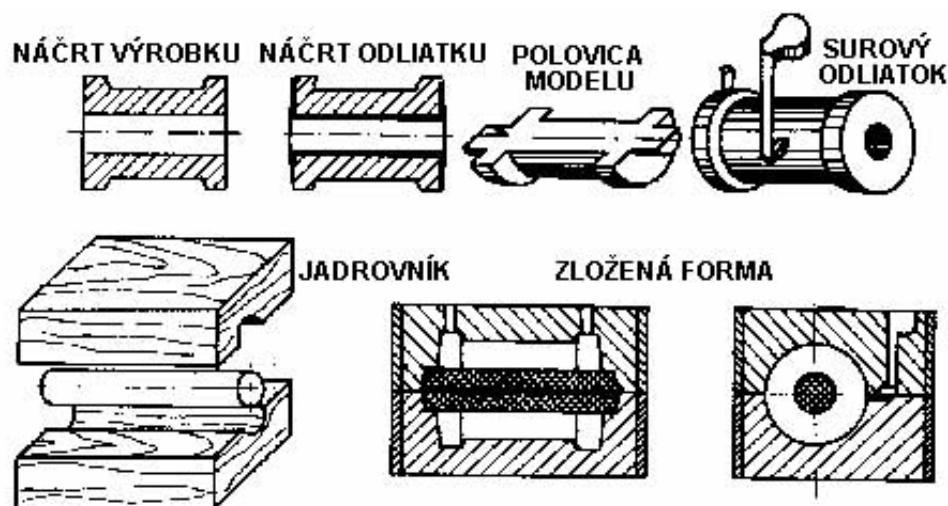
7.1. Technická příprava výroby

Úkolem technické přípravy výroby je zajistit potřebné technologické podklady pro výrobu odlitků.

Technologický postup zajistí postupová kancelář na základě nákresu čistého odlitku. Vývojář určí druh modelu nebo modelového zařízení, jak bude model dělený, přídavky na obrábění a smrštění, druh a dělení jádrovníků, druh modelovací směsi, druh a velikost formovacích rámců, druh a velikost vtokové a nálitkové soustavy, techniku formování, způsob odlévání, ochlazování a čištění.

Při návrhu je třeba zohlednit, o jaké množství odlitků se jedná, podle toho se pak určí pracovní postup.

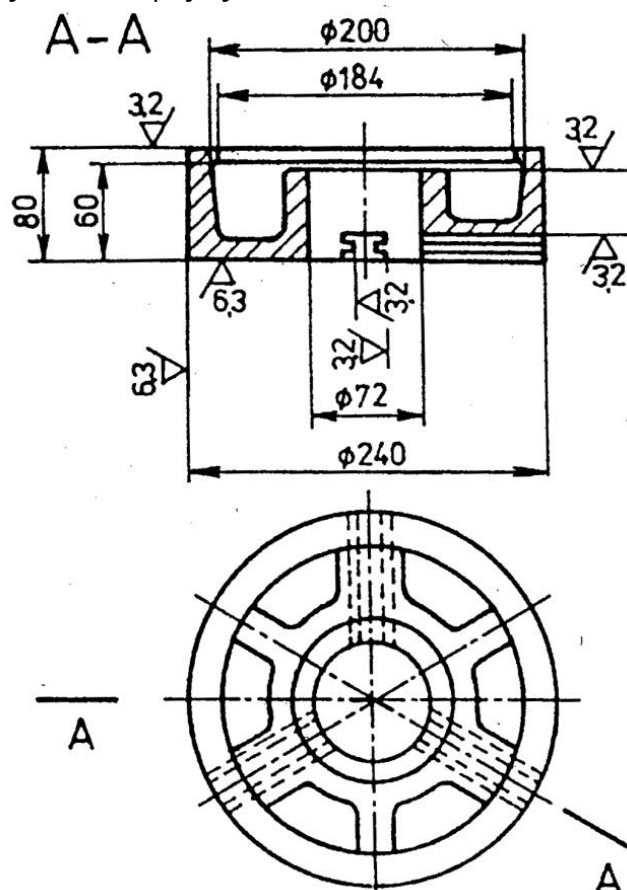
Nákres, který zobrazuje postup výroby modelu, se nazývá postupový výkres. Podle něj modelář zhotoví model, který přes sklad modelů zasílá do vlastní výroby do slévárny. Ve slévárně se podle předepsané dokumentace zhotoví forma. Po odlití a ochlazení se odlitek vybere z formy. Očistí se, zbaví se vtokové soustavy a nálitkové soustavy, zkontroluje se a předá do expedice. Příklad postupu výroby jednoduchého odlitku je na obr. 2.



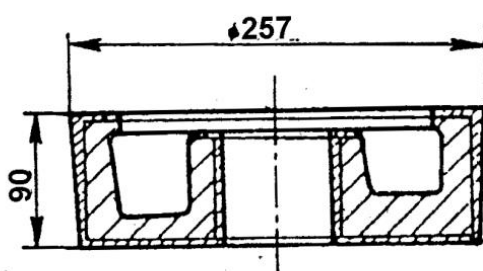
Obr. 2 Rámcový postup výroby jednoduchého odlitku

7.2. Technologický postup výroby odlitku

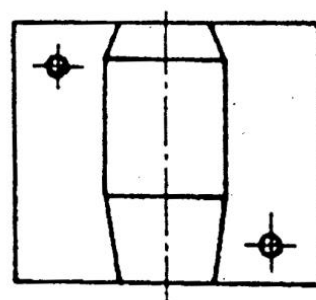
Při návrhu technologického postupu výroby odlitku se vychází z konstrukčního výkresu strojní součásti, která má být zhotovená odléváním z daného materiálu. Na obr. 3 až 6 je znázorněn návrh postupu výroby součástí od výrobního náčrtu až po složenou formu pro odlévání a vysvětleny základní pojmy.



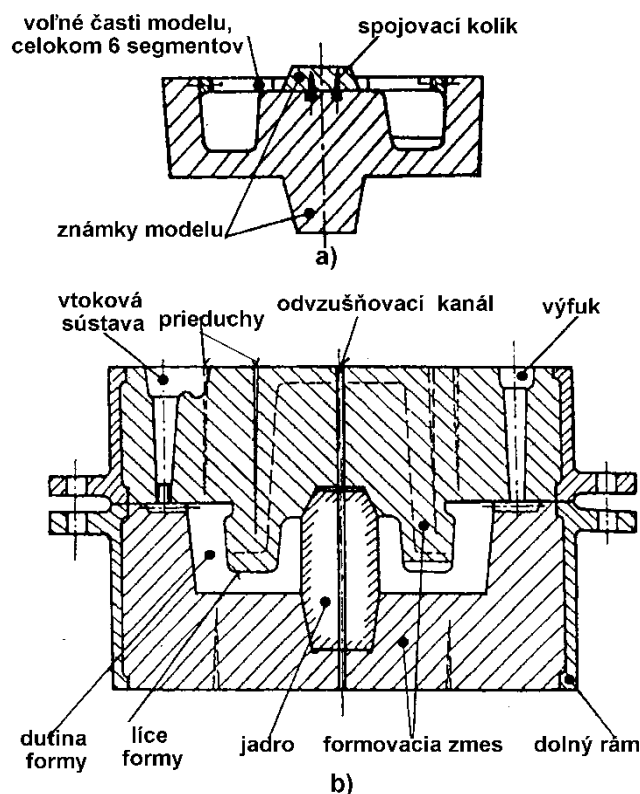
Obr. 3 Náčrt hotové součástky ze šedé litiny



Obr. 4 Náčrt hrubého odlitku
jádrovníku
(zdvojeným šrafováním je znázorněný přídavek
na obrábění)



Obr. 5 Náčrt poloviny



Obr. 6 a) Náčrt děleného modelu, b) Náčrt formy

Technologický postup výroby odlitku musí obsahovat:

- Volba polohy odlitku ve formě.
- Volba dělicí roviny.
- Volba způsobu výroby forem z hlediska:
 - formovacích materiálů,
 - způsobů používaných ve slévárně (lití v syrové formě, sušené formy apod.),
 - velikosti, tvaru a materiálu odlitku,
 - sériovosti výroby (ruční, strojní formování),
 - specifického tvaru nebo použití odlitků (skořepinové formy, kovové formy apod.)
- Volba způsobu výroby jader (podle stejných hledisek jako u forem).
- Stanovení tvaru a počtu jader.
- Stanovení způsobu odlévání a výpočet vtokové soustavy.
- Určení tepelných uzlů na odlitku, stanovení umístění nálitků a chladítka, výpočet velikosti nálitků.

- Stanovení výrobních pomůcek (druh a počet modelů, modelové desky, formovacího rámy pod.).
- Stanovení doby chladnutí ve formě.
- Stanovení tepelného zpracování odlitku.
- Stanovení kontroly a pravidel pro odevzdání podle STN, nebo podmínek zákazníka.
- Stanovení technologických údajů (teplota lití, doba lití, zatěžování forem apod.).

7.3. Volba polohy odlitku ve formě při odlévání

Poloha odlitku se volí podle zásad:

- usměrněného tuhnutí,
- kladení důležitých ploch větších šířek do dolní části formy, kde je nejčistší kov (u odlitků ze šedé litiny). U ocelových odlitků se důležité plochy větší tloušťky umísťují v horní části formy (doplněné smršťujícího se a tuhnoucího kovu z nálitků),
- bezpečného uložení jader,
- uložení tenkých stěn ve spodní části, pod určitým úhlem nebo svisle.

7.4. Volba dělicí plochy

Dělicí plocha se volí dle zásad:

- dosažení nejmenšího počtu jader,
- dosažení minimální výšky formy,
- umístění základních prvků odlitku do jedné polovice formy
- uložení hlavních jader v dolní polovici formy,
- získání rovné dělicí plochy.

8.MODELOVÉ ZAŘÍZENÍ

Modelové zařízení zahrnuje:

- modely,
- šablonovací zařízení,
- jádrovníky,
- modelové desky.

Modelové zařízení se zhotovuje v modelárně. Modelovým zařízením rozumíme zařízení ke zhotovení aktivní dutiny formy, která je ohraničená stěnami vlastní formy a stěnami vložených jader.

Složitost modelového zařízení je daná složitostí odlitku, na kterém závisí i počet a poloha dělicích rovin, umístění jader a známek pro uložení.

Dřevěná modelová zařízení se označují barevně na povrchu v závislosti na materiálu odlitku, pro který jsou určeny (tab. 2).

Tab. 2 Barevné označení povrchu modelových zařízení

Materiál odlitku	Barva
šedá a tvárná litina	červená
temperovaná litina	světlemodrá
ocel na odlitky	tmavomodrá
slitiny mědi	žlutá
slitiny hliníku	šedá
slitiny hořčíku	zelená

Tvar modelového zařízení je daný tvarem a rozměry budoucího odlitku, způsobem výroby forem a jader, druhem materiálu odlitku a formy.

8.1. Modely

Modely jsou prostředky sloužící k vytvoření dutiny ve formě. Tvar a rozměry modelu vycházejí z tvaru a rozměrů součástí, liší se však o přídavky.

Volné části modelu, které by bránily jeho vyzvednutí z formy, jsou zhotovené tak, že při vybírání modelu zůstanou ve formě a vyberou se dodatečně.

8.2. Smrštění odlévaných slitin

Rozměry modelů a jádrovníků jsou vzhledem ke smrštění zvětšené oproti hotovému odlitku. Celkové přídavky se proto skládají z přídavek na smrštění, přídavek na obrábění a technologických přídavek (nepředlévané otvory, zesílení stěn směrem k nálitkům, úkosity apod.).

Vzhledem k tomu, že v průběhu ochlazování se kovy a slitiny smršťují, je třeba modelové zařízení zhotovit větší o míru smrštění daného materiálu. Míra smrštění při tuhnutí je různá a závisí v podstatě na chemickém složení kovu, teplotě lití, struktuře odlitku a druhu formy. Obecné hodnoty délkových smrštění slitin jsou:

• Šedá litina	0,7-1,2%	bronz	1,3-2,5%
• ocel na odlitky	1,3-2%	slitiny hořčíku	1,1-1,4%
• mosaze	1,7-2,2%	slitiny hliníku	0,8-1,5%

Výpočet je zdlouhavý, a proto používáme modelářské metry, kde je stupnice zvětšená o hodnotu smrštění.

8.3. Přídavky na obrábění a přídavky technologické

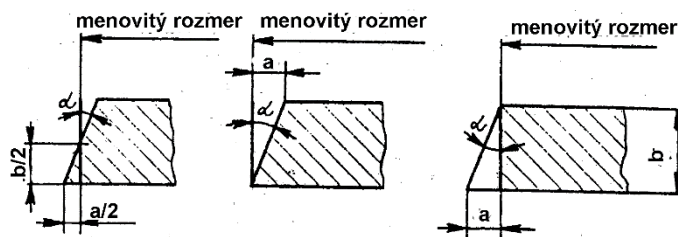
Přídavek na obrábění je vrstva materiálu na vnější straně nebo vnitřní ploše odlitku, která umožňuje dosáhnout obrobením přesnosti rozměrů a jakosti povrchu stanovené na výkresu součástky. Určuje se podle STN 01 4980. Závisí na rozměrech součástky, materiálu a stupně přesnosti odlitku a poloze plochy.

Přídavek technologický- je vrstva materiálu na vnější nebo vnitřní straně, která umožňuje dosáhnout usměrněného tuhnutí nebo ulehčuje výrobu.

8.4. Slévárenské úkosity modelů a odlitků

Úkosity slouží ke snadnému vybírání modelu z formy a jádra z jádrovníku. Stěny, které s dělicí rovinou svírají kolmý úhel, se zhotovují prakticky úkosem 0,5 do 200°, a to podle místa a délky, ke které se úkos vztahuje. Podle vztahu úkosu k jmenovitému rozměru odlitku se rozlišují úkosity typu A, B a C (obr. 7).

Jmenovitý rozměr je rozměr stanovený na výkrese odlitku. K němu se vztahují mezní odchylky rozměrů a tvarů odlitku. U ploch, které budou obráběné, se za jmenovitý rozměr odlitku považuje rozměr včetně přídavek na obrábění.

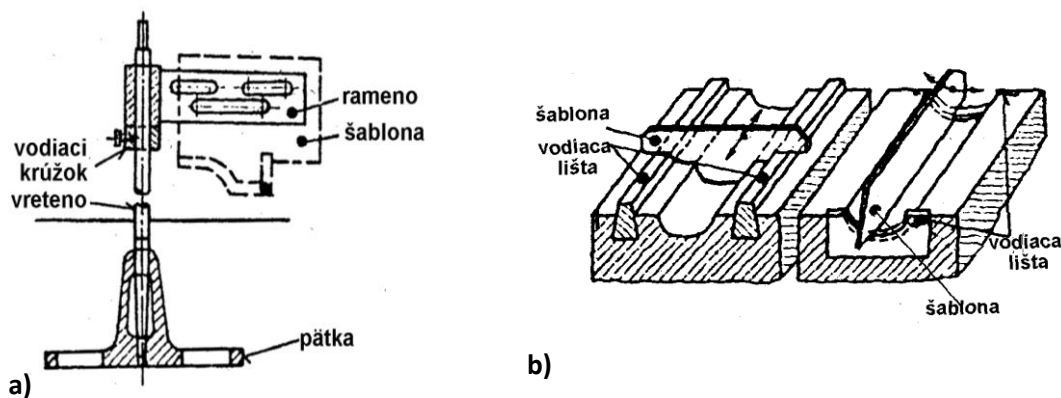


Obr. 7 Slévárenské úkosy typu A, B, C

- Úkos A se obvykle používá pro neopracované plochy a je nejčastěji používaným úkosem. Nemusí být stanovený na výkresu součástky.
- Úkos B se volí tehdy, pokud je možné zmenšit rozměry odlitku (úspora hmotnosti). Musí být na nákresu součástky vždy stanovený.
- Úkos C se používá na obráběných plochách nebo tam, kde rozměr odlitku není možné zmenšit. Pokud plochy odlitku s úkosem C nebudou obráběné, musí být úkos na nákresu součástí vždy stanovený.

8.5. Šablonovací zařízení

Je to zařízení pro výrobu forem a jader skládající se z vodícího zařízení a vlastní šablony (obr. 8). Rozlišuje se šablonování rotační, podélné a příčné.

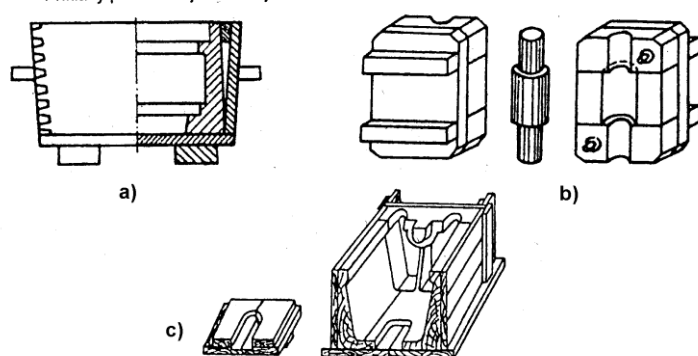


Obr. 8 Šablonovací zařízení

a)- rotační šablona, b)- příčné a podélné šablonování

8.6. Jádroníky

Dutiny v odlitku se vytvářejí pomocí zvláštních částí formy, které nazýváme **jádra**, které se zhotovují v modelových zařízeních – **jádronících**, obr. 9.



Obr. 9 Jádroníky a) sřínový, b) – dělený, c) – rámový s objímkou

Pro zajištění polohy jádra a jeho posunutí v aktivní části dutiny se ukládají úložnými částmi - **známkami** - do známkových lůžek, vytvořených známkami na modelu (obr. 9). Znamky svislých jader mají kuželový tvar.

8.7. Modelové desky

Půdnice je podložka, na kterou se dávají modely nebo části modelů při ručním formování.

Při strojním formování (v sériové a hromadné výrobě) se používají modelové desky s upevněnou polovinou modelu, včetně částí modelu vtokové soustavy a s vodícími kolíky. Při výrobě většího počtu odlitků, hlavně v případě strojního formování zpřesníme a usnadníme výrobu tím, že polovinu modelu položíme na modelovou desku. V hromadné a sériové výrobě dřevo nevyhovuje požadavkům.