

## PLNĚNÍ FORMY KOVEM

Plnění formy kovem je ve slévárenství velmi důležitý pochod. Při plnění formy reaguje roztavený kov velmi intenzivně se vzdušným kyslíkem, s plyny vylučujícími se z foremního materiálu, s nátěry atd.

Při lití je okysličovaný povrch kovu ve srovnání s povrchem kovu v kelímku nebo v peci značně větší. Proto se může kov při lití značně okysličit, ačkoli se stýká se vzdušným kyslíkem jen krátkou dobu.

Kov se může okysličovat na odkrytém povrchu i uvnitř odlitku vlivem nassávaného vzduchu.

Nestačí-li bublinky vzduchu strženého při lití před ztuhnutím kovu vyplout na povrch odlitku a zůstanou uvnitř, utvoří vzduchové dutiny.

Při styku s kovem se vzduch, který je mezi stěnami formy a kovem, rychle ohřívá, snaží se zvětšit objem a tlačí na kov. Je-li tlak vzduchu větší než tlak kovu a pevnost kysličíkového povlaku na jeho povrchu, může vzduch vniknout do odlitku a zůstat v něm při rychlém tuhnutí.

Týž jev může nastat, vylučují-li se plyny nebo páry z materiálu formy, když je forma ohřívána kovem.

Dutina formy se musí plnit kovem tak, aby se tekutý kov celým povrchem stýkal s formou požadovaným stupněm přesnosti, aby přesně vyplnil všechny obrysy formy, netvořil na svém povrchu zavaleniny, povlaky, nedolitky atd.; při plnění formy nesmí být kovem strhován vzduch, pára, struska a jiné nekovové vměsky.

Kov se při lití ochlazuje a ztrácí pohyblivost, což může způsobit, že zcela nevyplní všechny dutiny formy. Zvýší-li se před litím teplota kovu, je nebezpečí, že se kov okyslíčí, že bude pohlcovat plyny a že v odlitku vzniknou staženiny. Proto se musí odlévat v určitém teplotním intervalu s určitou rychlostí. Rychlost plnění formy se může měnit v určitých mezích, jež se stanoví podle vlastností slitiny, rozměru a tvaru odlitku, materiálu formy a požadavků, jež jsou kladeny na jakost odlitku.

Při plnění formy rozeznáváme tři druhy pohybu kovu:

1. pohyb volným proudem;
2. pohyb kovu zvlášť provedenými kanály, t. j. vtokovou soustavou;
3. pohyb kovu v dutině formy

## 1. Pohyb tekutého kovu volným proudem

Téměř každé lití provází volný pád proudu kovu: při odpichu kovu z pece do pánve nebo při lití přímo do formy, z pánve do lící jamky formy atd. Kov musí vždy projít určitým prostorem, kdy volně padá proudem otevřeným se všech stran, a je zcela přirozené, že se při tom velmi okysličuje. Lití ve vakuu nebo v ochranném plynném prostředí, jež chrání před okysličováním, se dosud používá jen ojediněle.

Za jinak stejných podmínek probíhá okysličování tím intenzivněji, čím větší je stykový povrch kovu se vzduchem. Padá-li proud s větší výškou, čímž se také zvětšuje jeho povrch, na př. při rozdělení silného proudu na několik tenčích, zvětšuje se i povrch okysličený. Vylévá-li se stále množství kovu jednou silným, po druhé tenkým proudem, bude se při lití tenkým proudem kov přiměřeně více okysličovat. Při lití plochým proudem se bude kov více okysličovat než při lití proudem kruhového průřezu.

Všeobecně se bude kov více okysličovat v těch případech, kdy jsou jeho kysličníky rozpustné v tekutém kovu, na př. kysličník měďný v mědi. Avšak i v případech, kdy se tvoří nerozpustné kysličníky, je velké nebezpečí, že se dostanou do kovu a znečistí jej nekovovými vměsky. Při tvoření nesnadno tavitelných kysličníků, jež jsou při lících teplotách v tuhém stavu, má velký význam mechanická pevnost povlaků: na př. kysličníky hořčíku tvoří na kovu křehké, málo pevné povlaky, jež se snadno trhají a jimiž proniká vzduch; proto se hořčíkové slitiny při lití intenzivně okysličují. Kysličníky hliníku a jeho slitin však tvoří pevné obaly na povrchu proudu kovu. Teče-li kov pomalu, obaly se netrhají a kov vytéká v obalu z povlaku kysličníků, jenž chrání kov od dalšího okysličení.

Je zřejmé, že pevnost kysličíkových povlaků na hliníkových slitinách je velmi omezena: stačí poměrně malé zvýšení rychlosti pohybu kovu, ořes nebo dokonce prosté lehké kolébání proudu, aby se obaly protrhly a byly zaneseny do odlitku. Poté se ihned znovu vytvoří nové povlaky na povrchu kovu, opět se jejich kusy utrhnou a jsou unašeny kovem.

Takové pleny kysličníků jsou velmi škodlivé, neboť porušují homogenitu odlitků, což velmi snižuje mechanickou pevnost vý-

robků. Kromě toho, poněvadž jsou hygroskopické, adsorbují vlhkost a plyny, a tím se stávají ohnisky korose.

Okysličování proudu se omezí, zmenší-li se jeho povrch a vytvoří-li se kolem něho ochranné prostředí.

Na př. při výrobě kyslíku prosté mědi se jako ochranného prostředí používá nejčastěji plynů, kyslíčnicku uhličitého a uhlíkovodíků; aby se neokysličoval hořčík při lití, poprašuje se proud sírou, která hoří a tvoří kolem proudu ochranné prostředí z  $\text{SO}_2$ .

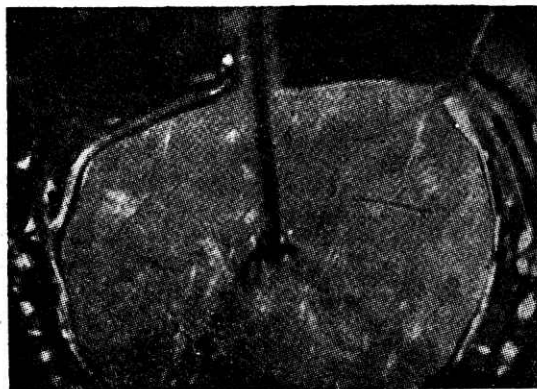
S volným pádem kovu v dutině formy se nejčastěji setkáváme při lití ingotů z bronzu, mosazi a jiných neželezných kovů a při lití velkých ingotů z oceli. Při lití odlitků je nutné se vyvarovat volného pádu kovu v dutině formy.

Se stékáním kovu po stěnách formy se často setkáváme při vyplňování forem odlitků, při lití ingotů z hliníkových a hořčíkových slitin do kokil.

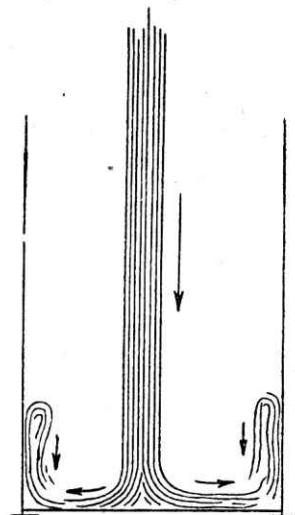
Stékání kovu vtokovými kanály je nejrozšířenějším způsobem plnění forem při lití odlitků a ocelových ingotů.

Přivádí-li se kov vtokovými kanály dospodu formy, plní se dutina formy kovem zdola nahoru jako ve spojitých nádobách a odstraní se stékání proudu shora dolů v dutině formy. S tímto případem se nejčastěji setkáváme při lití složitých odlitků a při lití ocelových ingotů z velkých pecí.

a) *Plnění formy volně padajícím proudem.* Probereme plnění nejjednodušší formy, totiž plochého nebo kruhového ingotu. Roz-



Obr. 19. Schema plnění formy volným proudem



řízneme formu rovinou, jež prochází středem proudu kolmo na stěnu (u kruhového ingotu průměrem), a probereme pohyb proudu v této rovině (obráz. 19).

Na počátku lití, v okamžiku, kdy padající proud dosáhne dna formy, promění se pohybová energie proudu v tlak, tlak se pod proudem u dna formy zvýší a tavenina vytékající z pásma vyššího tlaku se začne rozlévat po dnu nádoby.

V tomto období pádu a rozlévání proudu po dnu je vzduch kolem proudu strhován pohybem kovu, okysličuje kov, nedostane se však dovnitř proudu. Tlak na dno formy se určí z dále uvedené rovnice; pro zjednodušení nebudeme uvažovat vnitřní tření. Impuls síly se rovná přírůstku hybnosti:

$$dPdT = dmdv,$$

kde  $P$  je síla,

$T$  — čas,

$m$  — hmota,

$v$  — rychlost.

Převedením rovnice dostaneme:

$$dP = \frac{dm}{dT} dv.$$

Vezmeme-li  $dT$  rovno jedné, bude  $\frac{dm}{dT}$  odpovídat přítoku hmoty taveniny za jednotku času:

$$Q\rho = \frac{Q\gamma}{g},$$

kde  $Q$  je objem taveniny přitékající za jednotku času; výraz  $\frac{\gamma}{g}$  vyjadřuje hustotu  $\rho$  pomocí specifické váhy.

Dosazením tohoto výrazu do předchozí rovnice dostaneme:

$$dP = \frac{Q\gamma}{g} dv.$$

Předpokládáme-li, že při rovnoměrném lití je vteřinový přítok taveniny stálý, zintegrujeme rovnici v mezích původní rychlosti  $v_1$  a po rázu následující rychlosti  $v_2$ :

$$P = \frac{Q\gamma}{g} \int_{v_1}^{v_2} dv = \frac{Q\gamma}{g} (v_1 - v_2).$$

Poněvadž se v okamžiku styku taveniny se dnem formy mění veškerá rychlost v tlak, bude v okamžiku rázu  $v_2 = 0$  a výraz pro tlak přejde ve tvar:

$$P = \frac{Q\gamma}{g} v_1.$$

Objem taveniny přitékající za jednotku času se rovná rychlosti pohybu  $v_1$ , násobené plochou průřezu padajícího proudu  $F$ :  $Q = v_1 F$ . Dosazením tohoto výrazu do předchozí rovnice dostaneme:

$$P = \frac{\gamma F}{g} v_1^2.$$

Násobíme-li a dělíme-li tento výraz dvěma, snadno zjistíme, že tlak na stěnu (tlak pod proudem) v okamžiku rázu při kolmém pádu se rovná dvojnásobnému statickému tlaku:

$$P = \frac{2\gamma F}{2g} v_1^2 = 2\gamma F \frac{v_1^2}{2g} = 2\gamma F H,$$

kde  $H$  je výška, z níž padá proud.

Ve skutečnosti bude pro skutečnou kapalinu tlak poněkud menší, neboť se část energie spotřebuje na vnitřní tření.

Když se dostane kapalina rozlévající se po dnu ke svislým stěnám formy, ráz se znovu opakuje u ideální kapaliny se stejnou silou jako o dno a u skutečné kapaliny s příslušně menší silou zmenšenou ztrátami vzniklými třením. Přeměnou pohybové energie v polohovou v okamžiku rázu vznikne i v tomto případě u stěny pásmo vyššího tlaku, čímž hladina kapaliny u svislých stěn stoupne.

Zvýšení hladiny bude určováno dvěma činiteli: ztrátou rychlosti proudění a rychlostí stékání taveniny z horní hladiny na spodní.

Čím menší jsou ztráty vzniklé vnitřním třením, čím vyšší je počáteční rychlost pohybujícího se proudu, čím blíže jsou stěny k padajícímu proudu, s tím větší pohybovou energií přichází proud taveniny po dnu formy ke kolmým stěnám a tím výše se zvedá hladina taveniny u stěn. Čím menší je vnitřní tření, tím rychleji bude tavenina stékat.

V tekutém kovu u stěn jsou dva proudy, jež tekou různými směry: první, blíže stěny, má vektor rychlosti, který směřuje podél stěny, v daném případě vzhůru, a druhý proud stékající taveniny má vektor rychlosti směřující dolů.

Tento proud působí v tavenině víření.

Ve vířivém proudu směrem ke středu rychlost pohybu roste, a tudíž tlak klesá. Tento jev se v praxi stále vyskytuje a theoreticky jej lze vysvětlit takto:

Pro jednoduchost budeme uvažovat vířivý pohyb kapaliny ve válcové nádobě, jenž se děje ve vodorovné rovině pouze vlivem setrvačných sil. Při tom budeme předpokládat, že odpadá tření kapaliny o stěny nádoby. Rovnice pohybu pro jednotku hmoty, jež se pohybuje po obvodě rychlostí  $v$ :

$$PdT = mdv_i;$$

z toho:

$$P = m \frac{dv_i}{dT}.$$

Znásobíme obě části rovnice  $r$ , t. j. vzdáleností pohybující se hmoty od středu otáčení:

$$Pr = \frac{md(v_i r)}{dT}.$$

Součin  $Pr$  je krouticí moment.

Poněvadž tlak na povrchu kapaliny přiléhající ke stěnám nádoby směřuje kolmo na stěny, kdežto síla tíže působí svisle, a ježto za přijatých podmínek pohybu kapaliny nekoná kapalina práci, musí se síla  $P$  rovnat nule. Pak:

$$\frac{d(v_i r)}{dT} = 0$$

a součin  $v_i r$  se tedy rovná určité stálé hodnotě.

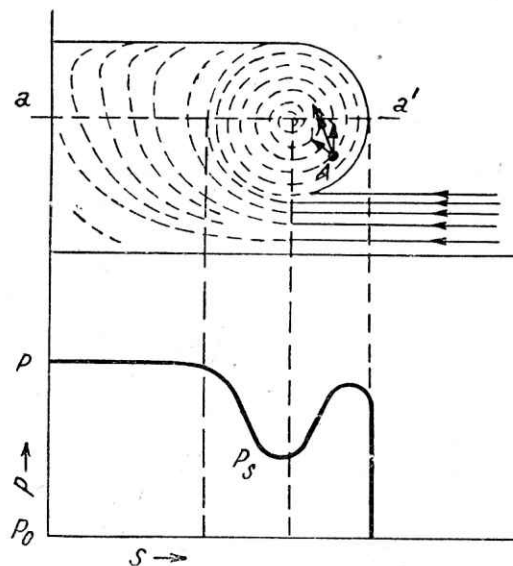
Z toho je vidět, že se zmenšováním poloměru  $r$  roste rychlost  $v_i$ .

Uvedená rovnice je správná, jak je dokázáno v hydrodynamice, nejen pro podmínky, jež byly přijaty pro zjednodušení závěru, nýbrž i pro libovolné, nepřetržité, k některé ose souměrné potenciální proudění; při tom se za  $v_i$  bere složka rychlosti kolmá k poloměru  $r$  z libovolného bodu souměrného proudění.

Z Bernouilliho rovnice plyne, že se zvětšením rychlosti  $v_i$  se zmenšuje tlak kapaliny  $p$ . To znamená, že ve víru (směrem k jeho středu) tlak klesá; je to patrné z toho, že se na povrchu tekutiny objeví trychtýř, když se kapalina uvede do otáčivého pohybu.

Proudy kapaliny u stěn formy, směřující na různé strany, snadno strhávají při dostatečně velké rychlosti vzduch dovnitř kapaliny. Vířivé proudy mohou značně ztížit vyplavání bublinek vzduchu na povrch.

Ve skutečnosti bude tlak v kapalině při vzniku vířivého proudění kolem vodorovné osy (obr. 20) na čáře  $a-a'$  vyznačen křivkou  $p-p_s-p_0$ , kde  $p$  je tlak u stěny a  $p_s$  tlak ve středu víru, kdežto  $p_0$  je atmosférický tlak na povrchu kapaliny. Na vzduchovou bublinku, kyslíčníky na povrchu, strusku atd., jež byly strženy proudem kovu a jsou na př. v bodě  $A$ , budou působit dvě síly: síla rozdílu měrných vah, jež směřuje svisle nahoru nebo dolů,



Obr. 20. Rozdělení tlaku při vířivém proudě

a síla rozdílu tlaků v kapalině, jež směřuje do středu kruhového proudu. Dráha pohybu vzduchové bublinky nebo strusky po výslednici těchto sil bude odchýlena směrem k pásmu menšího tlaku, t. j. do středu víru. Při určitém poměru působících sil může toto cizí těleso dlouho obíhat uvnitř otáčející se taveniny a zůstat v kovu i po jeho ztuhnutí. Tento jev lze snadno napodobit v přiměřeně viskózní kapalině. Vzniká téměř vždy v odlitcích litých pod tlakem: velká rychlost kovu vtékajícího do dutiny formy působí ve formě víru a kov strhává s sebou vzduch. Odlitek krystaluje ve zlomcích vteřiny a vzduch zůstává v kovu ve tvaru bublinek, jež lze dobře pozorovat na lomu a při roentgenování (obr. 21).

Bublínky vzduchu nacházíme často v odlitcích i při nesprávném lití do kovových forem. Při lití do pískových forem se vzduch strhuje řidčeji, neboť kov chladne poměrně pomaleji. Avšak ve všech případech, i když při lití stržený vzduch stačil uniknout z odlitku, narušují vzduchové bublinky hladkost povrchu odlitku, a kyslíčníky, jež se vytvořily kolem bublinky, mohou zůstat v odlitku a znečistit jej nekovovými vměsky.

Jak kov vtéká do formy, přemisťuje se zvýšená hladina kovu od stěny směrem k padajícímu proudu. Zároveň se přemisťuje také pásmo vířivého pohybu. Přibližním k proudu se vířivý pohyb stále zvětšuje, poněvadž se dráha, jíž probíhá tavenina od místa dopadu na dno k víru, zmenšuje, a zmenšují se tedy i ztráty způsobené vnitřním třením. Víř strhuje stále více vzduchu. Tento jev lze snadno pozorovat při pokusech s průhlednou kapalinou: je-li dráha, jíž prochází kapalina ke svislé stěně, velká, budou ztráty třením rovněž značné, kapalina přitéká ke stěně pomalu a vzduch není strhován. Avšak se zkracováním dráhy energie víru stále vzrůstá a od určitého okamžiku lze zřetelně pozorovat, že vzduch je strhován do kapaliny.

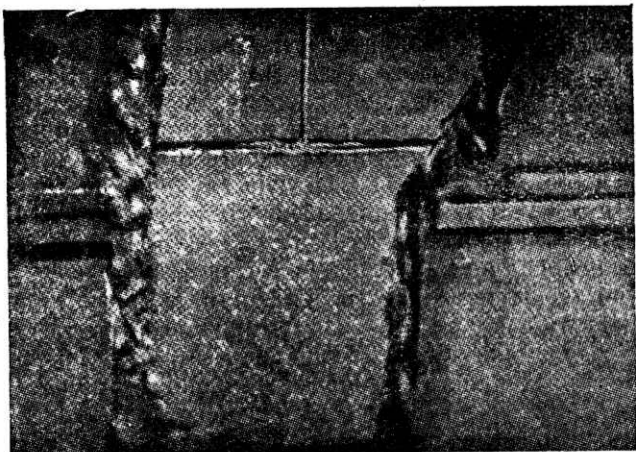
Největší víření v kapalině vzniká v okamžiku, kdy se zvýšená hladina kapaliny, jež se pohybuje od svislé stěny formy k proudu, přisune těsně k proudu. V tomto okamžiku se tvoří vířivý pohyb nejen stékáním kapaliny z horní hladiny na spodní silou tíže, nýbrž připojuje se i strhávající síla proudu, padajícího s velké výšky.

Vzduch strhovaný padajícím proudem se dostává přímo do víru, jehož energie dosahuje nyní největší hodnoty při dané rychlosti pohybu padajícího proudu.

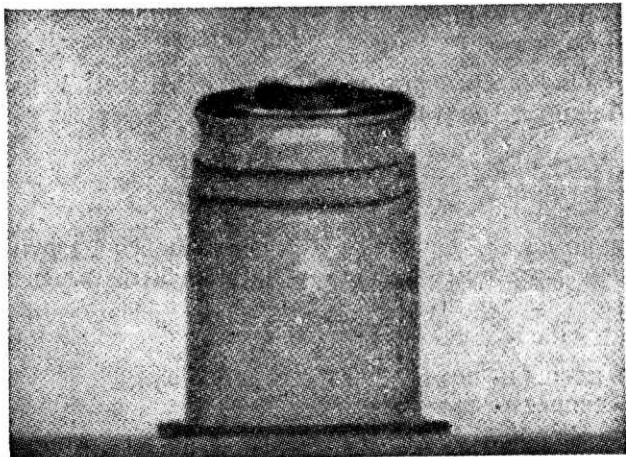
Dokud je hladina taveniny ve formě nízka, jsou vířivé pohyby v proudu značně neuspořádané, tavenina hodně pění a často se rozstříkuje.



Se zvyšováním hladiny taveniny ve formě se šíří vířivý pohyb do velké hloubky, až se dosáhne určité polohy, podmíněné energií padajícího proudu.



a



b

Obr. 21. a — bublinky vzduchu pod proudem, b — bublinky v odlitku (prozařování Roentgenovými paprsky)

Dále se při plnění vysoké formy hloubka pásma víru (měřeno od povrchu taveniny) ztelně nemění.

Lze to sledovat v průhledné vazké kapalině: vzduchové bublinky nebo jiná tělíska stržená padajícím proudem krouží v kapalině v určité úrovni pod povrchem. Energie vířivého pohybu uvnitř kapaliny je dána energií, jež byla do kapaliny přivedena padajícím proudem.

Výkon  $N$  pohybujícího se tělesa se určí ze známé rovnice:

$$N = \frac{Mv^2}{2},$$

kde  $M$  je hmota tělesa,

$v$  — rychlost.

Vyjádříme-li hmotu objemem  $Q$  a hustotou  $\rho$  nebo specifickou vahou  $\gamma$ , dostaneme:

$$N = \frac{Q \rho v^2}{2} = \frac{Q \gamma v^2}{2g}.$$

V daném případě je objem  $Q$  pohybujícího se proudu vteřinovým množstvím kovu a lze jej nahradit výrazem:

$$Q = v \cdot F,$$

kde  $F$  je plocha průřezu proudu,

$v$  — rychlost proudu.

Pak bude práce padajícího proudu, a tedy obecně práce potřebná k tvoření víru vyjádřena takto:

$$N = \frac{F \gamma v^3}{2g}.$$

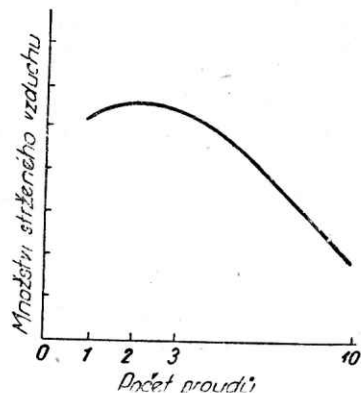
Ze vzorce je vidět, že práce nárazu proudu o kapalinu je úměrná třetí mocnině rychlosti a je tím větší, čím větší je plocha průřezu proudu.

Význam průřezu padajícího proudu byl v praxi pozorován již dávno: plní-li se forma volně padajícím proudem kovu, lije se kov několika tenkými proudy otvory cedítka, jež jsou ve zvláštní nálevce (t. zv. vtok s cedítkem). Tak se na př. lijí ingoty měděných slitin.

Tento jev byl soustavně zkoumán K. I. Akimovovou [7]. Při pozorování vazké průhledné kapaliny se ukázalo, že vzduch bude mnohem méně strháván, bude-li se kapalina do nádoby přilévát nikoliv jedním, nýbrž několika proudy tak, aby úhrnná plocha průřezů byla táž jako při jednom proudě (obr. 22). Pokusy byly konány s kapalinami různé vazkosti.

Přitom bylo pozorováno, že při téže výšce pádu kapaliny vniká vzduch hluboko dovnitř proudu velkého průřezu a do velmi malé hloubky při tenkém proudu.

Pod proudem velkého průřezu se vzduchové bublinky snadno udržují v kapalině ve velké hloubce, kdežto z pod tenkého proudu unikají ihned na povrch.



Obr. 22. Strhování vzduchu při lití taveniny nekrytým proudem (K. I. Akimovová)

Všechny tyto jevy, pokusně stanovené v průhledné kapalině, vznikají i při lití kovové taveniny. Při lití hliníkových slitin volným proudem, na př. při odpichu z pece do pánve, lze vždy pozorovat velké množství bublinek a pěny, která vyplouvá na povrch kolem padajícího proudu.

Pokusy prováděné s průhlednými kapalinami ukazují, že při určité malé výšce pádu nestrhuje otevřený proud, padající na povrch kapaliny, vzduch, nenastal-li dříve nárazem vířivý pohyb.

Ponoříme-li na příklad trubku, z níž vytéká kapalina, nejdříve do kapaliny, a pak ji pomalu vyjímáme, nestrhuje vytékající proud až do určité výšky vůbec vzduch dovnitř kapaliny. Uzavřeme-li však trubku a zvedneme-li ji do téže nebo menší výšky, a pak náhle otevřeme otvor trubky, způsobíme tím náraz proudu na kapalinu; vznikne vír, který s sebou strhává velké množství vzduchu a trvá po celou dobu výtoku. Výška, při níž proud nestrhuje vzduch (není-li počáteční náraz), závisí na mnoha podmínkách výtoku: na povaze proudění — je-li vířivé nebo laminární, na zaoblení výstupního otvoru, na tvaru proudu, na vazkosti kapaliny a j.

Povaha pohybu proudu, t. j. bude-li proudění vířivé nebo laminární, je určena Reynoldsovým číslem z hydrauliky:

$$Re = \frac{dv}{\nu} = \frac{d\varrho}{\eta} = \frac{d\gamma}{\eta g},$$

kde  $d$  je průměr proudu,

$v$  — rychlost,

$\nu$  — součinitel kinematické vazkosti (viskozity),

$\eta$  — součinitel absolutní vazkosti (viskozity),

$\varrho$  — hustota,

$\gamma$  — specifická váha,

$g$  — tíhové zrychlení.

Proudění se stává vířivým, je-li Reynoldsovo číslo vyšší než 2500.

Ze vzorce vyplývá, že Reynoldsovo číslo pro danou kapalinu roste, zvětšuje-li se průměr proudu a rychlost pohybu, a zmenšuje se, zvětšuje-li se vazkost kapaliny.

Vazkost a hustota kapaliny se zmenšují, zvyšuje-li se teplota. Jedna z těchto veličin přijde do čitatele, druhá do jmenovatele vzorce; vliv teploty na způsob proudění závisí tedy na poměrné změně vazkosti a hustoty kapaliny.

Lze očekávat, že dost důležitou úlohu při strhování vzduchu má pevnost kyslíčnicků na povrchu taveniny.

Podle údajů Perreta [8] nenarušuje lití siluminů otevřeným proudem s výšky 300 mm kyslíčnickový povlak, který pokrývá kov; je tedy bezpečné, protože se nestrhuje vzduch.

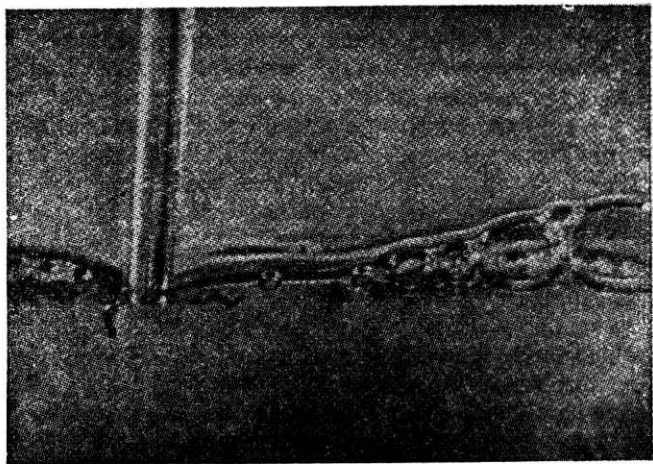
Zvyšováním vazkosti kapaliny lze značně zvýšit tlak bez nebezpečí, že bude strháván vzduch, avšak jen tehdy, nebyly-li v okamžiku počátečního nárazu strženy do proudu vzduchové bublinky.

K vířivým pohybům uvnitř kapaliny dochází prakticky vždycky, což lze pozorovat, jsou-li v průhledné kapalině nějaké rozptýlené částice.

Působením vířivých proudů, jež se objeví v pásnu okolo padajícího proudu, se vytvoří kolem proudu nálevka, do níž vtékají povrchové vrstvy kapaliny a s nimi pěna a struska, jež plovou na povrchu: na obr. 23 je znázorněn okamžik, kdy bublinka klesá do nálevky kolem proudu.

Vířivé proudění, vyvolané uvnitř kapaliny ve vodorovné rovině na př. misidlem, nestrhuje samo vzduch a strusku s povrchu. Vzduch a struska se snadno strhují do víru, který se točí kolem vodorovné osy a dosahuje povrchu (tvoří se pěna na hřebenech vlny. Z pokusů s průhlednými kapalinami s vazkostí blízkou vazkosti kovu (podle údajů S. V. Sergejeva je vazkost hliníku při 750° táž jako u vody, totiž 1 centipoise), lze se zřetelem ke kovům dojít k těmto závěrům, jež jsou potvrzeny i pozorováním ve slévárenské praxi:

a) Náraz proudu na povrch taveniny způsobuje otevřený vír, při němž je strháván vzduch, kyslíčnický a struska s povrchu do taveniny (velké množství pěny při lití hliníkových slitin).



Obr. 23. Okamžik vniknutí bublinky do nálevky pod proudem

b) Čím rychleji padá proud (velká výška), tím více se strhuje vzduch a struska, a tím více se kov oksyduje.

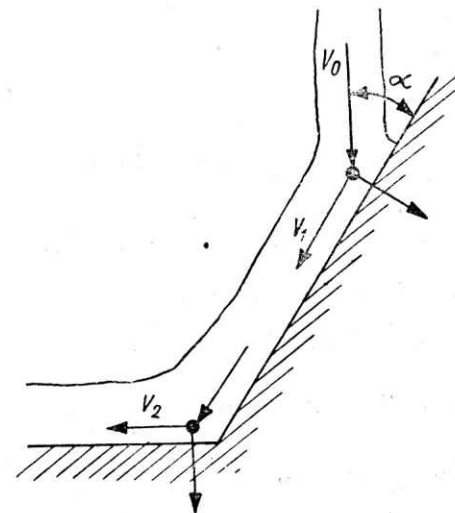
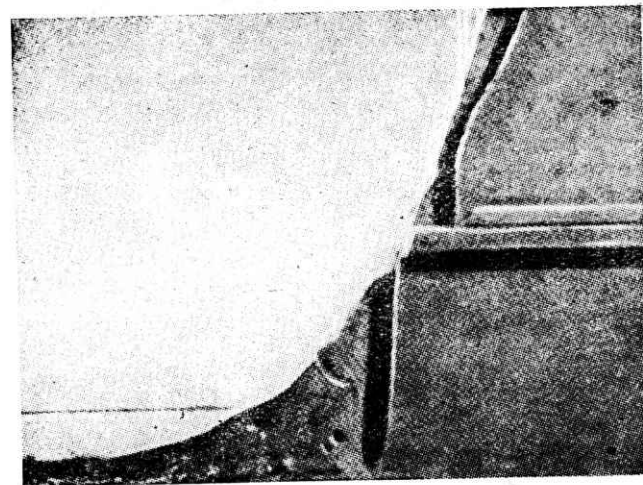
c) Proud velkého průměru strhuje vzduch a strusku do větší hloubky než proud malého průměru; přitom vzduch zanáší kyslíčníky hluboko dovnitř odlitku, jež mohou při rychlém chladnutí zůstat uvnitř odlitku (lítí do kovových forem, zejména pod tlakem).

d) Jsou-li na povrchu kovů, na př. hliníkových slitin, pevné kyslíčnickové povlaky, nemusí být vzduch strhován, padá-li proud kovu s malé výšky (podle Perreta pro silumin nejvýše 300 mm); je to vlastně totéž, jako kdyby se kov přiváděl zavřeným kanálem, aniž se tvořily otevřené, se vzduchem spojené víry.

e) Vířivé pohyby uvnitř kovu pod hladinou, jež nevycházejí na povrch, nestrhují zpravidla vzduch a strusku, ale zabraňují jim vyplouvat na povrch.

Zejména mnoho vzduchu strhuje do taveniny proud, padá-li na taveninu, která je již ve formě. Tomu je třeba věnovat zvláštní pozornost, neboť někdy se dělají vtokové kanály tak, že se kov do dutiny přivádí současně zdola i shora (vtok se zářezy v několika výškách). Je to velmi nebezpečné.

b) *Plnění formy při stékání kovu po stěně.* Srovnáme-li pád kapaliny volným proudem s proudem, který stéká po nakloněné stěně, ukazuje se velký rozdíl v množství strženého vzduchu. Volný proud padající i s malé výšky strhuje s sebou téměř vždy



Obr. 24. Pohyb kapaliny po nakloněné stěně

vzduch dovnitř kapaliny, kdežto proud stékající po nakloněné stěně může padat se značné výšky, aniž viditelně strhuje vzduch. Vysvětluje se to takto:

Stéká-li proud po nakloněné rovině, mění vektor rychlosti svůj směr, čímž se rychlost pohybu zmenšuje (obráz. 24).

Od místa styku svisle padajícího proudu s nakloněnou stěnou teče proud podél stěny rychlostí  $v_1$ , jež se určí z rovnice:

$$v_1 = v_0 \cos \alpha,$$

kde  $v_0$  je rychlost svislého proudu,  
 $\alpha$  — úhel sklonu roviny od svislice.

U dna se směr proudu opět změní a rychlost proudu na dně  $v_2$  bude:

$$v_2 = v_1 \sin \alpha.$$

Určíme-li z posledního výrazu  $v_1$  a dosadíme je do prvního výrazu, dostaneme:

$$v_1 = \frac{v_2}{\sin \alpha}; \quad \frac{v_2}{\sin \alpha} = v_0 \cos \alpha;$$

$$v_2 = v_0 \cos \alpha \cdot \sin \alpha.$$

Zanedbáme-li ztráty způsobené vnitřním třením, bude se síla nárazu, a tedy i výkon virů rovnat přírůstku hybnosti:

$$P = \frac{Q\gamma}{g} (v_0 - v_2) = \frac{Q\gamma}{g} (v_0 - v_0 \cos \alpha \cdot \sin \alpha) = \\ = \frac{Q\gamma}{g} v_0 (1 - \cos \alpha \cdot \sin \alpha)$$

Z tohoto vzorce vidíme, že při úhlu  $\alpha = 90^\circ$ , t. j. při svislé stěně, stejně jako při  $\alpha = 0$ , t. j. při vodorovné stěně, má  $P$  největší hodnotu  $P = \frac{Q\gamma}{g} v_0$ , poněvadž součin  $\cos \alpha \cdot \sin \alpha$  se rovná nule.

Ve všech ostatních případech bude síla nárazu menší, neboť  $\cos \alpha \cdot \sin \alpha > 0$ .

Nejmenší hodnota  $P$  je při úhlu sklonu roviny  $\alpha = 45^\circ$ , kdy

$$\cos \alpha \cdot \sin \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{1}{2}$$

$$P = \frac{Q\gamma}{g} v_0 \left(1 - \frac{1}{2}\right) = \frac{Q\gamma v_0}{2g}.$$

Kromě toho se při pohybu kapaliny po stěně zvyšuje odpor pohybu třením o stěnu.

Perretovy pokusy [8] ukazují, že se zvětšováním úhlu sklonu kanálu, jímž se přivádí na povrch kovu padající proud, se zvět-

šuje bezpečná výška pádu, při níž se netrhá povlak kysličníků kovu.

Tavenina, roztékající se po nakloněné stěně v tenké vrstvě vlivem jednostranného atmosférického tlaku, padá na povrch taveniny, která je již ve formě, poměrně tenkým proudem, a proto působí její náraz na povrch kapaliny do malé hloubky.

Při plnění forem proudem stékajícím po stěně ztráty třením o stěnu, přeměna proudu z tlustého na tenký, zmenšení síly nárazu způsobují, že vír v tavenině nebude velký a půjde jen do malé hloubky.

Lití po nakloněné rovině se používá všude, kde je to možné: ingoty z hliníkových a jiných snadno tavitelných slitin se lijí do nakloněných kokil a kov se vede po stěně; u odlitků, přivádí-li se se kov shora, se snažíme, aby kov stékal po nakloněné stěně atd.

Při lití ingotů z měděných a jiných nesnadno tavitelných slitin se nevede proud po stěně, poněvadž se spaluje nátěr a poškozuje se povrch ingotu.

## 2. Pohyb tekutého kovu vtokovými kanály

Aby se zmenšilo nebezpečí při lití otevřeným proudem pro regulaci rychlosti pohybu kovu, pro zadržení strusky a určité postupné rozdělení kovu v dutině formy tak, aby při začátku krystalizace byla určitá teplota kovu, plní se dutina formy soustavou kanálků, jež se nazývá vtokovou soustavou.

Volba podmínek lití závisí na povaze slitiny, na tvaru odlitku a na požadavcích kladených na výrobek.

V této závislosti je i vtoková soustava. Tvoří-li slitiny při tavení mnoho strusky nebo taví-li se pod tavidly, je hlavním úkolem vtokové soustavy zadržet strusku. Je-li odlitek vysoký a kov padá do dutiny formy velkou rychlostí, takže se může rozstříkovat a strhovat vzduch, požaduje se od vtokové soustavy, aby zmenšila sílu nárazu a zabránila rozstříkování. V některém případě lze přivádět kov pouze do jednoho místa odlitku, jindy je naopak žádoucí umístit vtokové kanálky (zářezy) přivádějící kov na několika místech, aby se nepřehřívalo jedno místo formy a pod.

Podle požadavků kladených na odlitek se mění povaha vtokové soustavy.

I při značné rozmanitosti litých výrobků a požadavků, jež na ně klademe, lze stanovit nějaký (nevelký) počet druhů vtokových soustav, které se liší poměrem rozměrů jednotlivých kanálků, a je



možné jich používat pro větší skupiny slitin a různé druhy odlitků.

Pro objasnění, jaké mají být vtokové soustavy, je nutno probrat:

1. Přejed z volného proudu do kanálku, t. j. do lici jamky a nálevky.

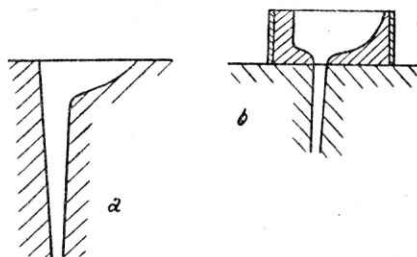
2. Pohyb kovu ve svislých kanálech, t. j. ve vtokových kúlech.

3. Pohyb kovu ve vodorovných kanálech, t. j. v odlučovačích strusky (struskovácích).

4. Pohyb kovu při vstupu do dutiny formy z přírodných kanálků, zvaných zářezy.<sup>1)</sup>

a) *Přejed od volného proudu ke kanálům.* Aby se volně padající proud snadněji zaváděl do vtokového kanálku, je vchod do něho rozšířen ve tvaru nálevky nebo se použije lici jamky ve vyhrazeném vtoku, jenž má ve dně otvor, který se klade přímo nad vtokový kanálek (obr. 25).

Vtokové nálevky nebo lici jamky se však nepoužívá jen proto; tato opatření mají mnohem důležitější úkol.

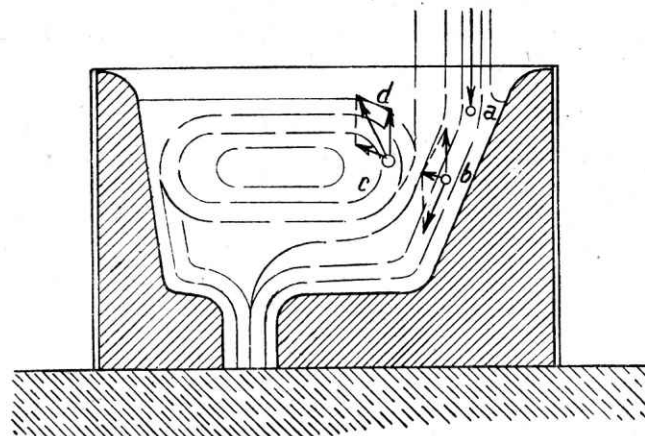


Obr. 25. a — nálevka, b — lici jamka

jamky, kdežto rychlost proudění v kanálku je hlavně určena hladinou kovu nad kanálkem. Změnou směru pohybu proudu kovu v lici jamce a snížením rychlosti na výstupu z vtoku nastanou příznivé podmínky pro zadržení strusky, vzduchu a jiných cizích těles v lici jamce, což lze vidět se schématu na obr. 26.

Proud mění při nárazu o nakloněnou stěnu lici jamky v bodě a svůj směr, při čemž jeho rychlost klesá. Na cizí tělísko, zanesené

<sup>1)</sup> V sovětské literatuře o slévárenství se přibližně v letech 1925—30 nazývají tyto kanálky »napájecími kanálky« (питателі). Tento název je vymyšlen a dělníci ho nepoužívají. Napájením odlitku se však všude myslí odstraňování staženin a porovitosti.



Obr. 26. Schema odstruskování v lici jamce

proudem do bodu b, budou působit dvě síly: síla vztlaku směřující nahoru a síla proudu strhující cizí tělísko ve směru pohybu. Probereme pouze nejčastější případ, t. j. kdy měrná váha cizího tělíska je menší než váha kovu. Působením těchto sil se cizí tělísko přemístí do bodu c.

V bodě c změni proud opět svůj směr, při čemž zase ztratí něco rychlosti, a tělísko, jež se přemístilo z bodu b do bodu c, se bude pohybovat směrem k bodu d. Vířivými pohyby se bude cizí tělísko, zavlčené proudem kovu do lici jamky, ve skutečnosti přemisťovat po mnohem složitější dráze. Uvedené schema však dostatečně osvětluje význam lici jamky a ukazuje, jak jí lze správně využívat.

Lici jamka má mít stěnu skloněnou pod úhlem 45° od vodorovné polohy, neboť tak lze snížit náraz padajícího proudu na polovinu. Proud musí být veden na tuto stěnu a nikdy nesmí směřovat do otvoru vtoku nad kanálkem.

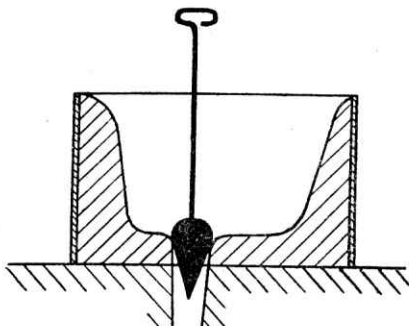
Jamka má být tak hluboká, aby struska a jiné cizí vměsky plovoucí na povrchu nemohly klesnout do otvoru vtoku a vniknout do vtokových kanálků.

Hladina kovu v lici jamce se musí udržovat stálá od prvního okamžiku jejího vyplnění až do konce lití. Jinak může být struska, jež se nahromadila v jamce, zanesena jejím otvorem do vtokových kanálků a dále do odlitku.

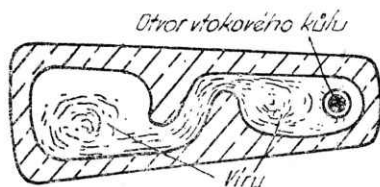
Je třeba mít na zřeteli, že není možno počítat s úplným zadržením veškeré strusky, vzduchových bublinek, kysličníků atd. v lici jamce, je však třeba jí k tomuto účelu využít co nejvíce.

Nejnebezpečnější, pokud jde o možnost zanesení strusky do vtokových kanálků a dále do odlitku, je počáteční období, kdy kov vstupuje do prázdné licí jamky a aniž se zbaví strusky, padá do vtokového kúlu.

Aby se toto nebezpečí odstranilo, lije se z počátku kov z pánve rychleji, aby se rychleji zaplnila licí jamka do potřebné výšky. Lépe je při tom použít »zátek«: před litím se otvor vtoku uzavře vysoko předebrátou kovovou zátkou (obr. 27). Po zaplnění licí jamky kovem se zátku vyjme a kov začne vtékat do vtokové soustavy.



Obr. 27. Schema licí jamky se zátkou



Obr. 28. Licí jamka »labýrintová«

Stejných výsledků se dosáhne, uzavře-li se otvor při lití litiny nebo oceli tenkou ocelovou destičkou nebo hliníkovou destičkou při lití hliníkových slitin a pod. Destička musí být tak tlustá, aby se v kovu roztavila, jakmile se licí jamka zaplní do příslušné výše.

Aby se struska zadržovala v licí jamce, mívá jamka někdy labýrintový tvar (obr. 28). Kov v takové jamce krouží a struska se shromažďuje ve středu vírů.

Rozměry licích jamek se prakticky volí podle rozměrů odlitku, podle rozměru pánve, z níž se odlévají formy, a j.

Při lití malých odlitků se licí jamka vyřizne přímo ve formě (obr. 25 a). V tomto případě zůstane kov po zaplnění formy i v licí jamce. Zvětšením rozměrů jamky se zvýší spotřeba kovu; aby se tomu zabránilo, přemění se licí jamka v nálevku; odstruskovací působení nálevky je však značně menší.

Licí jamku je nejlépe dělat zvlášť ve vyhrazeném vtoku, který se nasazuje na vtokový kanálek (obr. 25 b). V tomto případě se lití kovu z pánve do licí jamky přeruší o něco dříve, než kov za-

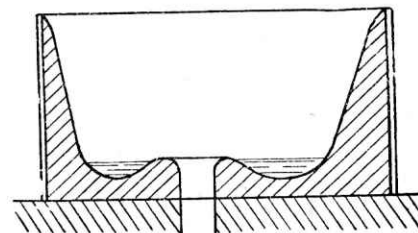
plní veškerý objem dutin ve formě, aby se forma doplnila kovem z licí jamky.

Při takovém uspořádání nestoupne při zvětšení objemu licí jamky zbytečně spotřeba kovu.

Používání velkých licích jamek je účelné zejména tehdy, používá-li se současně zátek. Tím lze v jamce zadržet značné množství kovu, zbavit jej strusky a teprve potom jej vypustit do dutiny formy.

K lití velkých a nejdůležitějších součástí z hliníkových slitin, jako jsou klikové skříně a bloky válců, se mnohdy používá licích jamek se zátkami, jež pojmu veškerý objem kovu potřebný pro daný odlitek. Zátku se z takové jamky vyjímá až tehdy, když se v ní kov po vyjití z pánve uklidní. V tom případě se kov lije do forem, jakmile ustál v jamce. Vypouští-li se kov z licí jamky a zároveň se do ní dolévá z pánve, v jamce se promíchává.

Používá-li se vyhrazených vtoků, je třeba počítat s tím, že z licí jamky vyteče všechen kov — i vrchní vrstvy, znečištěné struskou. Proto musí mít vtokové kanálky takový objem, aby je kov znečištěný struskou, když z licí jamky přešel do vtokových kanálků, nepřelplil a nedostal se do tělesa odlitku. Aby se zmenšilo toto nebezpečí, dělají se licí jamky s poněkud vyvýšeným dnem u otvoru (obr. 29); pak značná část znečištěného kovu, který je nahoře, klesne při vyprazdňování licí jamky a zůstane v ní. Při tom se ovšem spotřebuje určité množství kovu, předchází se však nebezpečí, že se ztratí celý odlitek.



Obr. 29. Licí jamka s vyvýšeným dnem u vtoku k zadržování zbytků znečištěného kovu

při vyprazdňování licí jamky a zůstane v ní. Při tom se ovšem spotřebuje určité množství kovu, předchází se však nebezpečí, že se ztratí celý odlitek.

b) *Pohyb kovu svislými kanálky.* Svislých nebo skloněných kanálků se má používat vždy, když se formy zaplňují pouze silou tíže, neboť v těchto případech je k zaplnění formy třeba, aby kov stékal s vyšší hladiny na nižší.

Taveninu lze přivádět svislým nebo skloněným kanálkem, jenž se nazývá v obou případech vtokovým kulem, dvěma způsoby: při prvním způsobu je kanálek (vtokový kúl) vyplněn taveninou, v druhém případě nikoli.

Zaplněné vtokové kúly. Nejčastěji se vyskytující svislé kanálky (vtokové kúly) mají tvar komolého kužele, jenž

se dolů mírně zužuje. Tento tvar se dává vtokovým kúlům proto, aby se snadněji formovaly.

Proud kovu, přitékající horním otvorem kuželového vtokového kúlu a zaplňující celý jeho průřez při pohybu dolů, se cestou setkává se stále menšími průřezy a zaplňuje je; proto se tedy bude kúl zaplňovat v celém průřezu prvním proudem kovu, jenž do něho vtéká.

V období plnění není výtoková rychlost kovu ze zužujícího se kanálku stálá. Je velká v prvním okamžiku výstupu taveniny z kanálku: tavenina v tomto okamžiku vyrazí tím rychleji vpřed, čím více je zmenšen průřez kanálku a čím větší je počáteční tlak.

Zahne-li se přitom kanálek směrem nahoru, může tavenina vystoupit do výše několikrát větší, než odpovídá počátečnímu tlaku.

Tento jev pro praxi velmi důležitý lze snadno pozorovat na tomto pokusu: do nádoby s kapalinou se ponoří širším koncem kuželovitá trubka, užší konec je zakryt palcem. Potom vzduch uzavřený v trubce nedovolí kapalině zaplnit trubku. Uvolněním palce vnikne kapalina do trubky, v níž vystoupí, po případě vystříkne mnohem výše než hladina kapaliny v nádobě. Vysvětluje se to působením setrvačnosti. Tým jev, avšak v menší míře, lze pozorovat i při pokusu s válcovou trubkou.

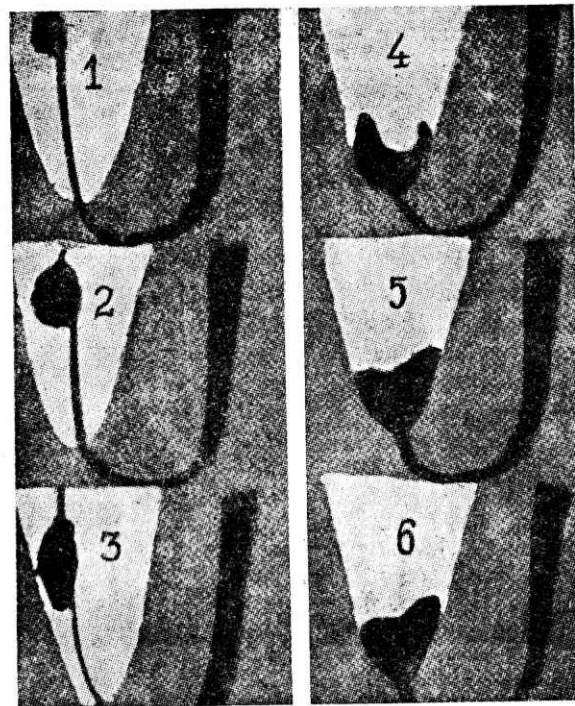
Také jej ukazuje roentgenový filmový snímek plnění formy kovem, kde zužující se rohový kanálek způsobuje, že kov z počátku vystříkne uvnitř dutiny formy do větší výše, než jakou má následující výtok (obr. 30).

Je zcela jasné, jak nežádoucí je vystříknutí kovu uvnitř dutiny formy spojené s rozstříkáváním, okysličováním atd.

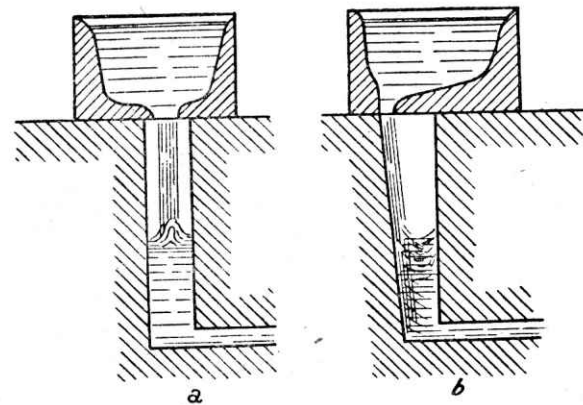
Po počátečním vystříknutí se výtok taveniny ze zužujícího se kanálku ustálí pomaleji; přece však je tato rychlost větší než u válcového kanálku při téže tlaku a ještě větší než u rozšiřujícího se kanálku při stejné počáteční výšce hladiny kovu. Stačí obrátit trubku zúženým koncem dolů, udělat tým pokus a snadno se přesvědčíme, že vystříknutí nenastane, neboť přebytek rychlosti se ztratí přechodem z tenkého do širokého průřezu.

Nezaplňené vtokové kúly. V praxi se někdy setkáváme s pohybem tekutého kovu v nezaplňeném vtokovém kúlu.

Tavenina se může pohybovat v nevyplněném kanálku dvěma způsoby: 1. proud taveniny padá svisle kanálkem většího průřezu, než je průřez proudu (obr. 31 a); 2. proud taveniny stéká po nakloněné stěně kanálku (obr. 31 b).



Obr. 30. Roentgenový filmový snímek vystříknutí kovu na začátku plnění



Obr. 31. Pohyb taveniny v nezaplňeném vtokovém kúlu



Je zřejmé, že v prvním případě proud s sebou strhává do taveniny mnohem více vzduchu než v druhém případě; proto používá-li se nevyplněných kúlů, je třeba udělat je vždy tak, aby kov stékal po nakloněné stěně kanálku.

Rychlost vtékání kovu do nevyplněného kúlu je dána otvorem lící jamky. Pohyb kovu v nezaplněném kúlu se nijak neliší od pohybu kovu volně stékajícím proudem. Přitéká-li do kúlu více kovu, než z něho odtéká, bude výtoková rychlost ze vtokového kúlu určována hlavně výškou hladiny kovu v něm, neboť dynamický tlak stékajícího proudu se většinou spotřebuje na vířivé a neuspořádané pohyby uvnitř taveniny, jež je v kúlu.

Postupným zaplňováním kúlu se příslušně zvyšuje rychlost vytékajícího kovu. Kúl se může vyplnit tak, že jeho dolní průřez je menší než průřez stékajícího proudu, nebo tím, že průtoková možnost kanálků za kulem je menší než přítok kovu do kúlu, nebo konečně tím, že hladina kovu v dutině formy uzavře spodní otvor kúlu a kov bude vytékat pod hladinou: kúl se bude plnit jako spojitá nádoba.

Jedním z nedostatků nevyplněných kúlů je, že se v nich kov velmi okysličuje, když stéká otevřeným proudem.

Odstranění strusky ve vtokových kulech. Odstranit, t. j. zadržet strusku, kysličníky, vzduchové bublinky atd. v zaplněných vtokových kulech lze jen tehdy, je-li rychlost vyplouvání cizího tělesa větší než dolů směřující rychlost proudu unášejícího částici.

Takový případ může nastat, vniklo-li cizí těleso do horního pásma kúlu vlivem přídavného dynamického tlaku proudu, padajícího do vtokového kúlu na př. z pánve; za těchto podmínek v horním pásmu kúlu, dokud se dynamický náraz nespotřebuje na vířivé pohyby uvnitř taveniny, může být rychlost klesání strusky větší než rychlost vyplouvání a struska bude klesat.

Postupně s pohybem proudu kulem dolů se bude vliv nárazu vnějšího proudu stále zmenšovat až do okamžiku, kdy rychlost vyplouvání bude větší než rychlost strhujícího proudu, a struska již nebude klesat.

Ve všech ostatních případech se struska v zaplněném vtokovém kúlu nemůže zadržet. Dostala-li se struska do horního pásma proudu kovu ve vtokovém kúlu, protože její rychlost vyplouvání je menší než rychlost unášecího proudu, nelze očekávat, že se změni podmínky ve spodních pásmech vtokového kúlu.

Ve vtokových kulech, jež se zužují směrem dolů, se rychlost proudu zvětšuje a podmínky pro vyplouvání strusky jsou ještě více ztíženy.

Kov protéká zužujícími se vtokovými kule v celém průřezu a nelze v nich, kromě uvedeného případu, zadržet strusku; všechno, co bylo strženo dospodu zužujícího se vtokového kúlu, bude spláchnuto dolů.

Jiné podmínky má struska zanesená kovem do širokého a pomalu se zaplňujícího vtokového kúlu.

V tomto případě je průřez vtokového kúlu větší než průřez do něho stékajícího proudu a struska stržená proudem se dostává ve vtokovém kúlu pod hladinu kovu, pohybujícího se pomaleji, a může se ve vtokovém kúlu zadržet.

Postupně s vyplňováním takového vtokového kúlu může stékající proud strhovat strusku do stále menší hloubky, takže nebezpečí, že struska pronikne do míst ležících za vtokovým kulem, se stále zmenšuje.

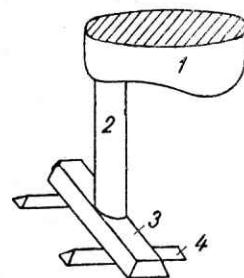
Nezaplněného vtokového kúlu lze proto využít ve vtokové soustavě jako struskováku.

c) *Pohyb kovu vodorovnými vtokovými kanálky.* Strusková k. Aby bylo možno přivádět kov do dutiny formy na několika místech rozložených ve vodorovné rovině, je forma několika zářezy spojena s vodorovným kanálkem, ležícím za vtokovým kulem (obr. 32). Tohoto kanálku se používá i pro zadržování strusky, jež protekla ze vtokového kúlu.

Takový kanálek se nazývá struskovák nebo odlučovač strusky (rusky kolektor).<sup>1)</sup>

Probíráme-li pohyb kovu struskovákem, je třeba rozlišovat dvě období: kdy struskovák není zaplněn kovem a kdy je zaplněn kovem.

Struskovák může být zaplněn prvním proudem kovu postupujícím ze vtokového kúlu, je-li průřez tohoto proudu větší než průřez struskováku, proud není zúžen, poněvadž okraje přechodu ze vtokového kúlu ke struskováku jsou zaobleny. Není-li vtokový kúl až na konci struskováku, nýbrž někde v jeho středním pásmu, jako na př. na obr. 32, je k zaplnění struskováku prvním proudem kovu třeba, aby průřez vtokového kúlu byl více než dvakrát větší, než je průřez struskováku.



Obr. 32. *Schema vtokové soustavy:*  
1 — lící jamka,  
2 — vtokový kúl,  
3 — struskovák,  
4 — zářezy

<sup>1)</sup> Odlučovači strusky se nazývají rovněž přidané dutiny, určené k shromažďování strusky.



S takovým poměrem mezi vtokovým kulem a vodorovnými kanálky se setkáváme pouze při lití pod tlakem na zvláštních strojích.

Při lití odlitků a při lití několika ingotů z jednoho vtoku se s takovým poměrem vtokového kule a struskováku téměř nesetkáváme, a proto se struskovák nezaplňuje prvním proudem kovu, který do něho vtéká.

V takových případech se struskovák plní takto: proud kovu, který vtéká do struskováku a nezplní jej, se pohybuje ve struskováku velmi rychle, dojde až do jeho konce a nárazem na stěnu ztrácí svoji rychlost, která se mění v tlak. Tím se hladina kovu u stěny zvedá do výše odpovídající ztrátě rychlosti a tvoří vlnu, která začíná postupovat dozadu směrem ke vtokovému kule.

Jakmile se vracející vlna přimkne k proudu, který vytéká ze vtokového kule, plní se struskovák dále, aniž se tvoří nové vlny, a hladina kovu ve struskováku se stejnoměrně zvedá po celé délce.

Odchylku od tohoto pravidla tvoří velmi vazké taveniny. Kanálky se v tomto případě zaplňují jedním proudem a jeho volný povrch plynule klesá podle toho, jak se vzdaluje od vtokového kule.

U kovů je takový pohyb tehdy, když jejich teplota klesla na likvidus.

Po zaplnění struskováku se v něm pohybuje kov podle tlaku, jenž se řídí hladinou kovu v lici jamce, délkou struskováku a polohou zářezů. Vcelku je směr pohybu v kanálku zachován; nyní však hlavní proud kovu neteče do konce struskováku, nýbrž se za posledním zářezem, počítáno od vtokového kule, poněkud zatáčí, otáčí se nazpět a vtéká do tohoto zářezu. Zároveň protéká příslušná část kovu i zářezy, jež leží blíže ke vtokovému kule.

Při dost velkém tlaku a nepřiliš dlouhém struskováku prochází velké množství kovu mimo zářezy ležící blíže ke vtokovému kule a vytéká vzdálenějším zářezem. Při malém tlaku a delším struskováku se může stát, že větší množství kovu neprojde vzdálenějším, nýbrž kterýmkoli středním zářezem.

Vysvětluje se to tím, že po výstupu ze vtokového kule protéká kov struskovákem větší rychlostí. Ze zářezů kolmých ke struskováku nevytéká kov stejnou rychlostí, nýbrž rychlostí odpovídající tlaku taveniny v hladině zářezů.

V okamžiku, kdy proud kovu narazí na stěnu u konce struskováku, ztratí úplně rychlost, avšak zvýší se v něm tlak úměrně

k této ztrátě; vraceje se od stěny ke vtokovému kule, dochází především k zářezu ležícímu nejbližší ke konci struskováku.<sup>1)</sup>

Odstranění strusky ve vodorovném kanálku. Tím, že se struska oddělí na povrch proudu kovu pohybujícího se struskovákem a že se tam zadrží, se dostatečně zabraňuje strusce vniknout zářezy do těla odlitku. Proto je třeba prozkoumat podmínky, na nichž závisí rychlost oddělování cizích těles na povrch proudu, a okolnosti, jež podporují strhování těchto těles ze struskováku do zářezů.

Těleso lišící se měrnou vahou od měrné váhy kovu, zanesené do vrstvy tekutého kovu, se bude snažit vyplavat na povrch nebo klesnout na dno podle toho, je-li jeho měrná váha menší nebo větší než měrná váha kovu.

Cizí tělesa mají většinou menší měrnou váhu a vyplouvají na povrch kovu.

Rychlost vyplouvání nebo usazování cizího tělesa je určována vztlakem a odporem kapaliny.

Vztlak závisí na rozdílu měrných vah tělesa a kapaliny, kdežto odpor prostředí na vazkosti kapaliny, na povrchu tělesa a na rychlosti, jakou se těleso přemísťuje.

Pozorování ukazují, že se při vnesení cizího tělesa do kapaliny z počátku po velmi krátkou dobu těleso pohybuje zrychleně, načež se začíná pohybovat rovnoměrnou rychlostí. To je důkazem, že se všechny síly vyrovnaly.

Pak je možno napsat, že se vztlak rovná rozdílu vah tělesa a kapaliny stejného objemu:

$$P = Q \gamma_1 - Q \gamma_2 = Q (\gamma_1 - \gamma_2).$$

Odpor prostředí se podle pokusů Stokesa pro kruhová tělesa s poloměrem až 0,1 mm stanoví podle vzorce:

$$P_p = 6 \pi r v \eta,$$

kde  $v$  je rychlost pohybu tělesa,

$r$  — poloměr tělesa,

$\eta$  — součinitel vazkosti prostředí.

Po vyrovnání sil bude pak rovnice:

$$Q (\gamma_1 - \gamma_2) = 6 \pi r v \eta,$$

z níž se určí rychlost vyplavávání:

<sup>1)</sup> Pohyb kovu vodorovným kanálkem byl v SSSR filmován. Viz učební film »Základy slévárenství«, část II. — Plnění forem.

$$v = \frac{Q(\gamma_1 - \gamma_2)}{6\pi r \eta},$$

nebo pro částici kulovitého tvaru:

$$Q = \frac{4}{3} \pi r^3;$$

$$v = \frac{4\pi r^3(\gamma_1 - \gamma_2)}{3 \cdot 6\pi r \cdot \eta} = \frac{2r^2(\gamma_1 - \gamma_2)}{9\eta}.$$

Podle Grosshafa je odpor prostředí pro větší částice úměrný rychlosti nikoliv lineárně jako ve vzorci Stokesově, nýbrž kvadraticky, a je vyjádřen vzorcem:

$$P_p = KS \frac{v^2}{2g} \eta,$$

kde  $S$  je průmět obrysu tělesa na plochu kolmou ke směru pohybu, kdežto součinitel  $K$  vyjadřuje vliv drsnosti tohoto povrchu;  $\eta$  je součinitel vazkosti prostředí; pak bude podle předchozího:

$$Q(\gamma_1 - \gamma_2) = KS\eta \frac{v^2}{2g},$$

z toho:

$$v = \sqrt{\frac{Q(\gamma_1 - \gamma_2) 2g}{KS\eta}},$$

nebo pro tělesa kulového tvaru:

$$Q = \frac{4}{3} \pi r^3 \text{ a } S = \pi r^2;$$

$$v = \sqrt{\frac{4\pi r^3(\gamma_1 - \gamma_2) 2g}{3\pi r^2 K\eta}} = \sqrt{\frac{8r(\gamma_1 - \gamma_2) g}{3K\eta}}.$$

Z těchto výrazů vyplývá, že rychlost vyplouvání těles v daném kovu je: 1. úměrná rozdílu měrné váhy tělesa a kovu, 2. se zmenšováním rozměrů částic rychle ubývá ( $r^2$ ) a 3. závisí rovněž na vazkosti kovu, t. j. na jeho teplotě.

U větších těles závisí rychlost vyplouvání mnohem méně na objemu.

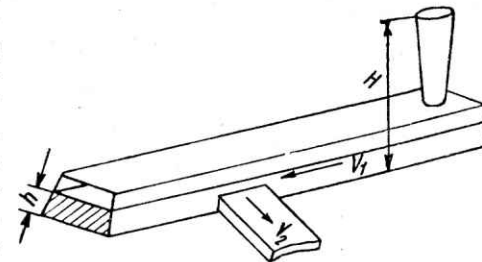
V pohybující se kapalině působí na těleso ponořené do kapaliny nejen vztlak směřující svisle, nýbrž i rychlost pohybu proudu. Dokud se kov pohybuje v nezaplňném struskováku, je střední

rychlost pohybu  $v_1$  větší než rychlost  $v_2$  v zářezech, poněvadž rychlost  $v_2$  není dána celým tlakem od hladiny kovu v lici jamce, nýbrž pouze výškou  $h$  hladiny kovu v nezaplňném struskováku nad zářezy (obr. 33). Kromě toho se rychlost ve směru kolmém ke struskováku objevuje pouze proti každému zářezu. Po zaplnění struskováku bude rychlost v zářezech odpovídat plnému tlaku od hladiny v lici jamce  $H$  a nyní bude větší (obr. 35).

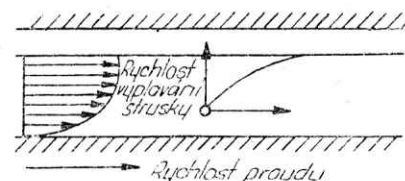
V nezaplňném struskováku se struska pohybuje vlivem skládání rychlosti proudění a rychlosti vyplouvání po křivce znázorněné na obr. 34.

V zaplněném struskováku se rozložení rychlosti podél struskováku a podél zářezů značně liší od rozložení rychlostí ve struskováku nezaplňném, poněvadž od okamžiku zaplnění je tlak před zářezy určen výškou kovu v lici jamce. Od tohoto okamžiku se rychlost v zářezech, t. j. kolmo k rychlosti proudu ve struskováku, zvětšuje proti rychlosti v nezaplňném struskováku, a na cizí těleso, jež je v proudu, má kromě rychlosti vyplouvání vliv také proudění oběma směry, totiž rychlost proudění ve struskováku a proudění, které unáší těleso spolu s kovem do zářezů. Toto poslední proudění nepůsobí po celé délce struskováku, nýbrž pouze v určitém pásmu proti každému zářezu, neboť průřez struskováku je poněkud větší než průřez zářezu (obr. 35). Objem pásma »ssání«, kde rychlosti dostávají směr čar jdoucích k zářezu, se zvětšuje se zvětšováním tlaku, poněvadž roste i střední rychlost výtoku ze vtokové soustavy.

V koncích struskováku, jež jsou za zářezem, kde se pohyb kovu zastavil, se projevuje ssání zářezu tím, že kov teče zpět k zářezům a doplňuje se z horních vrstev struskováku (obr. 35), čímž vznikají víry.

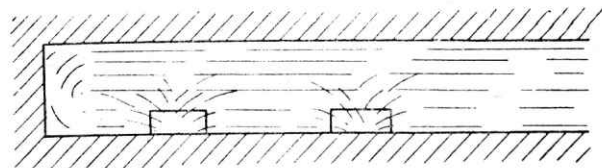


Obr. 33. Výtoková rychlost ze zářezů při nezaplňné soustavě



Obr. 34. Pohyb strusky v proudu

Všechna cizí tělesa zanesená proudem kovu do struskováku nebudou strhována do zářezu, jsou-li nad pásmem ssacího účinku zářezů nebo jsou-li vůbec mimo pásma ssání, na př. vzdálila-li se dost daleko do slepých koutů struskováku. Struska procházející blízko pásem ssání může být stržena do zářezu a dále do tělesa odlitku, bude-li rychlost proudění ve směru zářezů dost velká se zřetelem k rychlosti pohybu částic podél struskováku.



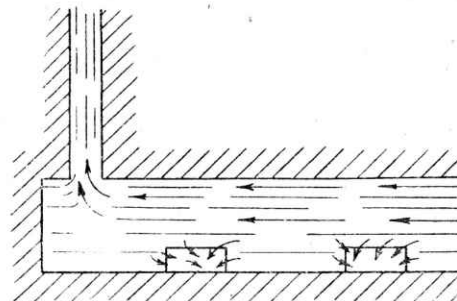
Obr. 35. Ssání zářezů v zaplněné soustavě

Z toho lze vyvodit, že pro oddělení strusky a ostatních těles ve struskováku budou příznivější podmínky před zaplněním struskováku, poněvadž v tomto období je výtoková rychlost kovu ze zářezů poměrně malá, a není tedy velký ani odpovídající ssací účinek zářezů. Čím větší je průřez a objem struskováku proti průřezu proudů vytékajících ze zářezů, tím příznivější jsou podmínky pro zadržení strusky ve struskováku, poněvadž poměr objemů pásem ssání do zářezů k celému objemu struskováku bude menší.

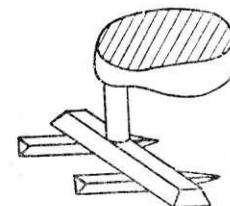
Je jasné, že všechno, co bylo řečeno o vlivu rozměrů na rychlost vyplouvání, o tvaru strusky a rozdílu měrných vah kovu a struskových vměsků, platí plnou měrou nezávisle na tom, je-li či není-li zaplněn struskovák. Čím větší je rychlost vyplouvání, tím příznivější jsou podmínky pro zadržení cizích těles ve struskováku.

Jak již bylo uvedeno, ustává po vyplnění struskováku ve slepých koutech, jež jsou za posledním zářezem, pohyb ve směru podél struskováku. Nastává dokonce zpětné proudění ssacím účinkem zářezu; poněvadž na poslední zářez nebo konec struskováku působí zvýšený tlak, je jeho ssací účinek větší než u druhých zářezů. Aby se tento nežádoucí jev odstranil, je třeba na konci struskováku zřídit svislý kanál, t. zv. výfuk (obr. 36), který se bude zaplňovat zároveň s vyplňováním dutiny formy. Pak bude kov stále proudit struskovákem a ssací účinek zářezů se vyrovná.

Umístí-li se zářez přímo proti vtokovému kúlu, bude na něj působit největší tlak a první proud kovu, narazivší na dno struskováku pod vtokovým kúlem, vběhne do tohoto zářezu velkou rychlostí. Bude to totéž, jako by byl vtokový kúl připojen přímo k tomuto zářezu a cizí tělesa, která proudí spolu s kovem, se nikde nezachytí.



Obr. 36. »Struskový« výfuk



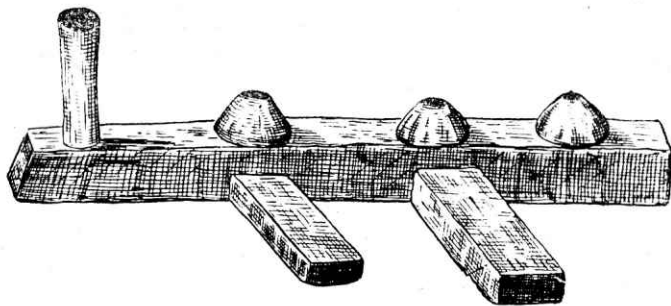
Obr. 37. Vtoková soustava se zářez pod struskovákem

Zářezy umístěné přímo na koncích struskováku nebo příliš blízko u nich mohou dát rovněž nežádoucí výsledky: nahromadí se tam mnoho strusky zanesené sem kovem, který proudí struskovákem. Kromě toho v okamžiku, kdy kov narazí na zadní stěnu struskováku, ztrácí rychlost, vzniká velký tlak a kov příliš rychle potече zářezem do dutiny formy a strhne s sebou strusku.

Velmi často se zářezy připojují ke struskováku tak, že leží pod jeho dnem (obr 37). Leží-li struskovák a zářez v dělicí ploše formy, umístí se struskovák ve svršku formy a zářez ve spodku. Není to příliš účelné: kov, který teče po dnu struskováku a setká se se žlábkem zářezu, narazí na jeho stěny a předčasně proudí do zářezu. Lepší je vyříznout struskovák i zářez ve vrchním rámu.

Počítáme-li se ssacím účinkem zářezů, je účelné udělat ve struskováku nad zářezem slepý lapač strusky (obr. 38). Tohoto opatření se často používá při lití hořčíkových slitin, jež se taví s velkým množstvím tavidel, a proto je zde zvlášť velké nebezpečí, že se jimi odlitky znečistí.

**Zářezy.** Zářezy, jimiž se přivádí kov do dutiny formy, odbočují ze struskováku jako štěrbinové kanálky malé výšky; čím jsou totiž nižší proti výšce struskováku, tím více strusky může vyplavat nad průřez zářezů a dostat se ze ssacího pásma.

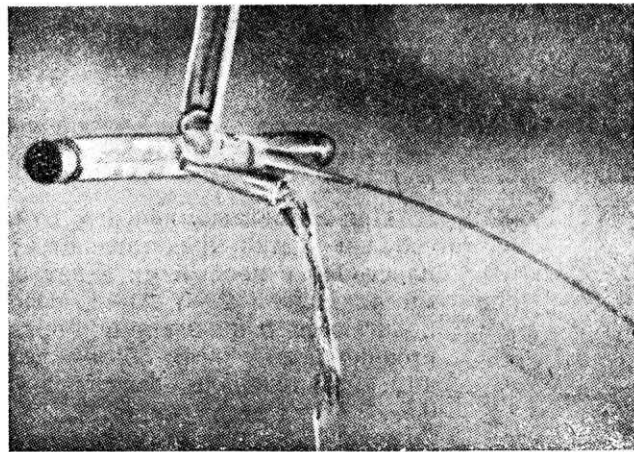


Obr. 38. Vřetková soustava se slepými lapači strusky nad zářezy

Zářezy, jimiž se přivádí kov do tělesa odlitku, nejsou opatřeny odlučovací struskou.

Mívají různý tvar. Pro lití hliníku a hořčíku bývá průřez obdélníkový, tvaru ploché šterbiny, vyříznuté u dna s boku struskováku. Při lití šedé litiny a bronzu se často setkáváme se zářezy půlkruhového nebo trojúhelníkového průřezu. V tomto případě jsou zářezy při téže ploše průřezu vyšší než šterbinové zářezy; je lepší zvětšovat plochu průřezu zářezu tak, aby se nezvětšovala výška, t. j. zvětšovat šířku šterbiny.

Velmi účelné je plynule rozšiřovat šterbinové zářezy směrem k odlitku; lze tak zmenšit rychlost proudu kovu ve výstupu ze zářezů do dutiny formy.



Obr. 39. Vřetok z rozšiřující se a zužující se trubky

Na obr. 39 je fotografický snímek skleněného modelu zářezů, znázorňující vřetok při určitém počátečním tlaku ze zužujícího se zářezu a ze zářezu, jehož průřez se rozšiřuje. Ze snímku je vidět, že z malého otvoru vytéká kapalina velkou rychlostí a je vrhána daleko kupředu, kdežto z rozšířeného otvoru vytéká širokým proudem a není vystřikována daleko od zářezu.

d) Další opatření pro lepší odstranění strusky ve vřetkových soustavách. Zmenší-li se lineární rychlost proudění kovu ve struskováku, zlepšuje se podmínky pro odstruskování. V převážné většině případů se však rychlost pohybu kovu snižuje v praxi přijatými dalšími opatřeními.

Výstupní rychlost z vřetkového křlu se snižuje různým způsobem.

Jedním z nich je použití nezaplňovaných vřetkových křlů: v tomto případě je výstupní rychlost z vřetkového křlu z počátku podmíněna rychlostí stěkání po nakloněné stěně, později po zaplňování struskováku však tlakem, který je určen hladinou kovu ve vřetkovém křlu. Se zaplňováním vřetkového křlu tato hladina postupně stoupá a zároveň s tím roste i výstupní rychlost proudícího kovu z vřetkového křlu.

Zvětšením délky vřetkového křlu, a tím i zvětšením odporu třením o stěny se může značně snížit výstupní rychlost z vřetkového křlu. Proto se vřetkové křly dělají nakloněné, rohové nebo klikaté (obr. 40).

Zvětšení povrchu vřetkového křlu má též účinek, a proto mívá vřetkový křl průřez plochého obdélníku nebo se dokonce jeden vřetkový křl rozděluje na několik plochých kanálků (obr. 41). Tohoto druhu vřetkových křlů se používá při lití velkých odlitků z hořčíkových slitin.

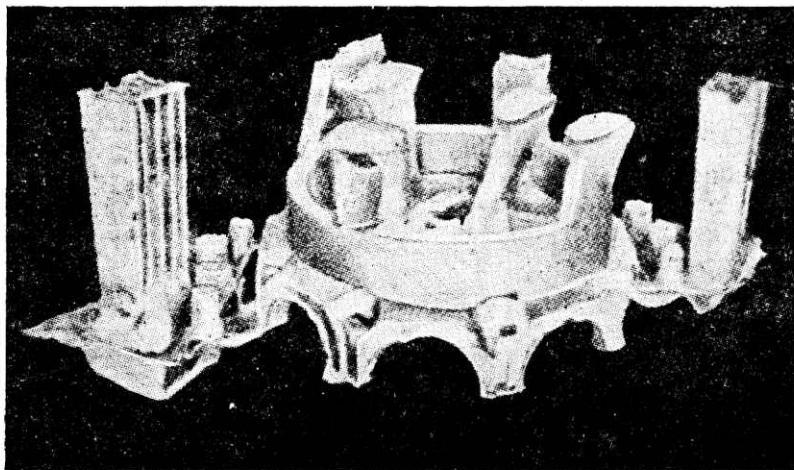
Rychlost kovu se snižuje, použije-li se ve vřetkových křlech cedítek.

Při lití hliníkových a hořčíkových slitin jsou cedítka z ocelových destiček, v nichž jsou proraženy otvory s průměrem 2 až 3 mm. Otvory jsou rozmístěny šachovnicovitě a jsou od sebe obvykle

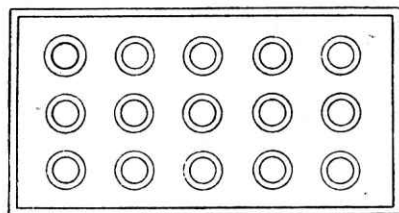


Obr. 40. Schema zvlněného vřetkového křlu





Obr. 41. Odlitek z hořčikové slitiny se štěrbinovým vtokovým kulem

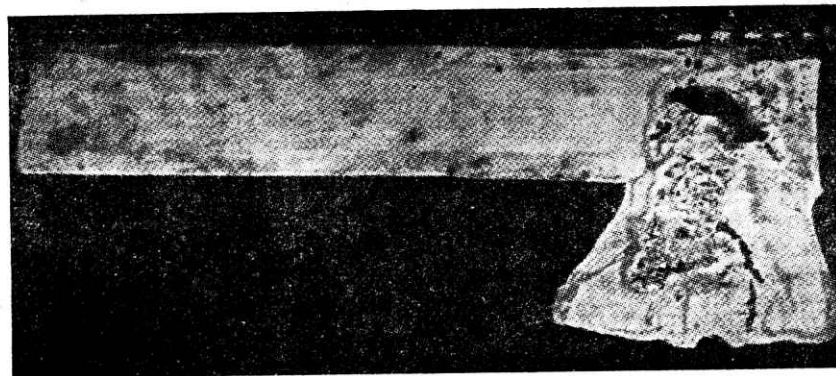


Obr. 42. Obdélníkové cedítka

vzdáleny tak, aby plocha otvorů zaujímal 0,5 až 0,7 plochy cedítka. Pro litinu, bronzy a ocel se používá rovněž cedítka, která se však dělají z formovacího písku ve tvaru destiček tlustých 10 až 15 mm. Otvory mají průměr 6 až 12 mm a v cedítku jich bývá 6 až 8, zřídka kdy více než 15 (obr. 42).

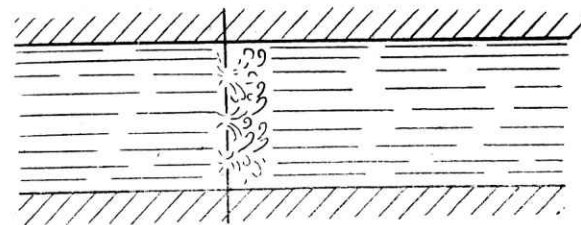
Úkolem cedítek není jen zadržovat struskové vměsky, jež jsou rozměrově větší než průřez otvorů v cedítku: má-li cedítka otvory 2 až 2,5 mm, může se ve struskovacích někdy objevit velmi mnoho pěny, bublinek a kyslíčků (obr. 43), jejichž rozměry jsou mnohem větší než průměr otvorů; nelze proto očekávat, že se struska zadrží cedítkem s otvory 7 až 8 mm. Přesto však praxe ukazuje, že se použitím cedítka zmenšuje bublinatost a struskovitost odlitků.

Činnost cedítka lze vysvětlit takto: postavíme-li proud, v němž se vznášejí cizí tělíska, do cesty tenkou stěnou s malými otvory, budou proudnice před stěnou směřovat k otvorům (obr. 44), kdežto při výstupu z otvorů bude proudění ovlivněno náhlým rozšířením průřezu, jež způsobuje náhlou ztrátu rychlosti, a přímo za cedítkem se vytvoří oblast vířivého proudění; tím se



Obr. 43. Pěna a kyslíčníky ve struskováku za cedítkem vloženým pod vtokovým kulem (hliníková slitina)

zmenší rychlost pohybu struskových vměsků a struska se zadrží za cedítkem ve struskováku. Cedítka působí podobně jako mříže a štíty, jež se stavějí podél železničních tratí jako zábrany proti sněhovému závějím; na téže zásadě je založeno ústrojí filtrů, lapačů prachu a j.

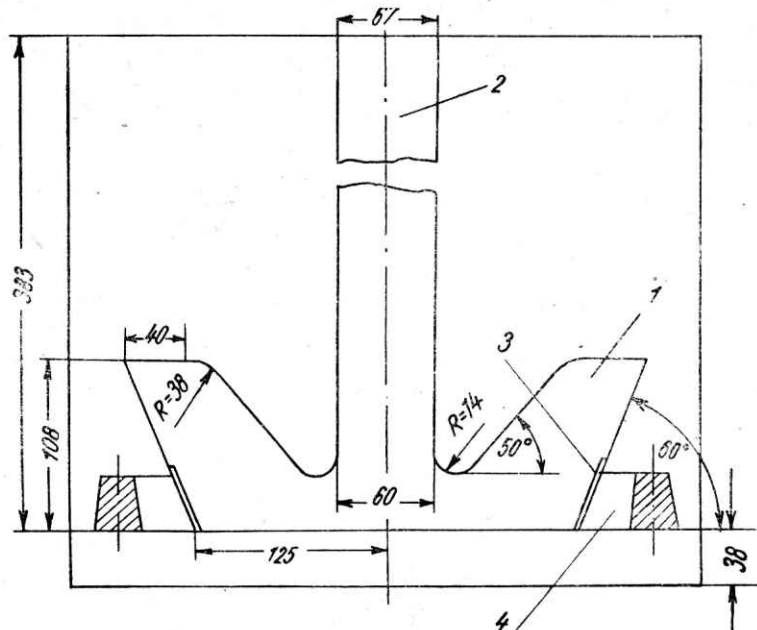


Obr. 44. Schema působení cedítka

Cedítka se dávají buď pod lící jamku, nebo do spodku vtokového kúlu, nebo do struskováku. V nezaplněných soustavách je nejúčelnější dávat cedítka do struskováku, poněvadž v nich jsou vystaveny menším rychlostem proudění a cizí vměsky budou přicházet k cedítku pomaleji a budou tedy menší silou strhávány do jeho otvorů.

Bublinky vzduchu strženého při lití, tekutá struska a tavidla jsou velmi pohyblivá tělíska; i když jsou větší než průměry otvorů v cedítku, deformují se a mohou těmito otvory projít,

jsou-li k cedítce přitlačena velkým tlakem. Tvrdé povlaky kyslíčků, jsou-li dostatečně pružné, mohou projít mnohem menšími otvory, než jsou jejich rozměry. Povlaky se před výtokovými otvory vytahují ve směru proudnic a mění se v protáhlé tenké zkroucené snůry, jejichž příčný průřez je menší než otvor. Výtok velkou rychlostí je pomáhá protlačovat otvory.

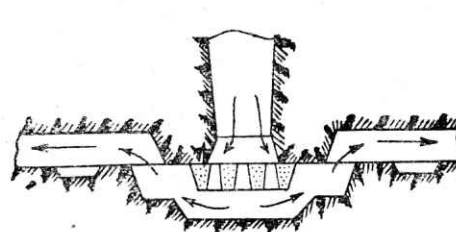


Obr. 45. Cedítka a lapač strusky ve struskováku: 1 — lapač strusky, 2 — otokový kůl, 3 — cedítka, 4 — struskovák

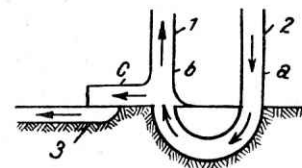
Dává-li se cedítka do struskováku, musí se sklonit šikmo ke struskováku. Tak lze využít odrazné schopnosti destičky: struska, přicházející k destičce s proudem kovu, odrazí se směrem vzhůru, kde se má umístit dodatečný lapač strusky (obr. 45). Kromě toho umožňuje šikmá poloha cedítka ke vtokovému kůlu zvětšit průtok, neboť v průřezu struskováku bude větší počet otvorů. Konečně šikmé umístění cedítka zvětšuje ztráty lineární rychlosti tím, že mění směr pohybu kovu při průchodu otvorem, ležícím šikmo k proudu.

Umístění cedítka před zářezy nepomůže jejich odstruskování, poněvadž se zářezy hodně promývají kovem, avšak náraz při

výstupu se zmenší. Změny směru pohybu kovu se často používá ke snížení lineární rychlosti proudění, a tím i k zlepšení podmínek odstruskování ve slévárnách šedé litiny.



Obr. 46. Vtoková soustava s několikanásobnou změnou směru proudu



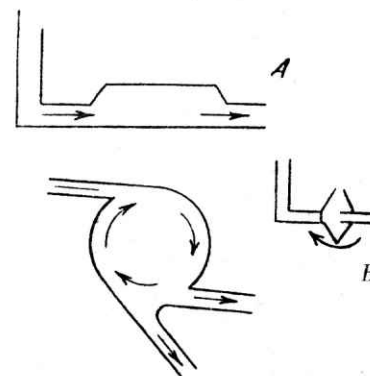
Obr. 47. Rohový tok se struskovým výfukem: 1 — struskový výfuk, 2 — vtokový kolík, 3 — zářez

Na obr. 46 je nakreslena vtoková soustava s několikanásobnou změnou směru proudu.

Je známo mnoho jiných řešení vtokových soustav, jako je na př. způsob, znázorněný na obr. 47, kde se vhodně využívá skládání rychlostí strusky a kovu s odváděním strusky do výfuku.

Zadržování strusky ve vtokové soustavě lze zlepšit, využije-li se odstředivé síly točivého proudu. Proto se kov vede do takových kanálů, v nichž dostává točivý pohyb; tím se cizí tělesa dostávají do středu víru, kdežto vyčištěný kov se odebrá na obvodu otáčejícího se proudu.

Jako příklad je na obr. 48 znázorněn odstředivý lapač strusky. Pro lepší odvádění kovu a lepší oddělení strusky se doporučuje dát odstředivému lapači tvar jako na obr. 48 B. V tomto lapači strusky se kov z počátku roztočí, a pak začne postupovat do zářezů. Pád kovu dolů do kuželové části urychlí jeho roztočení. Kužel v horní části je výhodný, protože podle zaplňování lapače strusky bude struska, která se zatím shromáždila uprostřed, stoupat nad zářezy a v době, kdy se rychlost pohybu ke konci lití zmenší, bude již struska nad nimi.



Obr. 48. Uspořádání plochého odstředivého lapače strusky

e) *Přívod kovu do svislých ploch.* Kov se do vodorovných ploch přivádí nejjednodušeji při lití do pískových forem, jež mají většinou vodorovné dělicí plochy, v nichž jsou i vtokové kanálky. Jinak je tomu při lití do kovových forem, u nichž se naopak vyskytují téměř vždy svislé dělicí roviny. Někdy je třeba přivádět kov do dutiny formy v různé úrovni, neboť se tím vytvoří příznivější podmínky při tuhnutí odlitku. Proto se vtokové soustavy rozložené na svislých plochách poměrně hodně rozšířily. Na obr. 49 vlevo je znázorněna soustava, u které jsou zářezy vedeny přímo z vtokového kůlu, kdežto vpravo jsou vedeny ze struskováku, umístěných ve vodorovné ploše.

Vtokové soustavy podle levého nebo pravého uspořádání musí být konstruovány podle zásady nezaplněných soustav, t. j. lící jamka musí mít výstupní otvor s menším průřezem, než je průřez vtokového kůlu nebo struskováku, kdežto zářezy musí mít takový průřez, aby se vtokový kůl (podle levého uspořádání) nebo struskovák (podle pravého uspořádání) zaplňoval kovem touž rychlostí, jakou stoupá hladina kovu v dutině formy, nebo alespoň, aby hladina kovu ve vtokové soustavě byla jen o málo vyšší než hladina kovu v dutině formy. Toho lze dosáhnout tím, že se celkový průřez zářezů dělá větší než průřez otvoru v lící jamce nebo se rovná tomuto průřezu.

Použití zaplněných vtokových soustav vede nutně k tomu, že ihned po zaplnění vtokového kůlu nebo struskováku protéká kov současně všemi zářezy. V dutině formy poteče jedním průřezem několik proudů najednou. Tím se může strhávat vzduch a kyslíčníky do odlitku.

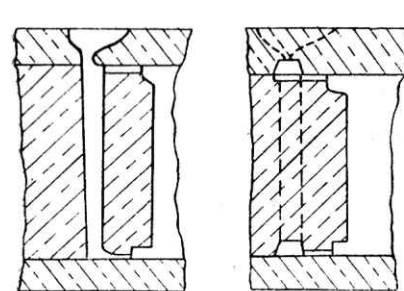
Při nezaplněné soustavě bude kov vstupovat do dutiny formy z vtokového kůlu spodním zářezem; když se hladina kovu ve formě zvedne, zvedne se také hladina ve vtokovém kůlu; v okamžiku, kdy kov začíná vytékat vrchním zářezem, se hladina v dutině formy k němu přiblíží a proud nenarazí na povrch. U dalších zářezů se bude týž jev opakovat.

Již jsme se zmínili o tom, že lze zbavit kov strusky v nezaplněném svislém kanálu; proto je v mnoha případech možné připojit zářezy přímo ke vtokovému kůlu, avšak použití struskováku (obr. 49 vpravo) zlepší podmínky odstruskování, i když se zvýší spotřeba kovu.

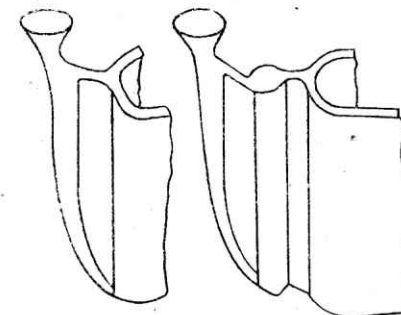
Při lití do kovových forem (kokil) nebývá nejnebezpečnější struska, nýbrž vzduchové bublinky strhávané padajícím proudem kovu ve vtokové nálevce a vtokovém kůlu a zanášené do odlitku. Tento jev těsně souvisí s použitím zužujících se vtokových kůlů, přecházejí-li nálevky postupně do vtokového kůlu:

proud kovu strhává při plnění takové soustavy při svém pádu vzduch a vnáší jej do tělesa odlitku. Změní-li se soustava na nezaplněnou (obr. 49), přestane se strhávat vzduch a počet zmetků způsobených bublinatostí se značně sníží.

Mezi svislé soustavy patří i takové, do nichž se kov přivádí zářezem, jímž jsou vtokový kůl a lapače strusky spojeny s dutinou formy spojitou svislou šterbinou (lišťový vtok, obr. 50).



Obr. 49. Přívod kovu do svislých ploch



Obr. 50. Svislé šterbinové vtoky

Nezbytnou podmínkou správného využití lišťové vtokové soustavy je, aby se vtokový kůl nezaplnil, dokud se zcela nezaplní dutina formy. Použije-li se zužujícího se vtokového kůlu, který se zaplní prvním proudem kovu, bude kov ihned vytékat svislým zářezem po celé jeho výšce a bude padat neuspořádaně do dutin formy. Za těchto podmínek budou vzduch a kyslíčníky téměř určité strhovány již v dutině formy. Použije-li se nezaplněného vtokového kůlu, lze v něm odloučit strusku; často se však dělá ještě lapač strusky (obr. 50). Je to váleček jdoucí svisle podél celé lišty a vystupující poněkud nad zářez. Působení lapače strusky záleží v tom, že kov přechází ze vtokového kůlu šterbinou do širšího prostoru lapače strusky a značně snižuje svou rychlost. To napomáhá vyplouvání strusky, poněvadž síla strhující strusku s proudem se zmenšuje, kdežto vztlak, kterým je struska vynášena na povrch, se nemění.

Kov se má zavádět do lapače strusky a odvádět dále do dutiny formy tangenciálně k lapači strusky jako na obr. 50, v němž tím vzniká točivý pohyb kovu. Dostředivou silou bude struska odtláčována do středu lapače strusky a zářezem poteče vyčištěný kov.



Při nezaplňném vtokovém kůlu bývá lapač strusky tím spíše nezaplňn. Výška volné hladiny ve vtokovém kůlu bývá větší než v liště působením odporu při vstupu do lišty a rovněž povrchovým pnutím kovu a kyslíčkových povlaků; kov nevytéká z vtokového kůlu do zářezu z hořejších vrstev, nýbrž z vrstev ležících poněkud níže; proto se struska, jež vyplavala na povrch, částečně zadrží před vstupem do lišty. Totéž lze pozorovat i při válečkovém lapači.

Zaplňování dutiny formy svislou lištovou soustavou způsobuje, že vrstvy, jež dříve protekly do dutiny formy a ztuhly tam, zůstanou dole a další kov, teplejší a lehčí, bude téci na ně, takže odlitek bude postupně chladnout zdola nahoru.

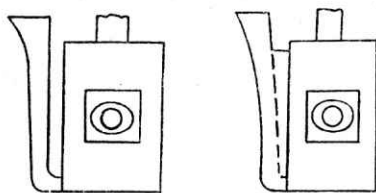
V tom je hlavní výhoda svislých postupně se plnících soustav, z nichž dokonalejší jsou soustavy se souvislým svislým lištovým zářezem.

Svislými lištovými zářezy se dá, použije-li se jich správně (t. j. jako postupně se zaplňujících soustav), zcela odstranit strhování vzduchu proudem kovu, což bývá u soustav, které se rychle zaplňují.

Strhování vzduchu proudem kovu je zejména nebezpečné při lití tenkostěnných součástí do kovových forem; rychlé ochlazování kovu brání vzduchovým bublinkám, jež se dostaly do tělesa odlitku, aby mohly vyplavat, čímž vznikají v odlitku dutiny, jež se zpravidla soustřeďují kolem zářezů.

Při používání zaplněných zužujících se vtokových kůlů bez lapačů strusky, zejména při spodním vtoku, se nutně strhuje vzduch do tělesa odlitku.

Při lití pístu motoru M-5 se podle amerického postupu počínalo s přívodem kovu způsobem znázorněným na obr. 51 vlevo.



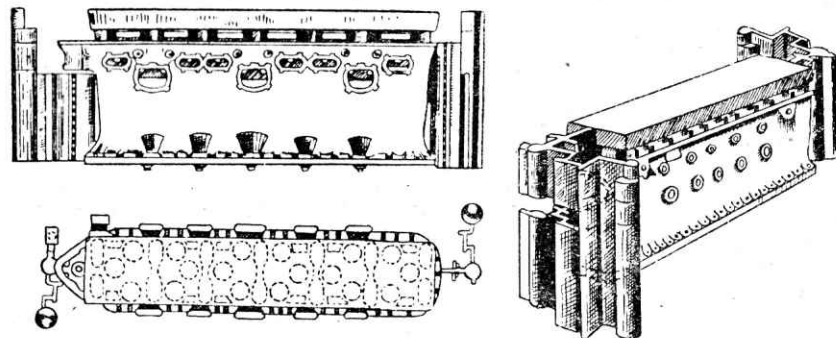
Obr. 51. Odlitky pístů M-5

Při této soustavě bývalo až 90 % zmetků vinou bublinatosti, jež se objevila po osoustružení pístu ve stěnách nad zářezem. Účinným prostředkem proti této vadě bylo použití lištové soustavy (obr. 51 vpravo): zmetky zaviněné bublinatostí byly téměř úplně odstraněny.

V SSSR byly svislé lištové soustavy zavedeny po prvé do výroby r. 1928. Nyní se velmi rozšířily při lití pístů automobilových, Diesellových a jiných motorů, u nichž se používá pístů z hliníkových slitin.

Často se těchto soustav používá i pro lití jiných součástí do kovových forem.

Při lití velkých odlitků bylo svislých lištových soustav po prvé pokusně použito v Sovětském svazu r. 1934 A. A. Bočvarem a A. G. Spasským a r. 1942 až 1943 byly zavedeny při seriové výrobě v mnoha závodech. Použitím těchto soustav se ušetřilo mnoho kovu a zjednodušila se výroba forem. V zahraničí se těchto soustav při lití velkých odlitků dosud neužívá.



Obr. 52. Labyrintový lapač strusky před svislým štěrbínovým vtokem (A. A. Bočvar a K. I. Portnoj)

Na obr. 52 je příklad svislé lištové vtokové soustavy se složitým labyrintovým lapačem strusky, použité v jednom ze sovětských závodů A. A. Bočvarem a K. I. Portným.

### 3. Pohyb tekutého kovu v dutině formy

Proud kovu, vtékajícího z každého zářezu do dutiny formy, může mít ke spodní základně odlitku dvě polohy: a) přívod kovu zářezem ležícím nad základnou; b) přívod kovu ze zářezů přímo v ploše spodní základny odlitku nebo v její tečně.

a) Jsou-li zářez v úrovni nad spodní základnou odlitku (nade dnem dutiny formy), teče kov ze zářezů z počátku po stěně formy volným proudem.

Podle rychlosti pohybu mohou být tři druhy proudění:

1. proud se pohybuje malou rychlostí a stéká, aniž se odtrhuje od stěny formy, k níž jsou připojeny zářez;
2. proud vytéká ze zářezů takovou rychlostí, že se odtrhuje od stěny a padá dolů volným proudem;
3. proud vytéká takovou rychlostí, že se od stěny odtrhne, narazí na zadní stěnu formy a stéká po ní dolů.



V prvním případě se hodně ohřívá stěna dutiny formy u zářezu a pod zářezem.

V druhém případě se ohřívá stěna dutiny formy u zářezu.

Ve třetím případě se ohřívá stěna dutiny formy u zářezu a zadní stěna v pásmu, kde proud naráží a stéká dolů.

Není-li forma příliš vysoká, není ani rychlost proudu kovu při výtoku ze zářezů velká (takže při pádu na dno se kov nerozstříkuje); počáteční období není proto nebezpečné, nevytvořil-li rozbíhající se proud při nárazu na stěnu u dna formy otevřený vír.

Vždy je třeba počítat s tím, že při stékání proudu po stěně se může způsob pohybu podstatně změnit podle obrysu stěny (obr. 53); i tomu se musí věnovat zvláštní pozornost.

V dalším období po zaplnění základny, jsou-li zářezy nade dnem dutiny formy, padá proud kovu již na povrch taveniny, takže mohou vznikat otevřené víry a vzduch a kyslíčníky mohou být strhávány s povrchu dovnitř kovu. Podle zaplňování formy stoupá v ní hladina kovu a výška pádu se zmenšuje.

Dáváme přednost stékání kovu po přední nebo po zadní stěně před volným pádem proudu mezi stěnami, poněvadž v tomto případě vzrůstá nebezpečí, že se bude kov rozstříkovat a tvořit otevřené víry. Musíme též přihlížet k tomu, co bylo řečeno o ohřívání stěn formy. Zahříváním jednotlivých míst formy se zpomaluje tuhnutí odlitku kolem nich.

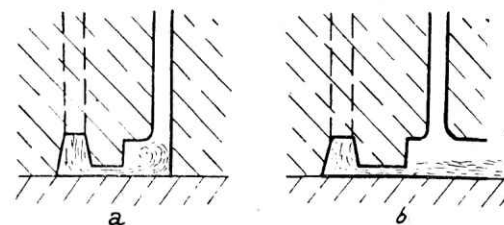
Plnění formy ze zářezů připojených k vrchní základně se nijak neliší od probraného uspořádání, t. j. kov může stékat po stěnách nebo volným pádem.

b) Privádí-li se kov ze zářezů přiléhajících ke spodní základně, má počáteční vstupní rychlost proudu rozhodující význam.

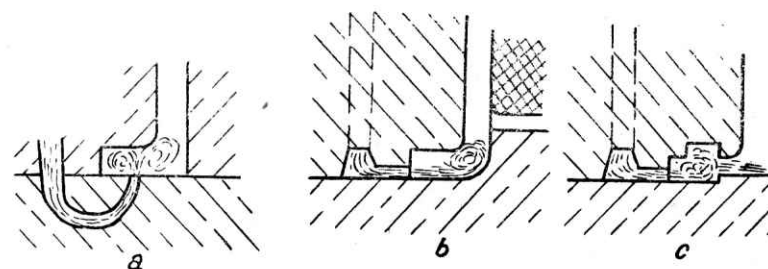
Při zářezích, jimiž se proud kovu přivádí na dno dutiny kolmo ke svislé stěně odlitku (obr. 54a), může velká výtoková rychlost ze zářezů tvořit otevřené víry při nárazu na stěnu proti zářezům, může být strháván vzduch a kov se může rozstříkovat. Poměry se zlepší, vede-li se proud podél svislých stěn (obr. 54b).

Jsou-li zářezy připojeny zdola, kolmo k základně odlitku, může se při velké výstupní rychlosti proudu vytvořit fontána, při čemž se kov rozstříkuje, okysličuje, strhává vzduch a j. (obr. 55a).

Tvar stěn dutiny formy u míst, kde se napojují zářezy, může mít i v tomto případě vliv na způsob pohybu kovu. Na obr. 55b a c jsou uvedeny příklady, jaký vliv může mít tvar stěny na pohyb proudu.



Obr. 54. Přívod kovu: a – kolmo na stěnu, b – podél stěny



Obr. 55. Vznik vírů v dutině formy při velké vstupní rychlosti kovu

Jakmile vytékající kov vystoupí nad otvory zářezů, vytéká kov pod hladinou, netvoří se otevřené víry a forma se dále plní tak, že kov postupující ze zářezů již nestrhává vzduch. V tom je přivádění kovu u dna dutiny formy výhodné proti jiným způsobům přívodu kovu.

Nebezpečný je pouze první okamžik; hlavním úkolem je snížit počáteční rychlost kovu, vstupujícího do dutiny formy.

Rychlost pohybu kovu v počátečním okamžiku lze snížit dvěma způsoby:

1. zvětšením odporů ve vtokových kanálcích;
2. použitím vtokových soustav, jež se v počátečním období nezaplňují.

Abý se zvětšil odpor pohybu ve vtokových kanálcích, používá se rohových kanálků, stupínků, rozšířených a zúžených kanálků, vkládají se cedítka atd.

Zvětšením odporů ve vtokových kanálech se zmenšuje množství kovu vstupujícího do dutiny formy za časovou jednotku čili prodlužuje se doba plnění formy, což má mnoho nevýhod: pomalým plněním vzniká značná nerovnoměrnost teplot v odlitku; kov se ochlazuje, ztrácí pohyblivost a špatně zaplňuje formu; je-li odlitek protáhlý, musí se při pomalém pohybu kovu forma plnit několika vtokovými soustavami z několika pánví; při pomalém plnění dutiny formy se zvyšuje nebezpečí, že se objeví v odlitku plynové bubliny pronikající do kovu z formy.

Při použití zaplněných vtokových soustav (t. j. takových, u nichž se průřez vtokového kůlu zmenšuje směrem ke struskovák, je průřez struskováku menší než průřez vtokového kůlu a součet průřezů zářezů je menší než průřez struskováku) vytřesne kov do dutiny formy v počátečním okamžiku plnění. Aby se tomu zabránilo, je třeba použít značných odporů ve vtokové soustavě, a tím vlastně zpomalit zaplnění formy. Přílišné rychlosti pohybu kovu se dá zabránit bez zmenšení rychlosti plnění formy, použije-li se takového struskováku, který se nezaplňuje prvním proudem kovu, nýbrž po určitý čas zůstane nezaplněn.

Má-li vtokový kůl menší průřez než struskovák, zaplní počáteční proud kovu, který se roztéká po struskovák, jeho průřez do určité výšky (viz obr. 53). Rychlost pohybu kovu ve struskovák, způsobená prouděním kovu s hladiny v lici jamce na hladinu ve struskovák, t. j. určená výškou  $H$ , směřuje podél struskováku mimo zářezy; pohyb kovu v zářezích bude v tomto okamžiku pomalý, neboť je určen výškou sloupce kovu  $h$  ve struskovák.

Podle toho, jak se bude struskovák zaplňovat, bude se v něm hladina kovu postupně zvyšovat a zároveň bude postupně vzrůstat rychlost proudění kovu v zářezích.

V okamžiku, kdy se struskovák zaplní, zvýší se v něm ihned tlak na  $H$  a výtoková rychlost ze zářezů náhle stoupne na  $v = \frac{2gH}{1+\zeta}$ . Nastalo-li toto zvýšení tlaku v počátečním období plnění, kdy hladina kovu ve formě ještě nestoupala nad otvor zářezů, mohou se tvořit otevřené víry, které strhávají vzduch, a tvoří se pěna a kyslíčníky.

Použije-li se zužujících se vtokových soustav, je výstupní rychlost v prvním okamžiku dána plným tlakem  $H$  a počáteční vystříknutí je velmi pravděpodobné.

Stoupne-li v okamžiku plnění struskováku hladina kovu v dutině formy natolik, že zakryje všechny zářezy, nevytvoří se ani

otevřené víry, ani fontána, nedojde k rozstříkování ani nebude kov vystřikovat, nebude strháván vzduch, poněvadž náraz nastává nyní uvnitř taveniny a zanikne vytvořením vnitřních vířivých pohybů.

Přivádí-li se kov dospodu formy vtokovou soustavou se struskovákem, který se nezaplňuje v počátečním období plnění formy, snižuje se nebezpečí, že budou při začátku lití strhávány vzduch a kyslíčníky do formy.

V těch případech, kdy se kov přivádí do formy zářez, vycházejícími z vtokového kůlu, je třeba k odstranění počátečního vystříknutí kovu použít nezaplněného vtokového kůlu s jamkou dole k zachycení počátečního nárazu: výtoková rychlost ze zářezů se při tom bude řídit hlavně výškou hladiny kovu v nezaplněném vtokovém kůlu.

Používat nezaplněných soustav je výhodné, nepřivádí-li se kov zcela dospodu dutiny formy, neboť se sníží počáteční tlak kovu; není však zaručeno, že nebude strháván vzduch, poněvadž po výstupu ze zářezů padá kov znovu dolů rychlostí, jež je určena výškou pádu, nikoliv výtokovou rychlostí ze zářezů.

U nezaplněných soustav není třeba používat dodatečných opatření, aby se snížila počáteční rychlost proudění; proto dávají tyto soustavy při téže lineární výtokové rychlosti ze zářezů více kovu za časovou jednotku než soustavy, jejichž průřezy se postupně zmenšují od vtokového kůlu k zářezům, poněvadž pak se musí použít odporů.

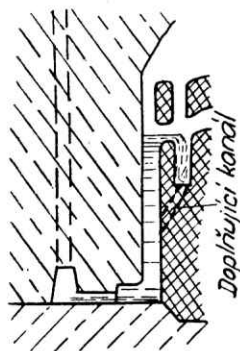
Tvar zářezů, jimiž se přivádí kov do dutiny formy, má rovněž vliv na způsob výtoku, zejména použije-li se zaplněných soustav. Přejechy ze struskováku k zářezům musí mít zaoblené okraje, aby se proud při vstupu do zářezu nezaškrcoval. Zářezy bývají často zúžené směrem k tělesu odlitku nebo místně zúžené, t. j. zaškrcené u tělesa odlitku, aby se mohly vtoky snadněji urazit. Zúženým kanálkem, zejména zaškrcením, se náhle zvyšuje rychlost v počátečním okamžiku plnění soustavy, t. j. kov vystřikuje do dutiny formy, což se zejména jasně projevuje u vtokových soustav, které se zaplňují prvním proudem kovu. V soustavách, jež se nezaplňují a jejichž počáteční výtoková rychlost je malá, vystříknutí prakticky nenastává.

Pohyb kovu v dutině formy musí být v každém určitém případě pozorně sledován; neprovedou-li se totiž náležitá opatření, může se objevit pěna, může být strháván vzduch, vzniknou zalaveniny, nedolitě odlitky atd. nezávisle na vtokové soustavě.

Proto se musí zabránit přelévání kovu při lití s jedné hladiny

na druhou, náhlému zužování průřezů v dutině formy a rozdělení kovu ve formě na několik proudů.

Přelévání kovu ve formě s jedné hladiny na druhou se nijak neliší od pádu volného proudu (i se všemi nežádoucími následky). Na obr. 56 je příklad konstrukce odlitku, při níž nastane přelévání kovu ve formě. Přelévání se předejde buď změnou polohy odlitku ve formě, nebo vyříznutím pomocných kanálků, jak je čárkovane vyznačeno na obr. 56. V tomto případě se budou dutiny ležící pod hlavním proudem zaplňovat zároveň s ním. Tyto kanálky v odlitku tvoří nálitky, jež musí být později odstraněny.



Obr. 56.  
Jak se odstraňuje přelévání kovu ve formě

V náhlých přechodech z jednoho průřezu do druhého může vzniknout víření kovu, tedy rozstříkávání, tvoření pěny atd. Vzniká náhlým zvýšením tlaku v tavenině v okamžiku plnění oddělené dutiny ve formě, způsobeným ztrátou pohybové energie. Tlak se přenáší na úzké místo přechodu do druhé dutiny a je příčinou vzniku fontány kovu v okamžiku, kdy se oddělená dutina zaplňuje. Na obr. 57 je znázorněno přibližné schéma, vysvětlující vznik fontány. Tento jev lze odstranit změnou polohy odlitku ve formě, vhodným umístěním zářezů a použitím nezaplněných vtokových kúlů.

Teče-li kov několika proudy, vznikají často zavaleniny, t. j. místa, kde se proudy kovu zcela neslily. Zavaleniny někdy postupují celou tloušťkou stěny odlitku, jindy pronikají do větší nebo menší hloubky. I když je zavalenina pouze na povrchu odlitku, může zeslabit průřez v tomto místě vlivem tenkých vrstvi-

ček kysličníků uvnitř kovu. Příčinou zavalenin je vznik kysličníků na povrchu, jež brání úplnému spojení proudů kovu.

Pohybuje-li se kov v dutině formy několika proudy, tvoří se na jejich povrchu kysličníkové povlaky tím pevnější, čím déle byly proudy rozděleny. Zvýšení teplot v tomto případě nepomáhá. Rozdělené proudy a jimi způsobené zavaleniny se nejčastěji objevují na vodorovných plochách odlitků, převážně v jejich horních částech; řidčeji se s nimi setkáváme v jiných místech.

Rozdělení proudu a zavaleninám se předejde buď tím, že se zvětší rychlost plnění formy, nebo se vhodně uspořádají vtokové kanálky, nebo se změní poloha odlitku ve formě.

Je třeba si uvědomit, že se zavaleniny tvoří nejen rozdělenými proudy, nýbrž i vzkypěním, při průchodu plynových bublinek odlitkem atd.



Obr. 57. Vznik fontány ve formě při přechodu ze širokého do úzkého průřezu při velké rychlosti plnění formy