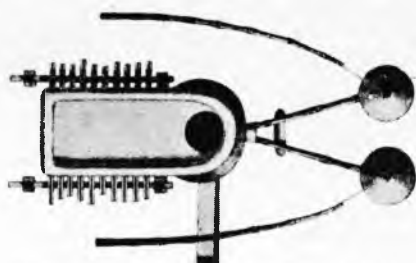


MEHANIZACIJA LJEVAONICA, zajednički naziv za strojeve i uređaje koji služe u ljevaonicama da bi se smanjio fizički napor radnika, poboljšala kvaliteta proizvoda i povećala produktivnost. Zbog teških uvjeta rada mehanizacija u ljevaonicama ima posebno značenje, a neki ljevaonički postupci nisu ni mogući bez upotrebe strojeva. U ljevaonici je, osim mehanizacije kalupljenja i taljenja, osobito važna mehanizacija čišćenja odljevaka, jer su radni uvjeti izrazito teški i opasni za zdravlje, te mehanizacija transporta, jer je za proizvodnju tone odljevaka potrebno transportirati i 50...200 puta veću količinu materijala.

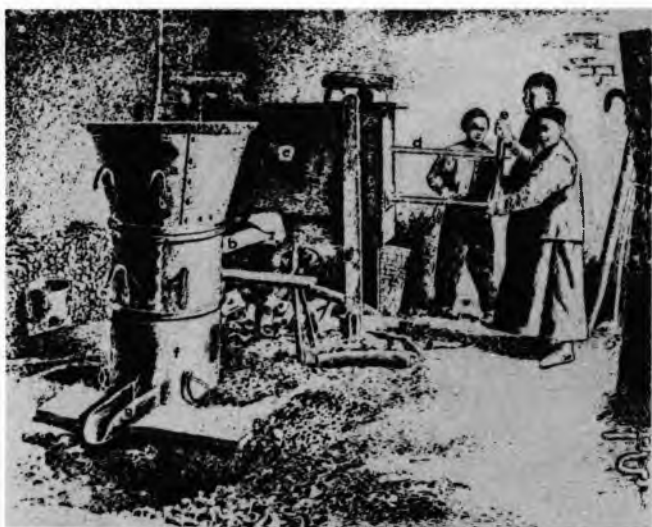
Bakreni odljevci bili su prvi ljevarski proizvodi (oko -4000. god.). Tada se lijevalo u gline i kamene kalupe. Da bi se poboljšalo izgaranje, već su oko -3000. god. u Mezopotamiji građene peći za taljenje bronce s mješovima za povećanje dobave zraka (sl. 1), a oko -800. god. u Kini s klipnim upuhavanjem zraka (sl. 2) za proizvodnju sivog lijeva. U srednjem vijeku grade



0 1 2 m

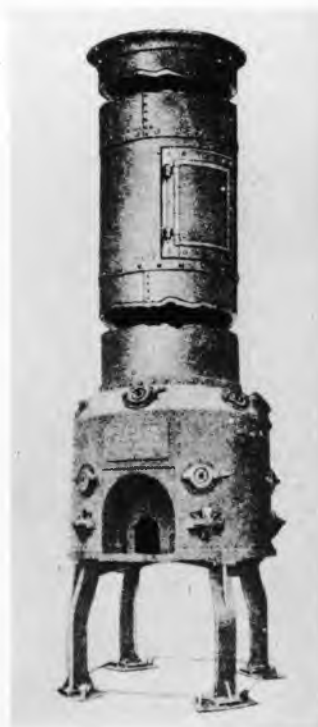


Sl. 1. Peć s upuhavanjem zraka mješovima (-3000)

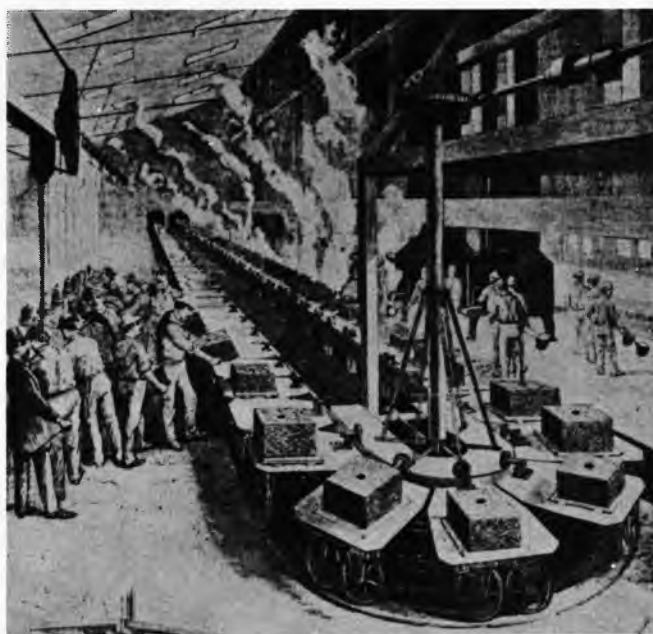


Sl. 2. Kineska kupolka (-800)

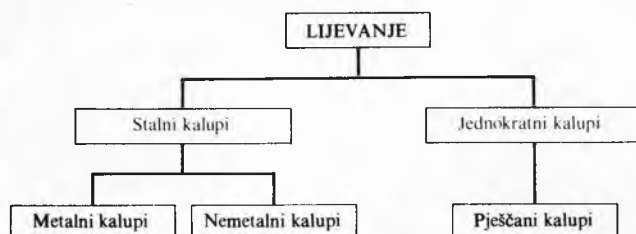
se peći za taljenje rudače, a lijeva se neposredno iz peći. Tijekom XVIII i XIX stoljeća konstruiraju se svi važniji ljevaonički uređaji (kalupilice, kupolke, sl. 3, miješalice i sl.), a potkraj XIX i početkom XX stoljeća lučne i indukcijske električne peći, te strojevi za lijevanje pod tlakom. Tad započinje mehanizacija ljevaonica (sl. 4). U prvoj polovici XX stoljeća ljevaonice se intenzivno mehaniziraju, a u drugoj polovici automatiziraju.



Sl. 3. Kupolka (1874)



Sl. 4. Kalupna linija (1890)



Sl. 5. Podjela ljevarstva prema načinu kalupljenja

Prema vrsti kalupa razlikuje se lijevanje u jednokratno upotrebne kalupe i lijevanje u stalne kalupe (sl. 5).

LJEVANJE U JEDNOKRATNE KALUPE

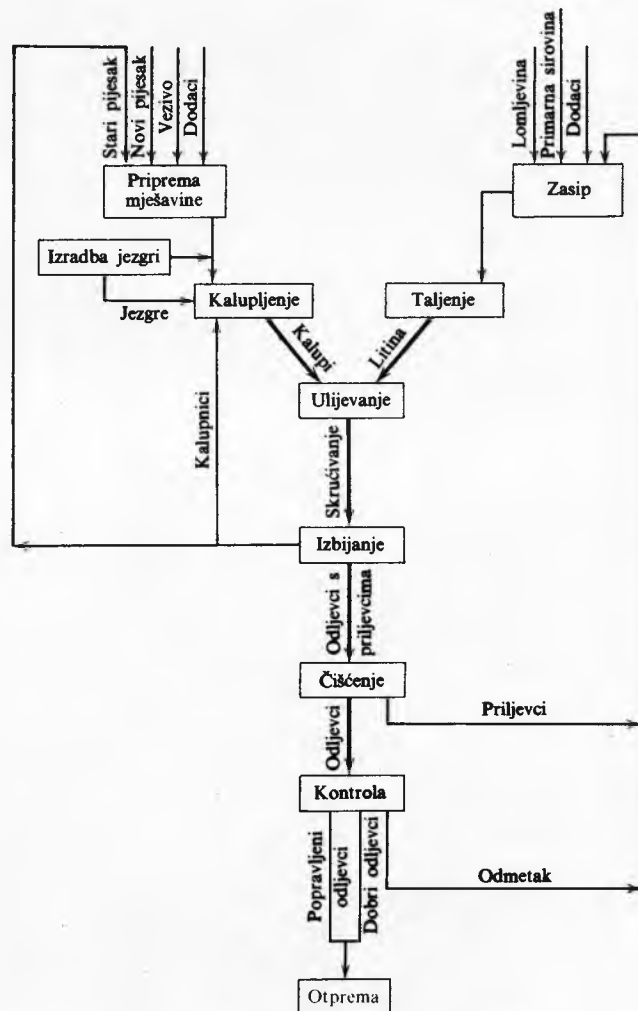
Da se izradi odljevak, potrebni su kalup i rastaljeni metal. Zato proizvodni proces u ljevaonici započinje sa dvije paralelne i sinhronizirane operacije: kalupljenjem i taljenjem metala (sl. 6), da bi se nakon ulijevanja i skrućivanja dobio odljevak. Nakon izbijanja iz kalupa odljevak se čisti, odrežu se priljevci uljevnog sustava i pojila, a zatim se kontrolira gotovi odljevak (sl. 7 i 8).

Priprema kalupne mješavine

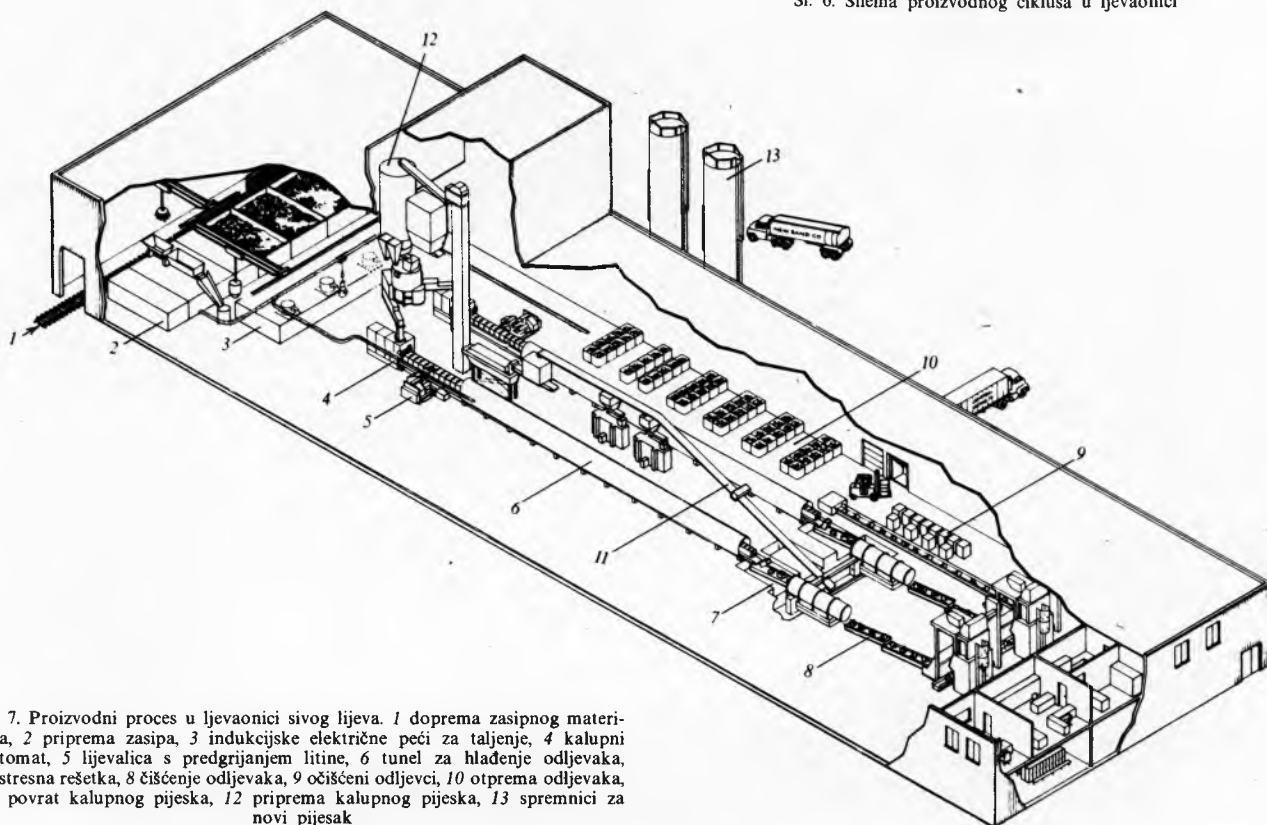
Jednokratno upotrebljivi kalupi izrađuju se od kalupne mješavine koja se sastoji od osnovnog materijala (najčešće kreneni pijesak), veziva (bentonitne gline) i različitih dodataka. Ista se kalupna mješavina upotrebljava više puta u proizvodnom ciklusu. Budući da kalupna mješavina predstavlja vrlo veliku količinu materijala, u ljevaonici su predviđeni posebni spremnici za skladištenje sastavnih dijelova mješavine, mehanizacija za uтовar i istovar, te različiti transporter i za novu i već upotrijebljenu kalupnu mješavinu. Kalupna se mješavina priprema miješanjem sastavnih dijelova u posebnim miješalicama. Za izradbu kalupa od pripremljene kalupne mješavine služe strojevi za kalupljenje, tzv. kalupilice. Proizvodnja odljevaka zahtijeva vrlo velik transport različitih materijala, pa se smatra da je ljevaonica vrlo dobro organizirana i suvremena ako je omjer transportirane količine materijala i težine odljevaka $\sim 100:1$. Budući da opseg transporta znatno utječe na proizvodne troškove, mehanizacija je transporta u ljevaonicama jedan od osnovnih problema.

Doprema novog pijeska. U većini se današnjih ljevaonica upotrebljavaju veziva za izradbu kalupa jezgri koja zahtijevaju hladni, suhi i čisti kreneni pijesak. Obično se isporučuje kreneni pijesak zadovoljavajuće kvalitete, pa u ljevaonici nije potrebna nikakva predobradba (sušenje, sijanje i sl.), već se pijesak može neposredno upotrijebiti za izradbu kalupne mješavine. Budući da se radi o vrlo velikim količinama materijala, potrebna je djelotvorna organizacija istovara pijeska da bi se izbjegli visoki troškovi zbog zadržavanja transportnih vozila.

Mehanički transport. Pijesak se iz kamiona kiperu istovaruje u prijamni lijevak iz kojeg dalje teče vibracijskim žlijebom



Sl. 6. Shema proizvodnog ciklusa u ljevaonici



Sl. 7. Proizvodni proces u ljevaonici sivog lijeva. 1 doprema zasipnog materijala, 2 priprema zasipa, 3 indukcijske električne peći za taljenje, 4 kalupni automat, 5 lijevalica s predgrijanjem litine, 6 tunel za hlađenje odljevaka, 7 istresna rešetka, 8 čišćenje odljevaka, 9 očišćeni odljevci, 10 otprema odljevaka, 11 povrat kalupnog pijeska, 12 priprema kalupnog pijeska, 13 spremnici za novi pijesak

(gdje se odvajaju grude) u elevator, a zatim preko izlaznog žlijeba iz elevatora u skladišni spremnik. Da bi istovar bio efikasan, potrebno je prijamni lijevak smjestiti ispod razine poda ljevaonice (sl. 9a) ili izgraditi rampu (sl. 9b), a ako se žele izbjeći dodatne građevine, pijesak se mora dovoziti damperom (sl. 9c). Dovodni žlijeb od prijamnog lijeka do elevatora mora biti uži od širine kablčica elevatora (da se pijesak ne bi rasipao) uz nagib veći od 60° , dok je nagib odvodnog žlijeba od elevatora do spremnika veći od 45° . Iskorištenje elevatora iznosi do 70%, jer je pijesak vrlo sipak materijal pa se nikad ne može potpuno napuniti kablčic elevatora. Dovodni žlijeb postavlja se na ulazu u elevator tako da ispod ulaza postoje još najmanje dva kablčica u koje se sakuplja pijesak rasut pri punjenju kablčica.

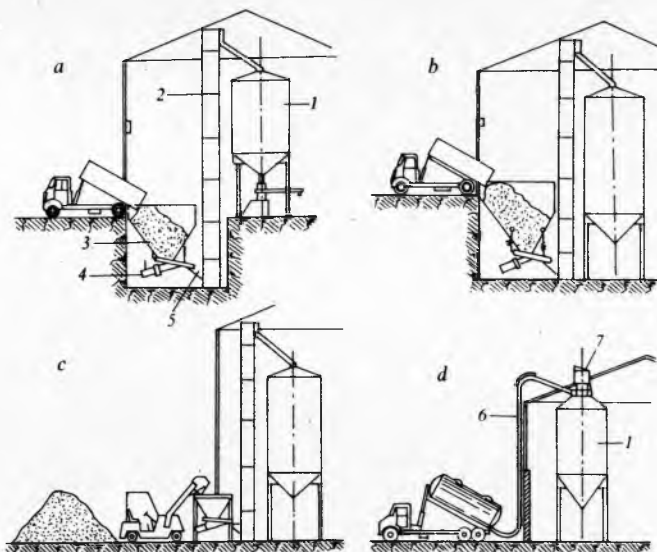
Pneumatski transport. Zbog ekonomskih i ekoloških prednosti danas je češći transport suhog kremenog pijeska auto-cisternama nego kiperima. Iz cisterne se suhi kremen pijesak, pomoću kompresora ugrađenog u vozilo, pneumatski transportira u skladišni spremnik bez posebnih uređaja (sl. 9d). Pri tom se prašina ne širi u okoliš. Zrak iz spremnika odsisava se kroz filtar postavljn iznad spremnika.

U dobrim prijamnim uvjetima i pri uobičajenom radu kompresora može se transportirati 15 tona pijeska za ~45 minuta. Duljina horizontalnog dijela cjevovoda ne smije biti veća od 10 m, a dobro izveden cjevovod sastoji se samo od okomite cijevi i koljena koje vodi neposredno u spremnik. Cijevi su od čelika, a imaju promjer ~100 mm. Zbog abrazije potrebno je posebno pojačati koljena koja moraju imati polumjer zakrivljenja veći od 1,5 m. Prosječna visina pneumatskog dizanja pijeska iznosi do 15 m, a bez horizontalnog vođenja i do 20 m, izuzetno do 25 m. Da bi se smanjila buka i emisija ispušnih plinova za vrijeme istovara, neke ljevaonice upotrebljavaju komprimirani zrak proizveden u vlastitoj kompresorskoj stanici za istovar iz cisterne.

Skladištenje pijeska. Skladišni spremnici obično imaju kapacitet 30...150 tona. Istovar je ekonomičniji što su veći spremnici. Spremnik je opremljen filtrom za ispušni zrak i pokazivačem razine pijeska u spremniku. Zbog gibanja pijeska pri punjenju i pražnjenju može doći do razlučivanja pijeska prema veličini zrnca, pa će u gornjem dijelu spremnika zaostati krupnija zrnca. Postoje različite konstrukcije spremnika kojima se nastoji eliminirati takva pojava, ali je osnovno pravilo da se nikada ne smije skladišni spremnik potpuno isprazniti. Zbog toga skladišni spremnici imaju volumen za 30% veći od potrebnog kapaciteta, pa se razina pijeska nikada ne spušta ispod cilindričnog dijela spremnika.

Transport kalupnih mješavina. Razlikuju se dva tipa transporta kalupnih mješavina: mehanički transport pomoću transportera i elevatora, te pneumatski transport kroz cjevovode.

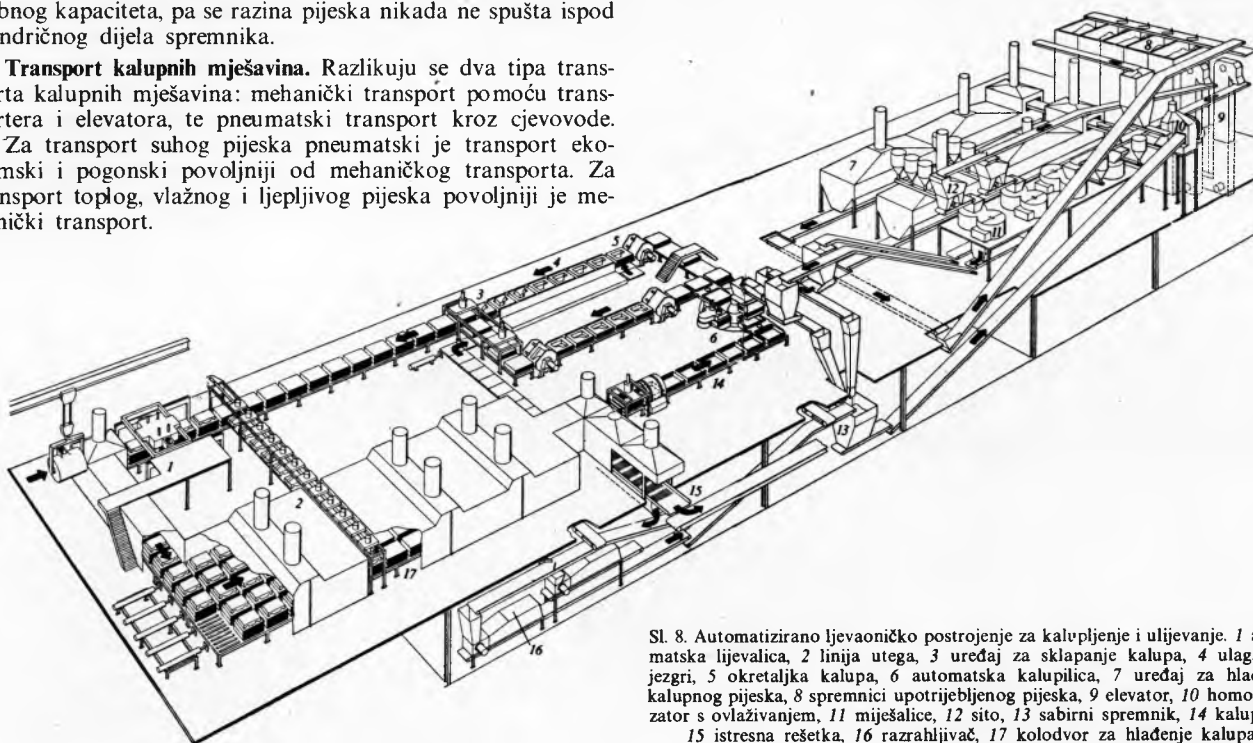
Za transport suhog pijeska pneumatski je transport ekonomski i pogonski povoljniji od mehaničkog transporta. Za transport toplog, vlažnog i ljepljivog pijeska povoljniji je mehanički transport.



Sl. 9. Istovar suhog kremenog pijeska: a iz kamiona kiperu kada je istovarna površina na istoj razini kao ljevaonica, b pomoću rampe, c pomoću dampera i d pneumatski; 1 spremnik, 2 elevator, 3 lijevak, 4 vibrator, 5 žlijeb, 6 dovodna cijev, 7 filtar

Trakasti transporteri bili su među prvim uređajima konstruiranim za transport sipkog materijala, a još se i danas često upotrebljavaju za kalupni pijesak. Usprkos velikom napretku pneumatskog transporta, trakasti će se transporteri zadržati u upotrebi i u budućnosti, osobito zbog nižih investicijskih i pogonskih troškova. Upotrebom trakastog transportera postignuto je skoro savršeno odvajanje pokretnih dijelova transportera od prenošenog materijala, materijal se prenosi do odredišta s minimalnim trenjem, a samo se na utovarnom mjestu pojavljuje abrazija između trake i materijala. Bešuman rad prednost je trakastog transportera.

Iako je osnovna konstrukcija trakastog transportera ostala nepromijenjena, postignuta su tokom vremena znatna poboljšanja. Tako se upotrebom armature od umjetnih umjesto pamučnih vlakana dobila čvršća, gipkija i fleksibilnija traka, koja omogućuje upotrebu pogonskih bubnjeva manjeg promjera i



Sl. 8. Automatizirano ljevaoničko postrojenje za kalupljenje i ulijevanje. 1 automatska lijevalica, 2 linija utega, 3 uređaj za sklapanje kalupa, 4 ulagalište jezgri, 5 okretalica kalupa, 6 automatska kalupilica, 7 uređaj za hlađenje kalupnog pijeska, 8 spremnici upotrijebljenog pijeska, 9 elevator, 10 homogenizator s ovlaživanjem, 11 miješalice, 12 sito, 13 sabirni spremnik, 14 kalupnici, 15 istresna rešetka, 16 razrahljivač, 17 kolodvor za hlađenje kalupa

nosećih valjaka pod kutom od 45° (sl. 10). Povećanje nagiba nosećih valjaka daje traci koritast oblik i povećava transportni kapacitet koritastog u usporedbi s ravnim transporterom. Povećanje transportnog kapaciteta ravnog transportera postiže se posebnom trakom koritastog oblika. Traka koritastog oblika vrlo teško se čisti, a takvim se transporterom ne može puniti serija spremnika. Traka s poprečnim rebrima omogućava transport materijala i na usponu od 50° , dok se ravnim transporterom bez rebara ne može svladati uspon veći od 20° . Premda je kapacitet kosog transportera mnogo manji od horizontalnog, često kosi transporter može uspješno zamijeniti elevator.

Izbor tipa transportera ovisi o duljini puta, visini dizanja, potrebnom kapacitetu i o svojstvima materijala (suh, vlažan ili topao pijesak, veličina gruda i sl.). Uobičajena brzina ljevaoničkih transportera iznosi $0,50\text{--}1,3\text{ m/s}$.

Pogonski valjak transportne trake izrađen je od čelika, a u središtu ima veći promjer nego na krajevima radi boljeg centriranja trake. Da bi se povećala vučna sposobnost i smanjila naprezanja trake, pogonski se bubnjevci oblažu gumom.

Noseći valjci obično imaju zatvorene ležaje koje ne treba podmazivati, što smanjuje troškove održavanja. Obično se gradi konstrukcija sa tri valjka. Dva su vanjska valjka postavljena pod kutom od 20° , ali se danas, zbog poboljšane kvalitete traka, postavljaju i pod kutom od 45° . Da se traka ne bi suviše savila, treba predvidjeti dovoljnu udaljenost između pogonskog bubnja i najbližih valjaka koji daju traci koritasti oblik. Valjci se obično postavljaju na udaljenost od $\sim 1,2\text{ m}$, ali na mjestu utovara materijala razmak je $\sim 0,25\text{ m}$. Pomoćni valjci na povratnom dijelu trake postavljaju se na udaljenost od $2,5\text{--}3,0\text{ m}$.

Transportnu traku treba čistiti od prilijepljenih čestica, jer bi se one lijepile i za pomoćne valjke, te bi izbacivale traku iz središnjeg položaja. Najčešće se traka čisti gumenim nožem postavljenim preko trake kad ona prolazi preko pogonskog valjka, tako da sav skinuti materijal pada u posebnu posudu. Za čišćenje se mogu upotrijebiti i rotacijske četke. Dovod materijala na traku mora biti tako postavljen da se materijal ispušta jednoliko u središte trake. Ako to nije postignuto, traka će skrenuti. Na utovarnom mjestu postavljaju se gumeni štitnici (sl. 11) koji sprečavaju rasipanje pijeska. Pijesak s transportera može se istovariti neposredno preko zadnjeg valjka ili pomoću noža s jednom oštricom (istovar samo na jednu stranu) ili sa dvije oštrice (istovar na objema stranama transportera, sl. 43).

Vibracijski transporter. Pločasti vibracijski transporteri vrlo se rijetko upotrebljavaju za transport kalupnog materijala, ali su pogodni za transport odljevaka i već upotrijebljenog pijeska. Oni se, naime, ne mogu oštetiti metalnim česticama koje se nalaze u već upotrijebljenom pijesku, mogu izdržati relativno visoke temperature, a ako su koritastog oblika (sl. 12), sprečavaju rasipanje pijeska. Njihova je upotreba ograničena jer moraju zbog vibracija imati masivne temelje, ne mogu trans-



Sl. 12. Vibracijski žlijebni transporter. 1 pogon, 2 lisnate opruge, 3 žlijeb

portirati materijal na kosini, mala im je brzina transporta i njima se ne može puniti više spremnika.

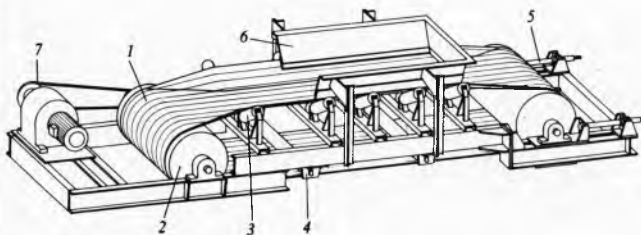
Elevatori (sl. 13) služe za dizanje materijala na veću visinu. Materijal se puni u kablice učvršćene na vertikalno postavljenu beskonačnu traku. Iako se prigovara da elevatori uzrokuju poteškoće u efikasnom pogonu ljevaonice, ipak je ispravno konstruiran elevator efikasan transporter do učina $30\text{ m}^3/\text{h}$ kalupne mješavine.

Nekada je osnovni nedostatak elevatora bio da se pijesak lijepio za stijenke metalnih kablića, što je smanjivalo kapacitet elevatora i za 40%. Danas kablići imaju teflonsku oblogu ili su izrađeni od plastičnih masa, pa se potpuno isprazne. Za transport vlažnoga kalupnog pijeska kablići moraju biti plitki i bez oštih uglova. Na vrhu se elevatora nalazi uređaj za otprašivanje, koji odvodi prašinu i vlažni zrak, tako da se para iz zraka ne kondenzira.

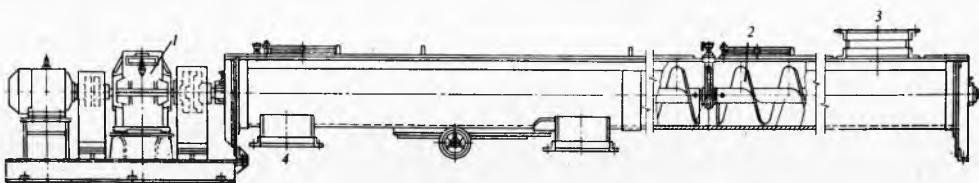
Pri utovaru u elevator sav kalupni pijesak s transportera ne pada izravno u kablice, već dio (oko 20%) pada postrance. Zbog toga se pojavljuju teškoće s vađenjem pijeska koji je pao pored kablića na dno elevatora. Zato je poželjno da ispod utovarnog mjesta budu bar dva kablića radi prihvatanja toga pijeska, ali danas rade vrlo uspješno i elevatori s utovarom pijeska u najdonji kablić. Važno je da brzina elevatora bude takva da se kablić može potpuno isprazniti.



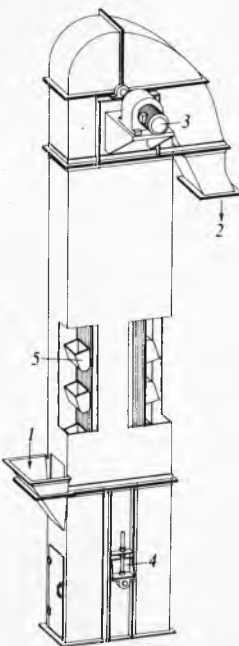
Sl. 10. Valjci trakastog transportera



Sl. 11. Trakasti transporter (dizator). 1 traka, 2 pogonski valjak, 3 noseći valjci, 4 pomoćni valjci, 5 napinjač trake, 6 štitnici protiv rasipanja pijeska, 7 pogon



Sl. 14. Vijčani transporter. 1 pogon, 2 transportni vijak, 3 ulaz, 4 izlaz kalupne mješavine



Sl. 13. Elevator. 1 ulaz, 2 izlaz pijeska, 3 pogon, 4 uređaj za napinjanje trake, 5 traka s kablićima

Vijčani transporteri (sl. 14) služe za transport suhih materijala (npr. ugljene prašine ili gline) na male udaljenosti. Transport može biti horizontalan ili pod kutom do 20°. Vijčani transporter može biti dug do 3 m, s promjerom 150...600 mm, a brzina vrtnje iznosi 20...100 min⁻¹.

Pneumatskim transportom prenose se čestice pijeska kroz zatvorenu cijev u struji zraka koja nastaje djelovanjem razlike tlakova. Pneumatski transport mnogo je fleksibilniji od mehaničkog transporta, pa se spremnici i kalupilice mogu smjestiti na mjestima gdje to inače ne bi bilo moguće. Pneumatski transport nema mehaničkih dijelova, pa je zbog toga sigurniji u pogonu.

Danas se u ljevaonicama uglavnom upotrebljavaju diskontinuirani tlačni sustavi, tzv. visokotlačni ili impulsni sustavi. Masa pijeska stavlja se u otpremač (sl. 15) u koji se dovodi zrak pod tlakom. Zrak vrtloži pijesak i razrahljuje ga, pa ga zatim odnosi u odvodnu cijev. Taj sustav troši relativno malo zraka (14...18 m³ po toni pijeska), tlak je zraka 0,2...0,6 MPa, a potrebna je brzina strujanja 3,5...10 m/s. Promjenom tlaka može se unutar određenih granica mijenjati brzina zraka. Diskontinuirani tlačni sustav služi za transport novog i jezgrenog pijeska, te pijeska nakon regeneracije.

Skladištenje kalupnih mješavina. Spremnici za skladištenje kalupnog pijeska služe da se osigura dovoljna rezerva materijala potrebnog za kontinuirani rad ljevaonice. Prema vrsti uskladištenog materijala razlikuju se spremnici za povratni kalupni pijesak i spremnici za kalupnu mješavinu.

Spremnici za povratni kalupni pijesak. Svojstva povratnog kalupnog pijeska (pijesak koji se dobiva nakon izbijanja odljevaka iz kalupa) mijenjaju se unutar iste ljevaonice za vrijeme jednog radnog dana (npr. od suhog i sipkog kalupnog pijeska do toplog, vlažnog i ljepljivog).

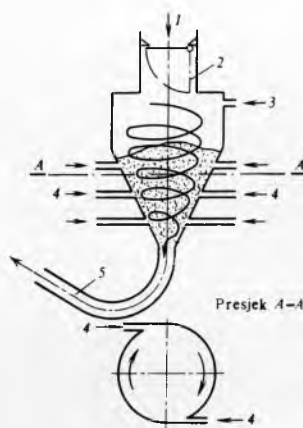
Povratni kalupni pijesak kreće se kroz spremnik na dva osnovna načina, već prema svojstvima pijeska i konstrukciji spremnika. U prvom tipu spremnika (sl. 16a) materijal protječe kroz središnju jezgru spremnika, a uz stijenke ostaje nepokretan dok se ne uruši u nastalu središnju šupljinu. Takav spremnik nije nikada potpuno ispunjen, a može se lako začepiti. Prema drugom načinu protjecanja (sl. 16b) materijal se u spremniku spušta jednoliko kako se spremnik prazni, pa materijal izlazi iz spremnika onim redom kako je ušao, što omogućuje da se spremnik potpuno napuni bez opasnosti da se začepi. Ponašanje materijala u spremniku najviše ovisi o omjeru površine poprečnog presjeka spremnika i površine otvora za ispušt materijala. Što je izlazni otvor veći, to je protjecanje povoljnije, odnosno lakše se ostvaruje protjecanje prema sl. 16b.

Za relativno male spremnike suhoga kalupnog pijeska prikladan je tip spremnika na sl. 17a, dok su drugi oblici (sl. 17b do 17d) pogodniji za spremnike većeg kapaciteta. Najčešće se spremnici grade s kapacitetom 10...50 t, ali postoje i spremnici do 300 t.

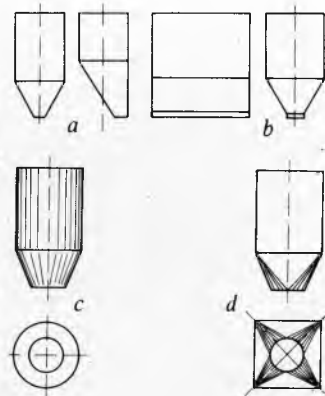
Posebni mehanički uređaji, tzv. dozatori, omogućuju kontrolirano istjecanje materijala iz spremnika, a obično služe i kao zatvarači spremnika (sl. 18). Postoje dva osnovna tipa: diskontinuirani dozator sa zatvaračkim čeljustima (sl. 18a) i kontinuirani dozator, koji može biti s električnim vibratorom (sl. 18b) za spremnike na sl. 17a, s trakastim transporterom (sl. 18c) ili s više električnih vibratora (sl. 18d), za spremnike na sl. 17b, sa rotacijskim diskom (sl. 18e) ili s vibracijskom posudom na ispustu (sl. 18f i 18g) za cilindrične spremnike na sl. 17c. Da se potpuno iskoristi kapacitet spremnika i spriječi segregacija mješavine, potrebno je spremnike puniti točno u središte (sl. 19).

Spremnici se može lako začepiti ako mu je osnovka u obliku piramide. Zato se na spremnik ugrađuju vibratori (koji ako su neispravno smješteni mogu i otežati ispuštanje), zatim gumene dijafragme koje se nadimaju pod tlakom komprimiranog zraka, te porozni keramički filtri kroz koje se zrak uvodi u spremnik i propuhuje kalupni pijesak.

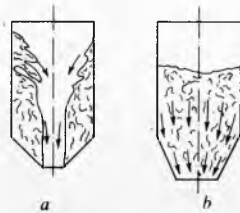
Spremnici za kalupnu mješavinu smješteni su iznad kalupilica i manjih su dimenzija od spremnika za povratni kalupni pijesak, a veličina im ovisi o dimenzijama kalupa i proizvodnosti kalupilica. Spremnici za kalupnu mješavinu vrlo se lako začepi.



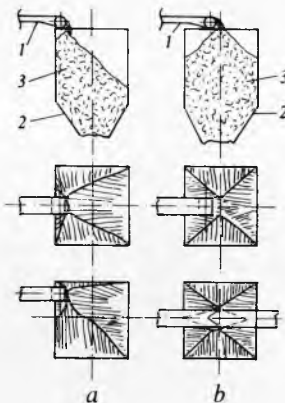
Sl. 15. Shema otpremača pneumatskog transportera. 1 ulaz kalupne mješavine, 2 zatvarač, 3 dovod zraka za transport pijeska, 4 dopunski dovod zraka za vrtloženje pijeska, 5 cijev za odvod kalupne mješavine



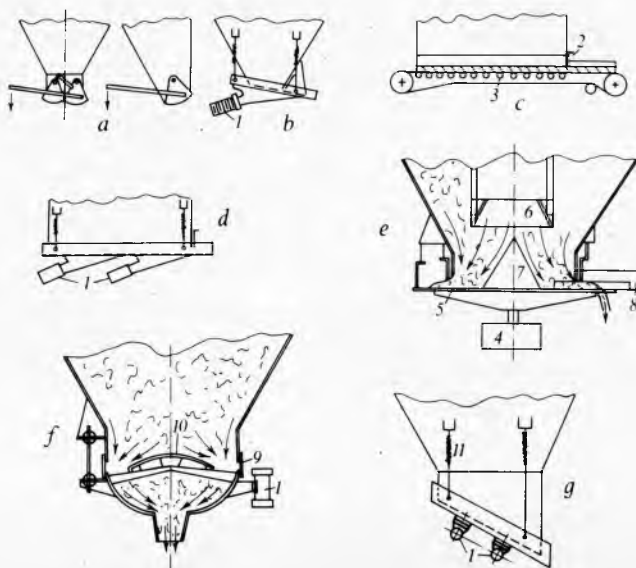
Sl. 17. Tipovi spremnika: a i b prizmatični, c valjkasti i d prizmatični sa stožastim završetkom



Sl. 16. Protjecanje kalupne mješavine kroz spremnik: a mali, b veliki izlazni otvor



Sl. 19. Raspored materijala u spremniku prema načinu punjenja. a punjenje sa strane, b punjenje u središte; 1 dopremni transporter, 2 spremnik, 3 kalupna mješavina



Sl. 18. Zatvarači i dozatori spremnika: a čeljustni, b vibracijski, c trakasti, d vibracijski s više vibratora za velike spremnike, e rotacijski, f i g vibracijski. 1 vibrator, 2 podesivi otvor, 3 noseći valci, 4 pogon, 5 rotacijska ploča, 6 prilagodljivi prsten za regulaciju protoka, 7 stožac, 8 nož za skidanje mješavine, 9 fleksibilna spojica, 10 ploča za prijenos vibracija na pijesak, 11 zatvaranje oprugama

Čest je uzrok začepljenja loša konstrukcija spremnika, na što utječe i temperatura kalupne mješavine, te se smatra da u jednoj smjeni ista količina kalupne mješavine ne bi smjela biti u optjecaju više od tri puta. Spremnici za kalupnu mješavinu često su ovješeni o opruge, a za vrijeme pražnjenja uključuje se vibrator, te se tako uspješno sprečava da se spremnik začepi.

Doprema i skladištenje veziva i dodataka. Bentonit i ugljena prašina služe kao veziva pri kalupljenju. Najčešće se danas isporučuje ugljena prašina pomiješana s bentonitom, jer je transport same ugljene prašine opasan zbog mogućnosti samozapaljenja i eksplozije. Smjesa se transportira pneumatski u skladišne silose obujma od $\sim 30\text{ m}^3$. Skladište bentonita i ugljene prašine obično se sastoji od tri jednaka silosa; u dva se sprema smjesa, a u treći samo bentonit.

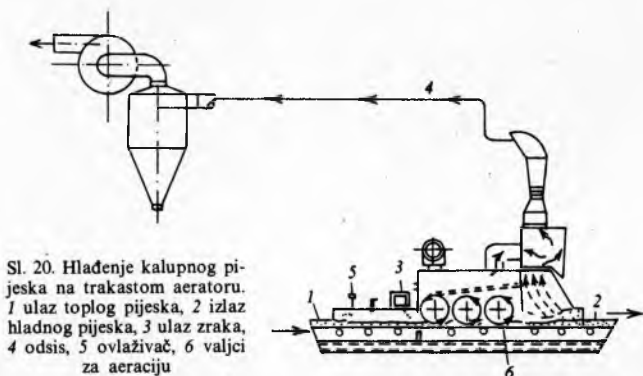
Iz skladišnih silosa bentonit i ugljena prašina transportiraju se pneumatski u dva spremnika iznad miješalica. U jedan dolazi bentonit, a u drugi smjesa. Obje komponente doziraju se u potrebnom omjeru vijčanim transporterima u miješalicu.

Svi ostali dodaci u krutom stanju drže se u spremnicima malog obujma iznad miješalica, jer se dodaju u manjim količinama. Doziraju se vijčanim transporterima. Kemijska veziva, katalizatori i dodaci u tekućem stanju čuvaju se u bačvama ili cisternama, doziraju se volumetrima, a potiskuju se iz spremnika zrakom pod tlakom.

Hlađenje kalupne mješavine. Ulijevanjem rastaljenog metala u kalupe kalupni se pijesak zagrijava. U mehaniziranoj ljevaonici mora se kalupni pijesak ohladiti prije ponovne upotrebe da se spriječi lijepljenje pijeska na modelne ploče zbog čega nastaju greške na odljevima. Automatizacijom kalupljenja i upotrebom kvalitetnijih kalupnih mješavina smanjuje se omjer između težine pijeska i metala, te se skraćuje trajanje radnog ciklusa, čime se povećava prosječna temperatura kalupnog pijeska, što traži intenzivnije hlađenje.

Kalupni pijesak hladi se u posebnim uređajima (ohlađivačima). Hlađenje se može ostvariti vlaženjem pijeska i odvođenjem topline zbog isparivanja vode, odvođenjem topline strujom zraka, provjetravanjem (aeracijom) pijeska te dodiranjem pijeska sa stijenkama hladnjaka kroz koji struji voda. Vrlo djelotvorni uređaji ohlade kalupnu mješavinu na temperaturu $\sim 15^\circ\text{C}$ iznad temperature okoliša.

Na *trakastom aeratoru* (sl. 20) pijesak se najprije ovlaži, a zatim provjetrava. Takav jednostavan uređaj obično se postavlja pred ulazom pijeska u miješalicu, a ima kapacitet 25...450 tona pijeska na sat. Kalupni pijesak prolazi vrlo brzo kroz uređaj, pa je samo kratko vrijeme u dodiru sa zrakom, te zrak uglavnom odvodi vodenu paru i vlagu. Takvim se uređajem može pijesak ohladiti na temperaturu od $\sim 70^\circ\text{C}$, a za još veće hlađenje primjenjuje se tandemska izvedba.



Sl. 20. Hlađenje kalupnog pijeska na trakastom aeratoru. 1 ulaz toplog pijeska, 2 izlaz hladnog pijeska, 3 ulaz zraka, 4 odvod, 5 ovlaživač, 6 valjci za aeraciju

Elevator s aeracijom (sl. 21) ima koso postavljenu rebrastu traku u zatvorenom kućištu u kojemu cirkulira zrak. Rebrasta se traka kreće relativno velikom brzinom, podiže pijesak i izbacuje ga kroz ispusni otvor, ali se pri tom dio pijeska rasipa i miješa sa strujom zraka. Što je pijesak suši i što je veće hlađenje, to su veći gubici sitnih čestica pijeska koje odlaze sa strujom zraka, tako da je potrebno postaviti ciklonski odvajач. Takav uređaj vrlo efikasno hladi pijesak i poboljšava pro-

pusnost kalupne mješavine jer iz pijeska odstranjuje prašinu. Izlazna temperatura pijeska iznosi $40\text{--}90^\circ\text{C}$.

Za hlađenje kalupnog pijeska ponekad se upotrebljava *vi-bracijski transporter* (sl. 22) s perforacijama kroz koje prolazi zrak za hlađenje. Količina zraka za hlađenje može se dosta smanjiti ovlaživanjem pijeska, tako da se $\sim 80\%$ topline odvodi isparivanjem, ali tada je potrebna automatska kontrola vlažnosti pijeska i regulacija količine dodatne vode.

Uređaj za fluidizaciju (sl. 23), opremljen cijevima hladnim vodom, služi za brzo hlađenje pijeska. Hlađenje se postiže strujanjem hladne vode kroz sustav cijevi uronjen u fluidizirani topli pijesak.

U *rotacijskom situ* (sl. 24) pijesak najprije ulazi u rotacijski limeni cilindar s lopaticama kroz koji struji zrak u smjeru suprotnom kretanju pijeska, a zatim prolazi kroz rotacijsko sito. Da bi hlađenje bilo efikasno, kalupni pijesak mora sadržavati najmanje 1,5...2% vlage. Zato je poželjno povećati vlažnost pijeska prije ulaza u ohlađivač, ali uz dobru regulaciju, jer se previše vlažan pijesak (4...5% vlage) lijepe na sito, što smanjuje kapacitet uređaja. Zbog relativno niske vlažnosti pijeska velika je potrošnja zraka, a struja zraka odvodi veću količinu sitnih čestica pijeska.

Kalupni pijesak se hladi i tokom transporta pomoću *pločastog transportera s perforacijama* (sl. 25) kroz koje prolazi zrak malom brzinom, tako da ima dovoljno vremena da se zasiti vodenom parom, a da ne otpuhne vezivo ili ugljenu prašinu.

Kalupni pijesak može se hladiti i u miješalici (sl. 32) tokom miješanja za pripremu kalupne mješavine. Tada se hladi isparivanjem vode iz vlažnog pijeska, što se postiže propuhivanjem zrakom.

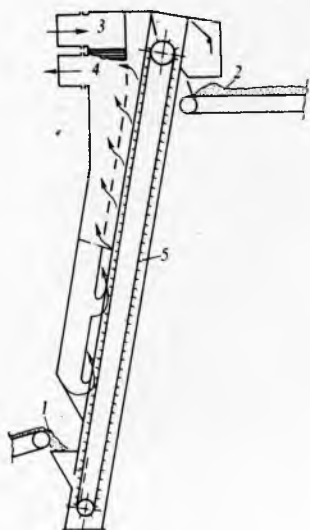
Temperatura se kalupnom pijesku može sniziti miješanjem povratnog (toplog) i tek pripremljenog (hladnog) pijeska. Takav postupak traži dvostruku količinu pijeska za radni ciklus, jer se polovica pripremljenog pijeska upotrebljava za kalupljenje, dok se druga polovica miješa s povratnim pijeskom.

Regeneracija kalupnog pijeska. U proizvodnom ciklusu isti se kalupni pijesak upotrebljava mnogo puta. Iako se u svakom novom ciklusu dodaje i novi pijesak, kvaliteta se kalupne mješavine smanjuje s povećanjem broja ciklusa, pa konačno postaje neupotrebljiva, jer se dodatkom novog veziva povećava debljina ovojnice oko zrnca i jer se zbog toga stvaraju grude. Osim toga, djelovanjem mehaničkih sila tokom miješanja i toplinskog udara dodiranjem s rastaljenim metalom ljušti se tako stvorena ovojnica, pa se stvara velika količina prašine, čime se mijenja granulacijski sastav pijeska. S povećanjem udjela prašine povećava se potrebna količina veziva.

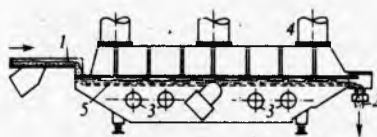
Regeneracijom kalupnog pijeska treba skinuti ovojnicu, jer se ispod nje nalazi praktički novo kremeno zrnce, i odstraniti prašinu iz kalupnog pijeska. To se postiže mehaničkim (mokrim i suhim) i toplinskim postupcima. Regeneracijom se može uštedjeti i do 70% novog pijeska.

Mokri postupci. Povratni kalupni pijesak (sl. 26) s istresne rešetke prelazi preko magnetskog separatora, kombinirane drobilice gruda i sita u spremnik. Iz spremnika pijesak se uvodi u bubnasti ovlaživač koji rotira, gdje nastaje suspenzija pijeska i vode. Suspenzija se pumpom prebacuje u primarni hidraulički separator u kojemu se odvaja prašina. Iz separatora se suspenzija uvodi u trljaču u kojoj se međusobnim trljanjem čestica pijeska, zrnca čiste od ovojnice. Tako obrađena suspenzija odlazi u hidraulički separator gdje se odvajaju sitne čestice od pijeska, a zatim u vakuumski filter gdje se smanjuje udio vode na 6...10%. Pijesak se zatim suši u sušari iz koje izlazi s temperaturom od $\sim 150\text{--}200^\circ\text{C}$. Nakon toga pijesak se hladi na temperaturu od $\sim 20\text{--}40^\circ\text{C}$. Suspenzija vode i sitnih čestica iz oba separatora odvodi se u taložnik. Tu se voda mora obrađiti u skladu s propisima o zaštiti okoliša prije nego što se ispusti u kanalizaciju.

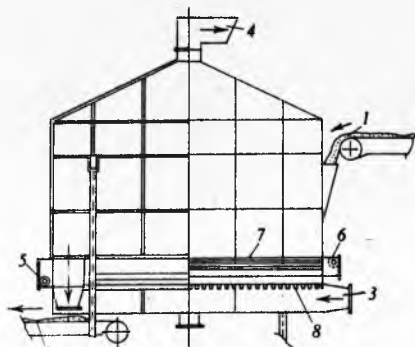
Taj je postupak vrlo pogodan za obradu kalupnih mješavina s bentonitnim vezivom ili vodenim staklom, dok je za mješavine s vezivima na osnovi sintetskih smola prikladniji toplinski postupak. Pijesak regeneriran mokrim postupkom vrlo je dobre kvalitete i ne razlikuje se mnogo od novog pijeska. Zbog zaostalog ugljika u šupljinicama zrnca regenerirani pijesak



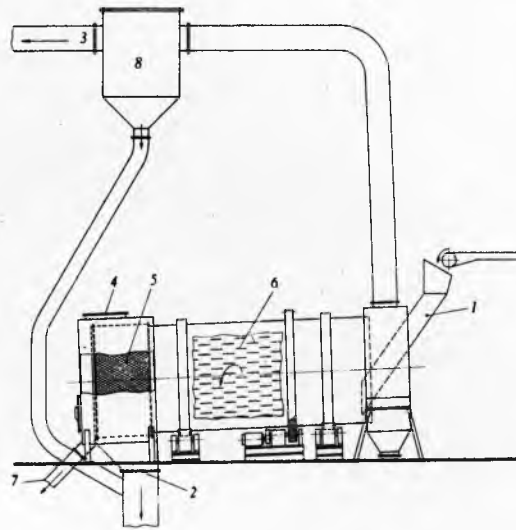
Sl. 21. Elevator za hlađenje pijeska. 1 ulaz toplog pijeska, 2 izlaz hladnog pijeska, 3 ulaz hladnog zraka, 4 izlaz toplog zraka, 5 rebrasta traka



Sl. 22. Vibracijski transporter za hlađenje pijeska. 1 ulaz toplog pijeska, 2 izlaz hladnog pijeska, 3 ulaz hladnog zraka, 4 odsis, 5 perforirana ploča



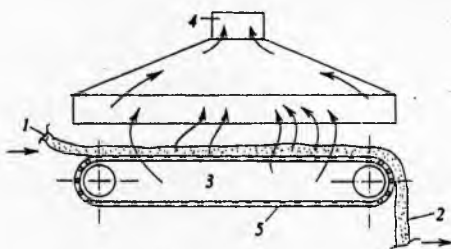
Sl. 23. Hlađenje kalupnog pijeska fluidizacijom. 1 ulaz toplog pijeska, 2 izlaz hladnog pijeska, 3 ulaz zraka, 4 odsis, 5 ulaz vode, 6 izlaz vode, 7 cijevi za hlađenje, 8 ploča za fluidizaciju



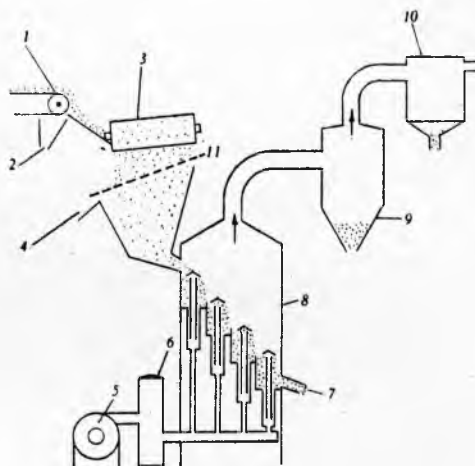
Sl. 24. Rotacijsko sito za hlađenje pijeska. 1 ulaz toplog pijeska, 2 izlaz hladnog pijeska, 3 odsis prašine, 4 ulaz zraka, 5 sito, 6 zubasti razrahljivač, 7 izlaz gruda, 8 ciklon

je obično sive boje, ali to bitno ne utječe na njegova svojstva. Zaostali ugljik može se odstraniti ako se mokra regeneracija kombinira s toplinskom, što ne zahtijeva veće pogonske troškove, jer se ionako pijesak mora osušiti.

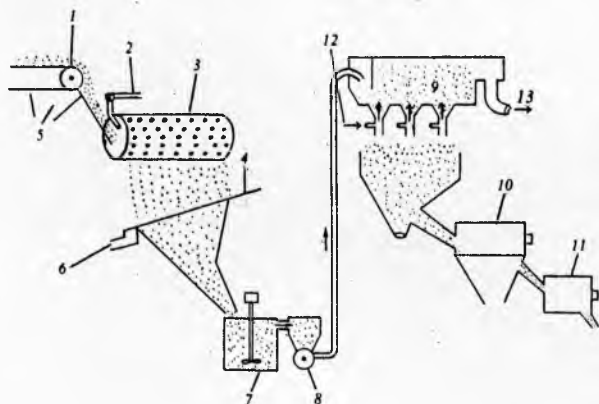
Suhi postupci. Od suhih postupaka regeneracije najuspješniji je pneumatski postupak (sl. 27). Upotrijebljeni kalupni pijesak transportira se preko magnetskog separatora, drobilice i sita do pneumatskog uređaja za čišćenje. Pijesak se mora prethodno osušiti ako je vlažnost veća od 1,5%. U pneumatskom uređaju pješčana zrnca međusobno se sudaraju pa otpada ovojnica i pješčana se zrnca čiste. Uređaj za čišćenje sastoji se od nekoliko kaskadno postavljenih jedinica. Jedinica za čišćenje sastoji se od vertikalnih cijevi iznad kojih je stožasti poklopac.



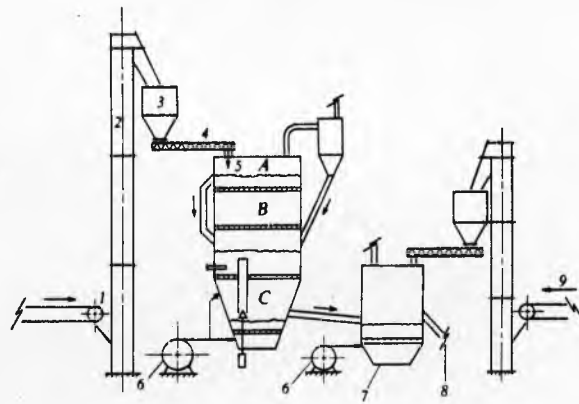
Sl. 25. Hlađenje kalupnog pijeska aeracijom na pločastom transporteru. 1 ulaz toplog pijeska, 2 izlaz hladnog pijeska, 3 ulaz zraka, 4 odsis, 5 transporter



Sl. 27. Shema suhe regeneracije kalupnog pijeska. 1 ulaz pijeska preko magnetskog odvajača, 2 izlaz metalnih uključaka iz pijeska, 3 drobilica gruda, 4 izlaz gruda pijeska, 5 ventilator, 6 spremnik za zrak, 7 izlaz regeneriranog pijeska, 8 pneumatska trljača, 9 ciklon za odvajanje sitnog pijeska, 10 ciklon za odvajanje prašine, 11 sito



Sl. 26. Shema mokre regeneracije kalupnog pijeska. 1 ulaz pijeska preko magnetskog odvajača, 2 ovlaživač, 3 drobilica gruda, 4 sito, 5 izlaz metalnih uključaka, 6 izlaz gruda pijeska, 7 trljača, 8 pumpa, 9 hidraulički separator, 10 vakuumska sušara, 11 sušara, 12 ulaz vode, 13 odjev vode



Sl. 28. Shema termičke regeneracije kalupnog pijeska. 1 ulaz prosijanog i očišćenog pijeska, 2 elevator, 3 spremnik, 4 dozator, 5 peć za žarenje (A predgrijanje na 300°C, B žarenje na 800°C, C pret-hlađenje na 600°C), 6 ventilator, 7 aerator za hlađenje pijeska, 8 izlaz regeneriranog pijeska, 9 ulaz novog pijeska

Pijesak usisan pneumatski prolazi kroz cijev i udara u pijesak koji je od prije zaostao unutar stožastog poklopca. Zbog sudara dio pijeska gubi kinetičku energiju i pada natrag te ulazi u ponovni ciklus čišćenja u istoj ili idućoj jedinici. Zrak, iskorisćen pri čišćenju, odvodi prašinu koja se odstranjuje u ciklonu i filtrima. Stupanj regeneracije regulira se brojem ciklusa čišćenja. Pneumatsko čišćenje upotrebljava se za mješavine s bentonitnim vezivom ili s vodenim staklom, a može se primijeniti i za mješavine s umjetnim smolama.

Među pneumatske postupke spada i regeneracija kombinirana sa saćmanjem, gdje je povezano istresanje, čišćenje i regeneracija. Takav se postupak primjenjuje za kalupe bez kalupnika kada se kompletan kalup uvodi u komoru za saćmanje gdje se odljevak čisti, a pijesak pada kroz sito u elevator. U pneumatskom separatoru odvajaju se sitne čestice, zatim se odvajaju saćma, dok se regenerirani pijesak vraća u proces. Prednost je kombiniranog postupka da nema istresnu rešetku, koja je izvor buke i prašine, te što se smanjuje transport pijeska.

Toplinski postupci. Iza istresne rešetke kalupni se pijesak obrađuje slično kao i u drugim postupcima, a zatim se uvodi u peć (sl. 28). Ako je postupak niskotemperaturni, pijesak se zagrijava na 250–400 °C, a ako je visokotemperaturni, zagrijava se na temperaturu višu od 850 °C. U visokotemperaturnom postupku izgorje svi organski sastojci veziva. Primjenjuje se za kalupne mješavine s vezivima na osnovi sintetskih smola, ali nije prikladan za uklanjanje ovojnice od glinenog veziva. Toplinski se postupak može kombinirati s drugim postupcima regeneracije.

Miješalice za pripremu kalupne mješavine. Kalupna mješavina priprema se miješanjem osnovnog materijala (najčešće kremenog pijeska) s vezivom i dodacima. Miješalice za pripremu kalupne mješavine sastoje se od bubnja u kojemu se miješa smjesa pomoću različitih valjaka, lopatica ili rotora. Kombiniranjem tih elemenata nastaju različiti tipovi miješalica. Izbor tipa miješalice uglavnom ovisi o vrsti veziva.

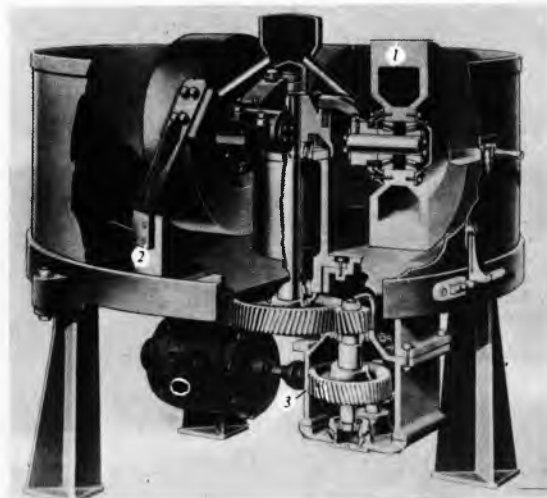
Prema načinu vezivanja kremenih zrnaca razlikuju se veziva koja vezuju djelovanjem fizikalnih sila (bentonitna glina) i veziva koja vezuju kemijskom reakcijom (uljna, silikatna veziva, smole). Za glinena veziva (bentonit) upotrebljavaju se miješalice s valjcima, a za uljna i silikatna veziva miješalice s lopaticama. Veziva očvrstiva u hladnom stanju (npr. furanske smole) imaju kratak vijek iskoristljivosti mješavine, pa je zato potrebno umiješati katalizator neposredno prije upotrebe. U tu svrhu služe jednokanalne vijčane miješalice. Za brzo očvrstive mješavine koje imaju još kraći vijek iskoristljivosti upotrebljavaju se dvokanalne miješalice s dvostepenim miješanjem. Tada se u jednom kanalu miješa pijesak s vezivom, a u drugome pijesak s katalizatorom, da bi se zatim u sekundarnoj miješalici sve izmiješalo zajedno. Te su miješalice često povezane sa streljkom za izradbu jezgri, a trajanje je očvršćivanja jezgri kraće od jedne minute. Noviji tipovi jednokanalnih miješalica služe i za miješanje brzo očvrstivih mješavina, jer lopatice imaju veliku brzinu vrtnje, tako da priprema mješavine traje vrlo kratko. Također postoje i miješalice koje pomoću rotora raspršuju smolu i katalizator u struju pijeska.

Miješalice za pripremu mješavine s glinenim vezivom. One služe ne samo da se dobije homogena mješavina nego i da se razviju vezne sposobnosti gline, tako da voda prodre među čestice gline i da glina obavije pješčana zrnca.

Najčešće se upotrebljavaju miješalice s valjcima. Valjci koji rotiraju miješaju i gnječe pijesak i glinu, a pješčana zrnca obavijaju se glinom djelovanjem tlačnih i smičnih sila. Prema položaju valjaka razlikuju se miješalice s vertikalno postavljenim valjcima (miješanje po dnu bubnja) i miješalice s horizontalno postavljenim valjcima (miješanje po bočnim stijenkama).

Obična miješalica s vertikalnim valjcima (sl. 29) ima u bubnju dva valjka, lopatice i strugač. Između valjaka i dna miješalice mora postojati razmak da bi se spriječilo drobljenje pješčanih zrnaca. Miješanje traje 3–5 min za kalupnu, 6–9 min za modelnu, a 6–12 min za jezgrenu mješavinu. Te miješalice daju kvalitetnu mješavinu i mnogo se upotrebljavaju u ljevaonicama.

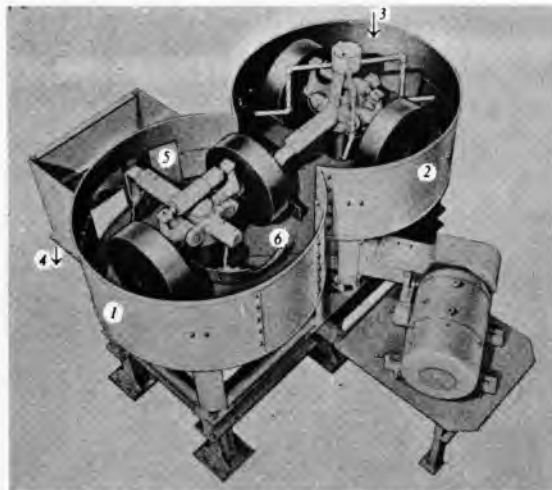
Kad je potrebna neprekinuta opskrba kalupnom mješavinom, povezuju se dvije miješalice s vertikalnim valjcima u



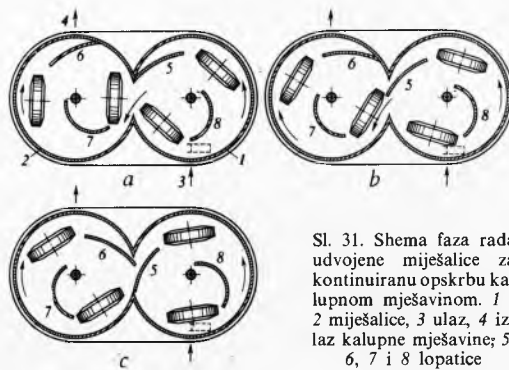
Sl. 29. Miješalica za kalupnu mješavinu s vertikalnim valjcima (žrvanj). 1 valjci, 2 lopatice za miješanje, 3 pogonski uređaj

udvojenu miješalicu ili osmicu (sl. 30). Mješavina se ubacuje u prvu miješalicu iz koje pri prolazu pokraj otvora između miješalica prelazi dio mješavine u drugu miješalicu. Slično prelazi dio mješavine iz druge u prvu miješalicu, ali u manjoj količini. Priredena mješavina ispušta se kontinuirano iz druge miješalice.

Umjesto drugog valjka u miješalicu s vertikalnim valjcima može se postaviti velika lopatica i strugač, pa se dobiva miješalica s jednim valjkom i jednom lopaticom. Ta se miješalica upotrebljava za mješavine s glinenim vezivom, a pogodna je za veziva velike viskoznosti.

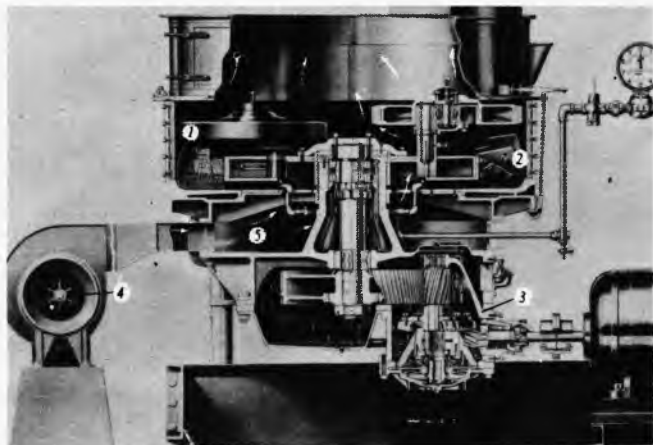


Sl. 30. Udvojena miješalica za kontinuiranu opskrbu kalupnom mješavinom. 1 i 2 miješalice, 3 ulaz kalupne mješavine, 4 izlaz kalupne mješavine, 5 i 6 lopatice



Sl. 31. Shema faza rada udvojene miješalice za kontinuiranu opskrbu kalupnom mješavinom. 1 i 2 miješalice, 3 ulaz, 4 izlaz kalupne mješavine; 5, 6, 7 i 8 lopatice

U miješalici s horizontalnim valjcima (sl. 32) nalaze se 2...3 valjka postavljena na različitim visinama. Valjci su spojeni s osovinom krakovima koji omogućuju da se djelovanjem centrifugalne sile valjci otklone prema stijenkama bubnja koje su obložene gumom. Pijesak se dovodi odozgo, a centrifugalne ga sile bacaju prema stijenkama bubnja. Pijesak s dna grabi posebna lopatica i nabacuje ga prema valjcima. Zrak se dovodi kroz gornji dio bubnja, prolazi kroz pijesak i odsisava se u donjem dijelu. Priprema kalupne mješavine traje ~1,5 min.



Sl. 32. Miješalica s horizontalnim valjcima (brza miješalica) s hlađenjem kalupne mješavine zrakom. 1 valjci, 2 lopatice, 3 pogonski uređaj, 4 ventilator, 5 strujanje zraka za hlađenje

Miješalice za pripremu kemijski očvrstivih mješavina. Za kalupne mješavine koje očvrstnu kemijskom reakcijom veziva najvažnije je miješanjem ostvariti homogenu mješavinu pijeska i veziva. Ako je reakcija vezivanja ovisna o vanjskim uvjetima (npr. o grijanju ili propuhavanju plinom), točna regulacija trajanja miješanja nije potrebna. Ako se, međutim, upotrebljavaju samoočvrstive mješavine, potrebne su posebne miješalice i brza otprema mješavine da se mješavina ne stvrdne u miješalici.

Jednokanalna miješalica (sl. 33) jedna je od prvih takvih miješalica za pripremu mješavine s vezivima koja očvrstnu na sobnoj temperaturi. Vijak smješten u kanalu miješa i transportira mješavinu. Vijak je sastavljen od više lopatica. Oblik lopatica ovisi o vrsti veziva. Pijesak ulazi u gornjem dijelu, a dvije programirane pumpe opskrbljuju miješalicu vezivom i katalizatorom koji se uvode u pijesak kroz sapnice postavljene bočno. Grade se u dvije varijante: brza i spora miješalica, koje se razlikuju prema brzini vrtnje vijka za miješanje.



Sl. 33. Jednokanalna vijčana spora miješalica. 1 ulaz, 2 izlaz kalupne mješavine, 3 kanal za miješanje

Slične je izvedbe jednokanalna miješalica sa dva vijka. Ona ima veći kanal u kojemu se nalaze dva vijka koji ulaze jedan u drugi i okreću se u suprotnim smjerovima.

Dvokanalne miješalice rade u dvije faze. Prva faza obuhvaća miješanje pomoću vijaka u dva odvojena kanala. Pijesak se dovodi u oba kanala, vezivo u jedan, a katalizator u drugi kanal. Tako pripremljene mješavine dovode se u glavu za drugu fazu miješanja. Prema izvedbi glave razlikuju se brze i spore dvokanalne miješalice. Brza miješalica ima stožastu glavu s rotorom, a spora u glavi ima lopatice. Brza miješalica radi kontinuirano, a spora diskontinuirano, često u kombinaciji sa streljkom.

Lopatičasta miješalica (sl. 34) ima horizontalno postavljene lopatice u obliku slova S. Obodnica bubnja pokrivena je zamjenljivim segmentima sa spiralnim rebrima. Trokomorna lopatičasta miješalica sastoji se od tri lopatičaste miješalice smještene jedna iznad druge. Te se miješalice uglavnom upotrebljavaju za uljna i silikatna veziva, a mogu se primijeniti i za druga kemijski očvrstiva veziva, osim za ona koja se brzo očvršćuju.



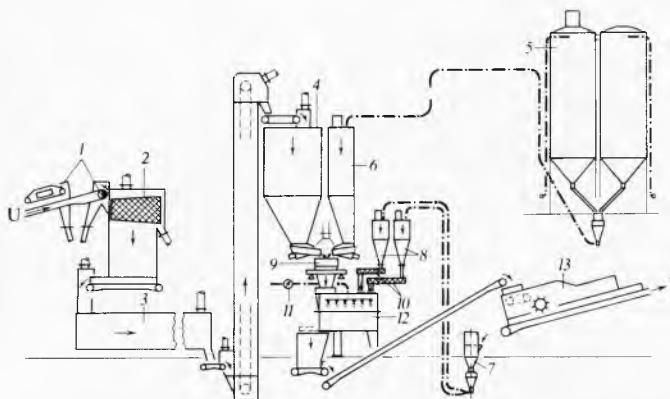
Sl. 34. Lopatičasta miješalica s lopaticama u obliku slova S

Osim spomenutih miješalica, upotrebljavaju se lopatičaste kuglaste miješalice s horizontalnim i vertikalnim lopaticama, te miješalice s brzim vertikalnim rotorom. One se upotrebljavaju za posebne svrhe.

Automatska kalupna mješavina. Stupanj mehanizacije za pripremu kalupne mješavine ovisi o proizvodnom procesu ljevaonice.

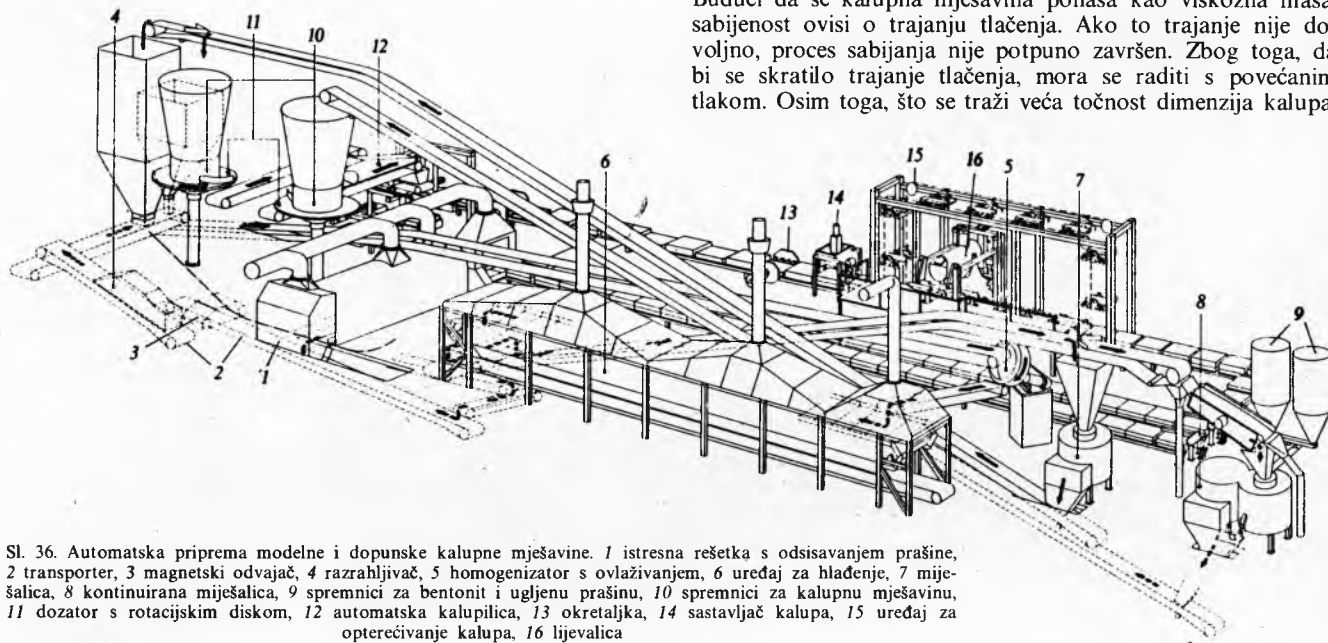
U malim ljevaonicama s diskontinuiranim proizvodnim procesom priprema kalupne mješavine samostalna je proizvodna jedinica i tada se obično sastoji od vibracijskog sita, magnetskog odvajaa, zasipnog uređaja, miješalice i eventualno spremnika za pripremljeni pijesak. Pijesak se transportira kolicima ili nekim drugim transporterom.

U velikim ljevaonicama s kontinuiranom proizvodnjom ista se kalupna mješavina upotrebljava ne samo nekoliko puta u



Sl. 35. Shema automatske pripreme kalupne mješavine. 1 magnetski odvajaa, 2 poligonalno sito, 3 uređaj za hlađenje, 4 spremnik upotrijebljenog kalupnog pijeska s dozatorom, 5 skladišni spremnik novog pijeska s pneumatskim otpremačem, 6 spremnik novog pijeska s dozatorom, 7 pneumatski otpremač veziva i dodataka, 8 spremnik za vezivo i dodatke, 9 dozirni spremnik s vagom za novi i upotrijebljeni kalupni pijesak, 10 dozatori za vezivo i dodatke, 11 dozator vode, 12 miješalica, 13 razrahljivač; U ulaz upotrijebljenog kalupnog pijeska, I izlaz gotove kalupne mješavine

proizvodnom ciklusu tokom jedne smjene već su potrebne i vrlo velike količine materijala koje treba pripremiti i transportirati. U kontinuiranom proizvodnom procesu rad svih uređaja mora biti sinhroniziran, pa se ni priprema pijeska ne može odvojiti od ostalog proizvodnog ciklusa, koji se nakon pripreme mješavine nastavlja kalupljenjem, a zatim istresanjem kalupa i ponovnom pripremom kalupne mješavine. Odabrani sustav pripreme kalupne mješavine ovisi o načinu kalupljenja, tj. da li ljevaonica radi s jedinstvenom (sl. 35) ili dvojnomo (modelnom i dopunskom) mješavinom (sl. 36).



Sl. 36. Automatska priprema modelne i dopunske kalupne mješavine. 1 istresna rešetka s odsisavanjem prašine, 2 transporter, 3 magnetski odvajač, 4 razrahljivač, 5 homogenizator s ovlaživanjem, 6 uređaj za hlađenje, 7 miješalica, 8 kontinuirana miješalica, 9 spremnici za bentonit i ugljenu prašinu, 10 spremnici za kalupnu mješavinu, 11 dozator s rotacijskim diskom, 12 automatska kalupilica, 13 okretaljka, 14 sastavljač kalupa, 15 uređaj za opterećivanje kalupa, 16 lijevalica

U tipičnom proizvodnom ciklusu kalupna mješavina, nakon istresne rešetke, prolazi kroz magnetski odvajač, zatim se drobe pješčane grude i mješavina se prosijava, te se ponovno pomoću magneta iz mješavine odvajaju željezne uključine. Dobiveni kalupni pijesak neujednačenih je svojstava, pogotovu s obzirom na temperaturu i vlažnost, pa ga se dovodi u rotacijski bubanjasti homogenizator i eventualno vlaži. Nakon toga se kalupni pijesak hladi i još jednom prolazi kroz magnetski odvajač, pa se transportira u spremnik upotrijebljenog pijeska. Uz taj spremnik nalazi se i spremnik novoga pijeska. Upotrijebljeni i novi pijesak ubacuju se u potrebnom omjeru u težinski spremnik iznad miješalice, u kojemu se važu prije miješanja. U miješalicu se osim novog i upotrijebljenog pijeska dodaju potrebne količine vode, bentonita i ugljene prašine, ponekad u obliku vodene suspenzije. Pripremljena se kalupna mješavina nakon miješanja razrahljuje i otprema u spremnike iznad kalupilica.

Suvremena priprema kalupne mješavine potpuno je automatizirana i iz upravljačke kabine može se kontrolirati cijeli proces. Kvaliteta kalupa, a time i odljevaka, ovisi o svojstvima kalupne mješavine, pa je potrebna trajna kontrola svojstava mješavine.

Kalupljenje

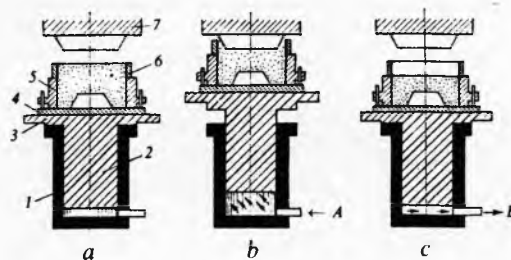
Način kalupljenja ovisi uglavnom o vrsti veziva. Za pojedinačnu proizvodnju obično se upotrebljavaju veziva koja vežu kemijskom reakcijom, pa je u takvim ljevaonicama mehanizirano samo miješanje i neki pomoćni zahvati u vezi s kalupljenjem. Kad se proizvodi serijski, upotrebljava se glineno vezivo (bentonit), a kalup očvršće zgušnjavanjem, odnosno sabijanjem kalupne mješavine. Nekada se kalupna mješavina sabijala ručno. Danas se to radi strojevima za izradbu kalupa, tzv. kalupilicama. Suvremenim kalupilicama može se izraditi 50–400 kalupa na sat.

U kalupilicama se kalupna mješavina sabija tlačenjem (pritiskalice), trešnjom (treskalice), upuhavanjem (puhalice), nabacivanjem (pjeskomet) i kombinacijom tih postupaka.

Pritiskalice (sl. 37). Model je s modelnom pločom pričvršćen na stolu kalupilice, a stol je spojen sa stapom pneumatskog cilindra. Kalupnik se postavlja na modelnu ploču, centrira se pomoću svornjaka, te se napuni kalupnom mješavinom. Zrak tlaka 0,4–0,6 MPa uvodi se u cilindar, stap podiže stol i tlači kalup o nepomičnu gornju ploču. Zgušnjavanjem kalupne mješavine povećava se čvrstoća i tvrdoća kalupa.

Osnovni je nedostatak pritiskalice nejednolika sabijenost, pa i nejednolika čvrstoća i tvrdoća po visini kalupa. Dio kalupa uz tlačnu površinu više je sabijen od ostalog dijela kalupa. Budući da se kalupna mješavina ponaša kao viskozna masa, sabijenost ovisi o trajanju tlačenja. Ako to trajanje nije dovoljno, proces sabijanja nije potpuno završen. Zbog toga, da bi se skratilo trajanje tlačenja, mora se raditi s povećanim tlakom. Osim toga, što se traži veća točnost dimenzija kalupa,

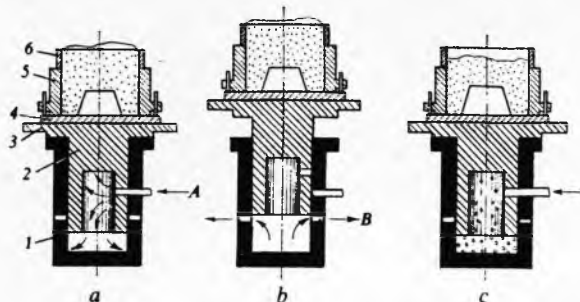
kalup mora biti tvrdi. Zbog svega toga s razvojem pritiskalice povećavao se tlak zraka na 0,7–0,9 MPa, čime je povećana sila koja djeluje na kalupnu mješavinu, zatim su povećavane dimenzije stapa, pa je konačno pneumatski pogon zamijenjen hidrauličkim. Uvođenjem automatizacije pritiskalice je postala komplicirana kalupilica s velikim proizvodnim učinkom (i više od 350 kalupa na sat). U takvoj kalupilici na mješavinu djeluje tlak veći od 0,65 MPa, a proizvode se kalupi tvrdoće veće od HB85.



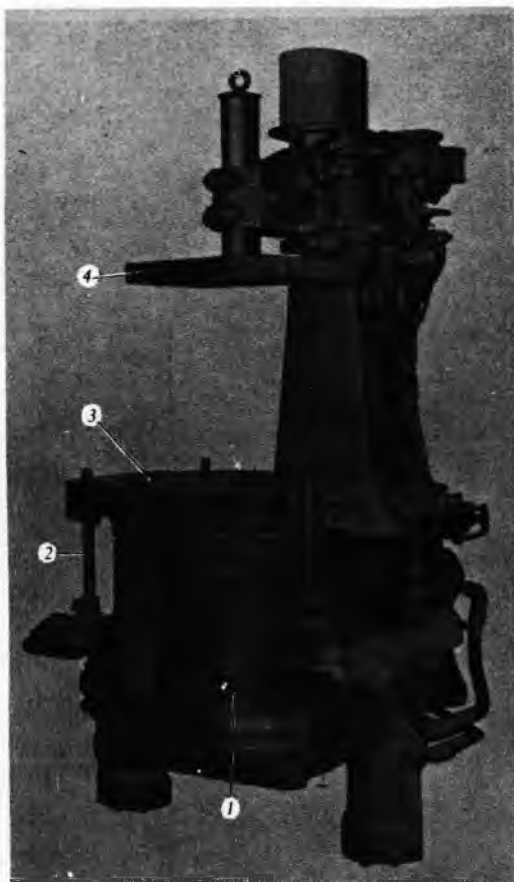
Sl. 37. Shema rada pritiskalice: a početak rada, b sabijanje, c završetak kalupljenja; 1 radni cilindar, 2 klip, 3 stol, 4 modelna ploča, 5 kalupnik, 6 okvir za dopunsku kalupnu mješavinu, 7 protuploča; A ulaz zraka, B izlaz zraka

Treskalice (sl. 38). Slično kao kod pritiskalice, model je s modelnom pločom učvršćen za radni stol stroja, koji je povezan s pneumatskim cilindrom. Kalupnik, ispunjen kalupnom mješavinom, nalazi se na modelnoj ploči, a zrak pod tlakom od 0,4–0,6 MPa podiže stap koji na kraju podizanja otvara ispušni otvor, pa se tlak u cilindru naglo snizi. Zbog toga klip koji zajedno s modelnom pločom i kalupnikom slobodno pada s visine od 30–100 mm udari o oslonac, i tada se otvara dovod zraka u cilindar. Ciklus se ponavlja sve dok se ne prekine dovod zraka. Potreban broj udaraca ovisi o tipu kalupa, o

veličini podizaja te o potrebnoj čvrstoći i tvrdoći kalupa. Sila sabijanja djeluje pri svakom udarcu, tj. impulsno, a pijesak se sabija djelovanjem inercijskih sila kalupne mješavine. Zato sabijenost nije jednolika, već je najveća blizu modelne ploče gdje su inercijske sile najveće, a gornja površina kalupa ostaje posve nesabijena, te je treba dodatno sabiti. Zbog toga se kombinira rad treskalice s pritiskalicom koja u zadnjoj fazi sabija gornji dio kalupa. Takvi strojevi nazivaju se treskalicama s dosabijanjem (sl. 39). Naknadno sabijanje zahtijeva dosta vremena i smanjuje proizvodnost stroja, pa se danas grade treskalice s istodobnim tlačenjem i trešnjom.



Sl. 38. Shema rada treskalice: a početak rada, b sabijanje, c za-vršetak kalupljenja; 1 radni cilindar, 2 klip, 3 stol, 4 modelna ploča, 5 kalupnik, 6 okvir za dopunsku kalupnu mješavinu, A ulaz zraka, B izlaz zraka



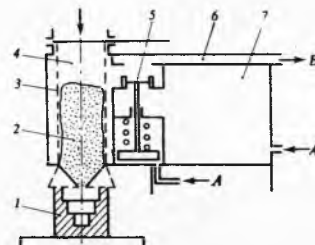
Sl. 39. Treskalica s dosabijanjem. 1 radni cilindar, 2 podi-zači kalupa, 3 stol kalupnice, 4 protuploča

Veća proizvodnost treskalice postiže se povećanom visinom podizaja, jer se tako povećavaju inercijske sile i smanjuje se potrebni broj udaraca. Zbog previše udaraca kalup može napuknuti. Sabijanje kalupne mješavine treskanjem traži više energije nego sabijanje tlačenjem, ali se treskalicom postiže vrlo

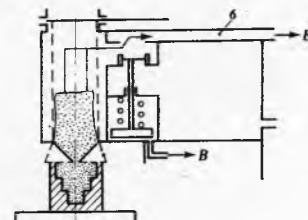
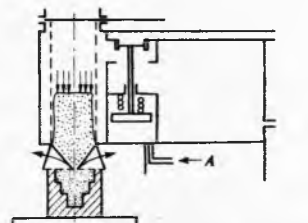
dobra sabijenost oko modela, iako je postupak relativno spor i bučan. Velika buka također je jedan od razloga da se treska-lice sve manje upotrebljavaju, jer prema pravilima ISO buka u ljevaonicama ne smije preći 85 dB, a buka koju proizvodi treskalica za vrijeme rada iznosi više od 106 dB.

Puhalice. Kalupna se mješavina transportira pneumatski iz komore stroja u kalupnik ili jezgrenik i istodobno se sabija komprimiranim zrakom. Zrak iz jezgrenika (ili kalupnika) ispušta se kroz posebne oduške.

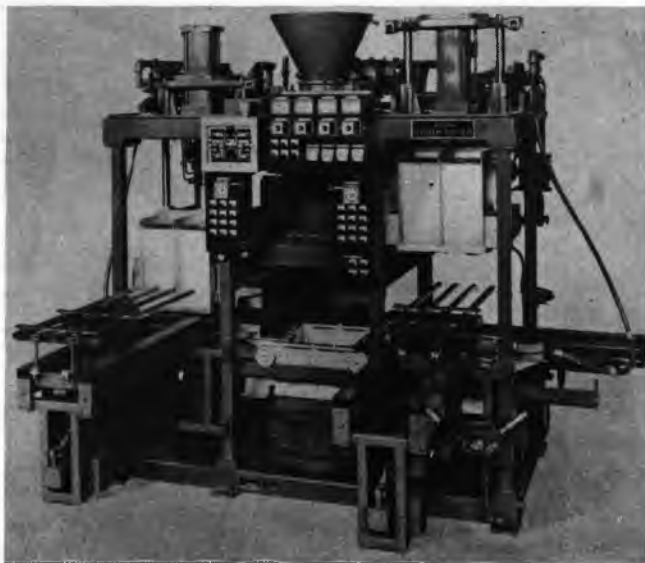
Novi tipovi puhalica nazivaju se streljke (sl. 40). Kalupna mješavina smještena je u komori za upucavanje koja ima mnogo otvora raspoređenih u bočni i gornji pojas. Iz velikog rezervoara u glavi stroja upušta se zrak pod tlakom u komoru za upucavanje. Zrak koji ulazi kroz gornje otvore istjeruje, a zrak koji ulazi kroz bočne otvore razrahljuje kalupnu mješavinu.



Sl. 40. Shema rada streljke, 1 jezgre-nik, 2 kalupna mješavina, 3 otvori za ulaz zraka, 4 komora za upucavanje, 5 ventil, 6 odušni kanal, 7 spremnik stlačenog zraka; A ulaz, B izlaz zraka



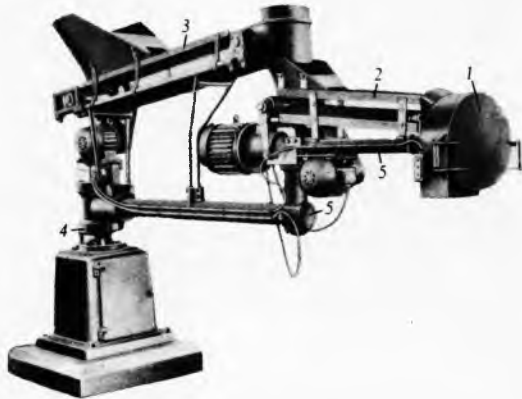
Komora ima ispred izlaznog otvora konično suženje da bi se mješavina sabila prije izlaza i tako što kompaktnije usmjerila



Sl. 41. Automatizirana streljka za izradbu jezgri

u šupljinu jezgrenika. Djelovanjem tlaka zraka kalupna mješavina izlijeće iz komore poput strijele, te odatle i naziv stroja. Tako sabijena mješavina djeluje manje abrazivno na stijenke jezgrenika, a utrošak zraka je malen, jer je ventil za zrak otvoren vrlo kratko vrijeme, tj. samo koliko je potrebno da zrak ispuni komoru za upucavanje. Streljke (sl. 41) su veoma rašireni strojevi za izradbu jezgri od mješavina s različitim vezivima, ali se također upotrebljavaju za kalupljenje.

Pjeskomet (sl. 42) puni kalupnik i pijesak sabija u njemu nabacivanjem kalupne mješavine. U glavi pjeskometa nalazi se



Sl. 42. Stabilni pjeskomet. 1 glava pjeskometa, 2 i 3 transporter kalupne mješavine, 4 postolje, 5 vodilice glave pjeskometa

rotor s jednom do tri lopatice. Kalupna se mješavina kontinuirano dovodi trakastim transporterom do glave pjeskometa gdje ju zahvaćaju lopatice i u grudama izbacuju vertikalno prema kalupniku. Tako se istodobno puni kalupnik i sabija mješavina, što je zapravo mehaniziran stari način ručnog kalupljenja. Gibanjem glave pjeskometa postiže se dobra i jednolika sabijenost kalupa. Glava pjeskometa postavljena je na dvije povezane poluge, tzv. ruke pjeskometa, što omogućuje da se glava giba po cijeloj površini kalupa. Brzina vrtnje lopatice

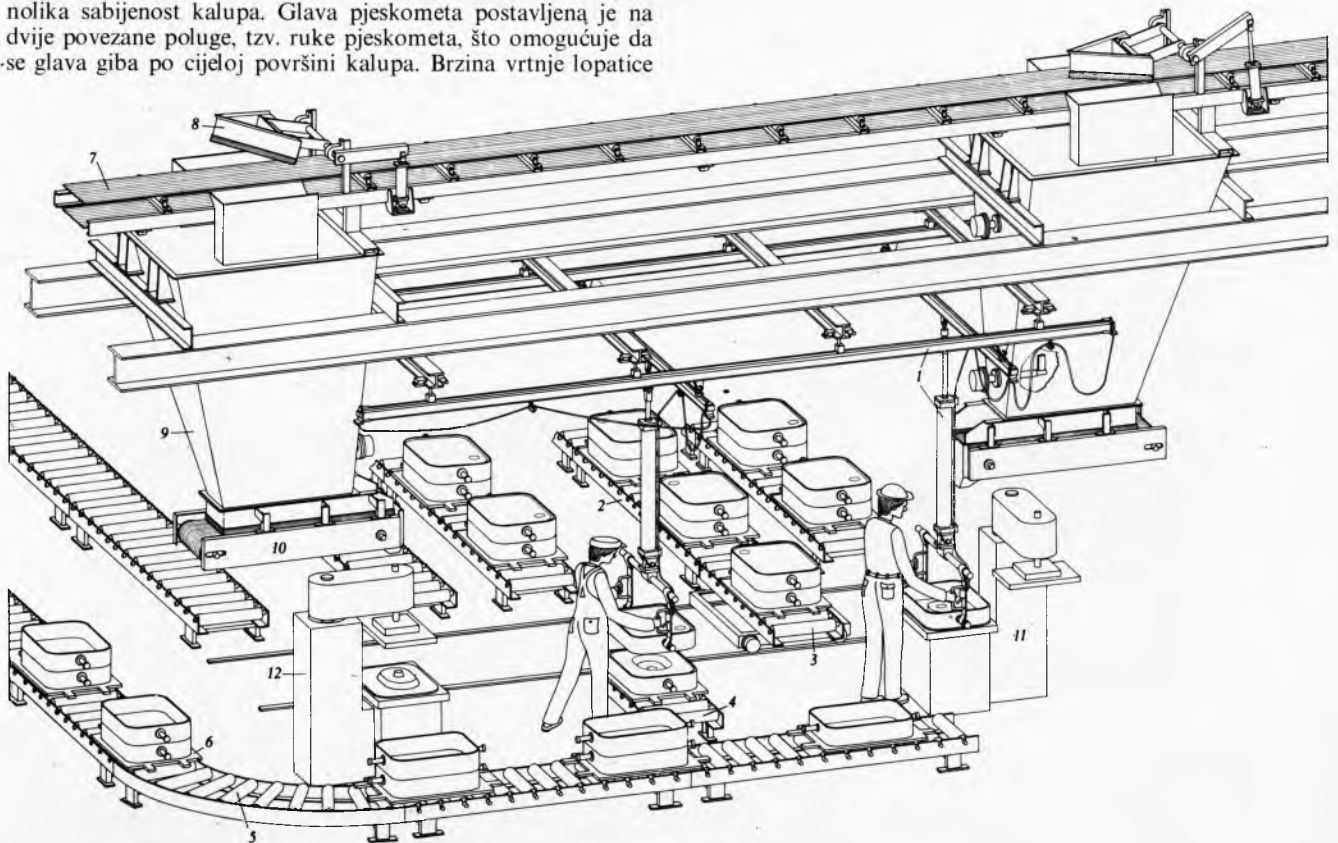
rotora iznosi $1000 \dots 1500 \text{ min}^{-1}$, a izlazna brzina grude $30 \dots 50 \text{ m/s}$.

Pjeskomet se upotrebljava za sabijanje kalupa različitih dimenzija u pojedinačnoj proizvodnji, kalupa sličnih dimenzija u serijskoj proizvodnji, ali uglavnom za izradbu srednjih i velikih kalupa. Razlikuju se dva tipa pjeskometa: stabilni i pokretni. Stabilni pjeskomet služi za izradbu kalupa sličnih dimenzija i obično je kombiniran s karuselom na kojemu se obavljaju pripremne i završne operacije. Operater ili automat upravljaju pomicanjem glave pjeskometa. Pokretni pjeskomet služi za izradbu više velikih kalupnika različitih dimenzija. Pokretni pjeskomet kreće se po tračnicama uz koje su postavljeni kalupi. Kalupna se mješavina doprema do pokretnog pjeskometa trakastim transporterom, ili pjeskomet ima spremnike u koje se doprema kalupna mješavina dizalicom.

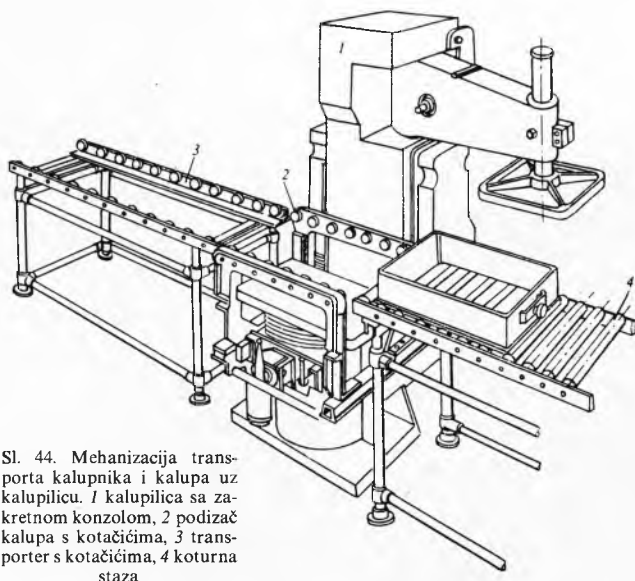
Z. Bonačić-Mandinić

Kalupne linije sastoje se od kalupilica i pomoćnih uređaja za kalupljenje povezanih transporterima u jedinstveni sustav. Izbor stupnja mehanizacije kalupne linije ovisi o veličini, obliku i kompliciranosti odljevka, te o veličini serije koju treba kalupiti. Kalupne linije mogu biti mehanizirane ili automatske. Kalupne su linije mehanizirane ako radnik obavlja radove u procesu kalupljenja na strojevima kojima upravlja pomoću sklopki, prekidača, ventila i sl. Kalupna je linija automatska kad je cijeli proces na liniji programiran i teče kontinuirano automatski od operacije do operacije. Pored automatskih kalupnih linija postoje i kalupni automati.

Mehanizirane kalupne linije (sl. 43). U mehaniziranim kalupnim linijama upotrebljavaju se uobičajene vrste kalupilica s prigradenim dodatnim uređajima koji prilagođuju kalupilicu radu s pomoćnim uređajima i transportnim stazama. Najčešće se prigraduju naprave za brzo stezanje modelnih ploča, tračnice s kotačima za dopremu i otpremu modelnih ploča s radnog stola kalupilice, kotačići na podizačima kalupnika koji prihvataju kalupnik s transportera i koji nakon kalupljenja podižu

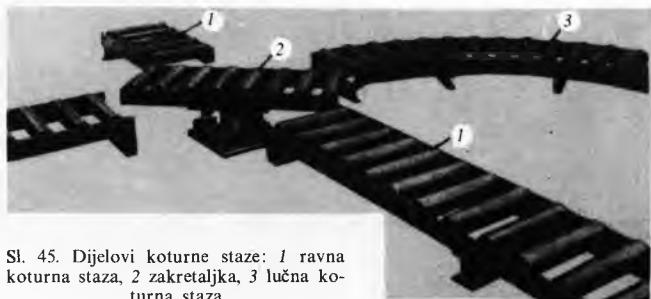


Sl. 43. Mehanizirana kalupna linija sa dvije kombinirane kalupilice (treskalice s dosabijanjem). 1 konstrukcija jednotračnih dizalica, 2 koturne staze za ulijevanje i hlađenje, 3 vagončić razdjelne staze, 4 ulaganje jezgri i sklapanje kalupa, 5 povratna staza praznih kalupnika, 6 transportna paleta, 7 trakasti transporter pripremljene kalupne mješavine, 8 skidač kalupne mješavine, 9 spremnik kalupne mješavine, 10 dozirni transporter kalupne mješavine, 11 kalupilica za donjak, 12 kalupilica za gornjak



Sl. 44. Mehанизacija transporta kalupnika i kalupa uz kalupilicu. 1 kalupilica sa zakretnom konzolom, 2 podizač kalupa s kotačićima, 3 transporter s kotačićima, 4 koturna staza

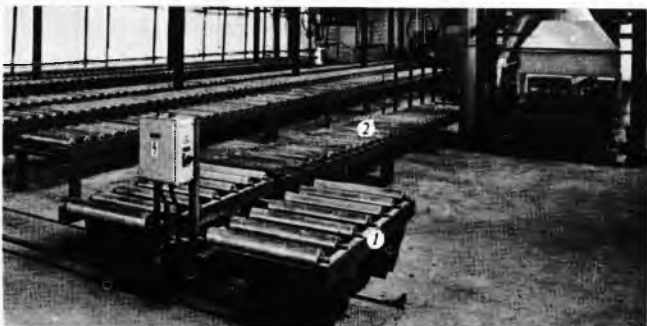
kalup i upućuju ga na transporter (sl. 44). Za rukovanje kalupnicima i kalupima upotrebljavaju se jednotračne dizalice s vitlom na električni ili pneumatski pogon. Kalupi i kalupnici transportiraju se na koturnim stazama. Te su staze nosiva profilna konstrukcija u koju su ugrađeni valjci na kugličnim ležajima. Koturne staze sastoje se od ravnih segmenata ili segmenata u obliku lukova (sl. 45). Kalupi i kalupnici transportiraju se na koturnoj stazi ručno guranjem, gravitacijski ili



Sl. 45. Dijelovi koturne staze: 1 ravna koturna staza, 2 zakretaljka, 3 lučna koturna staza

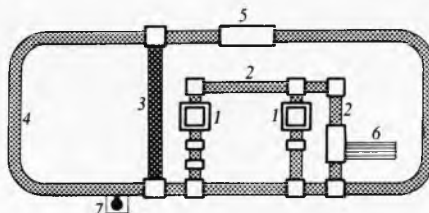
električnim pogonom valjaka (pogonski valjci). Za prijevoz kalupa od jedne do druge staze upotrebljavaju se vagončići s ručnim ili elektromotornim pogonom (sl. 46). Osim za transport kalupnika i kalupa, koturne staze služe i kao skladišta rezervnih kalupa u slučaju zastoja u pojedinim odjelima ljevaonice, a na njima se također ulijevaju i hlade kalupi.

U ljevaonicama krupnih odljevaka upotrebljavaju se i različiti pomoćni strojevi koji su konstruirani za obavljanje neke od faza kalupljenja. Tako, npr., postoje strojevi za okretanje kalupa, za podizanje kalupa i vađenje modela, za sklapanje kalupa, uređaji i naprave za učvršćivanje kalupnika na koturnim stazama pri kalupljenju itd.



Sl. 46. Razdjelna koturna staza s električnim pogonom. 1 vagončić staze sa dva koturna segmenta, 2 paralelne koturne staze

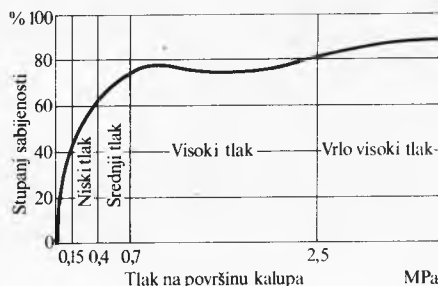
Automatske kalupne linije obično se primjenjuju u ljevaonicama s proizvodnjom od ~80 većih ili ~120 manjih kalupa na sat. Suvremene su kalupilice opremljene uređajima za izmjenu modelnih ploča u taktu, pa to omogućuje upotrebu automatskih linija i u uslužnim ljevaonicama, a ne samo u ljevaonicama velikih serija. Najčešće se automatske kalupne linije primjenjuju u ljevaonicama željeznih ljevova. Vrsta, veličina i broj sastavnih dijelova i uređaja ovisi o proizvodnom programu i raspoloživom prostoru. Usprkos tome svaka automatska kalupna linija ima sljedećih pet osnovnih dijelova: automatske kalupilice, liniju kalupnika, liniju utega, transporter kalupa te upravljačku hidrauličku i elektroenergetsku stanicu (sl. 47).



Sl. 47. Opća shema automatske kalupne linije. 1 kalupilica, 2 linija kalupnika, 3 linija utega, 4 transporter kalupa, 5 upravljačka hidraulička i elektroenergetska stanica, 6 istresna rešetka, 7 lijevalica

Automatske kalupilice. Pritiskalice su jedini tip automatskih kalupilica koje se upotrebljavaju u automatskim kalupnim linijama. Taj tip kalupilica pokazao se najpovoljnijim, jer se postižu velike brzine kalupljenja i u srednjim i velikim kalupima.

Pritiskalice koje se upotrebljavaju u automatskim linijama rade s većim tlakom koji djeluje na površinu kalupa nego obične pritiskalice (povećanje od 0,4...0,7 MPa na 1,0...1,5 MPa). Zbog konfiguracije modela u kalupu različita je visina kalupne mješavine, pa je različit i raspored tlaka unutar kalupa, a zbog toga i različita sabijenost smjese. Ako, međutim, pritiskalice radi unutar područja visokog tlaka (sl. 48), sabijenost kalupne mješavine gotovo ne ovisi o lokalnim promjenama tlaka. Visoki

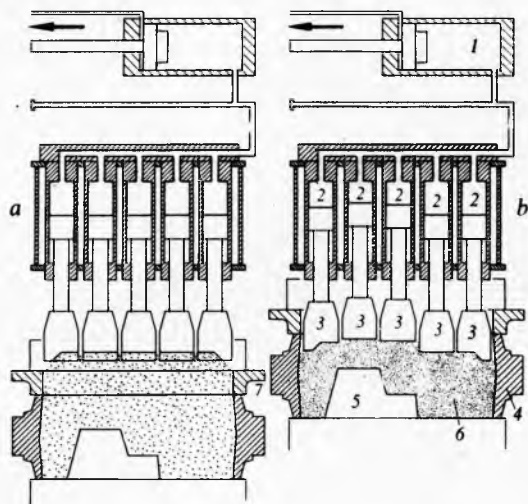


Sl. 48. Ovisnost stupnja sabijenosti o tlaku na površinu kalupa

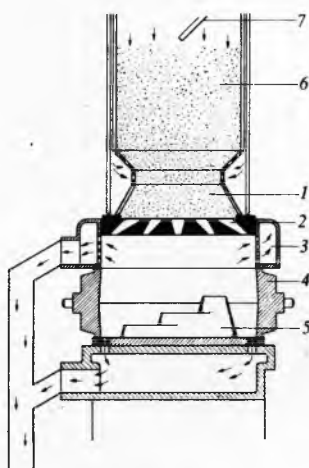
tlak koji djeluje udarno naglo se širi kroz kalupnu mješavinu, pa ona teče i ravnomjerno popunjava kalup bez obzira na reljefnost modela. Pri tom postoji opasnost od pojave povratnog opruženja, tj. nadimanja kalupne mješavine, što se pojavljuje zbog ekspanzije zaostalog zraka (spring back effect) kad prestane djelovanje tlaka. To se sprečava kontroliranom regulacijom djelovanja tlaka na kalup. Kad su modeli reljefno vrlo izraženi, najjednostavnije je upotrijebiti reljefne protuploče koje približno prate visinske razlike modela i tako osiguravaju približno jednake tlakove, odnosno jednaku sabijenost po površini kalupa. Regulacija tlaka može se ostvariti i pomoću diferencijalne (višedijelne) protuploče (sl. 49). Tada je tlačna površina podijeljena u više (20...120) kvadratnih ili pravokutnih elemenata, a svaki je od njih povezan s vlastitim tlačnim cilindrom priključenim na jedan zajednički spremnik. Za vrijeme kalupljenja onaj element koji nailazi na najmanji otpor prodire

najdublje u kalupnu mješavinu. Od trenutka kad je u svim cilindrima postignut nazivni tlak, svi elementi tlače jednako, pa diferencijalna ploča djeluje kao jedinstvena kruta ploča.

Kad model ima više rebara ili kad su rebra visoka, treba primijeniti takav postupak punjenja kalupnika koji osigurava da kalupna mješavina ispuni uske prostore među rebrima već pri punjenju kalupnika mješavinom.



Sl. 49. Diferencijalna protuploča. a početak kalupljenja, b završetak kalupljenja; 1 spremnik ulja, 2 cilindri, 3 elementi, 4 kalupnik, 5 model, 6 kalupna mješavina



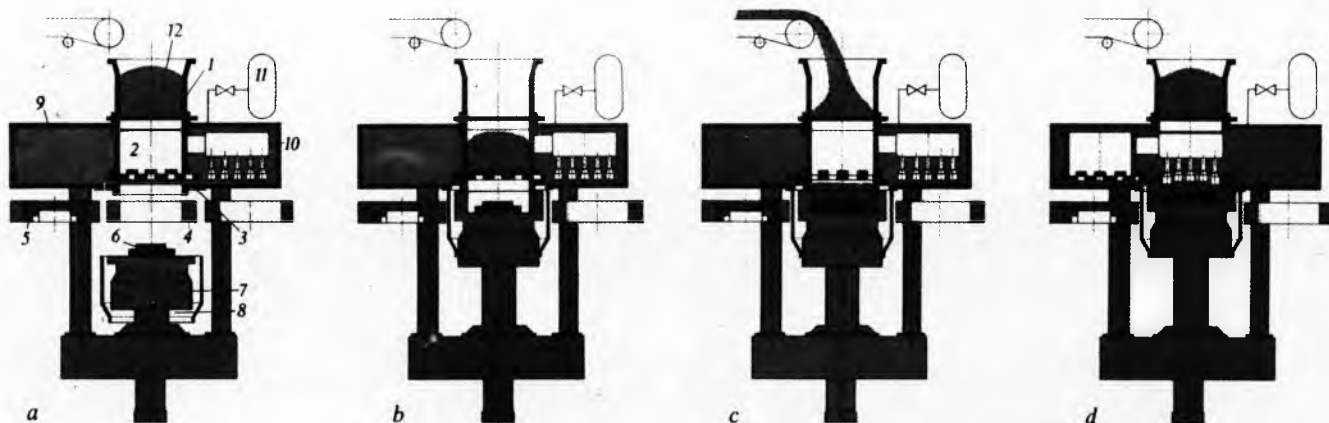
Sl. 50. Glava za upucavanje kalupne mješavine. 1 glava za upucavanje, 2 mlaznice, 3 odvodi zraka, 4 kalupnik, 5 model, 6 kalupna mješavina, 7 zatvarač dozirnog spremnika

Najčešće se to postiže postupkom upucavanja dijela kalupne mješavine (sl. 50). U spremnik za doziranje ugrađena je glava za upucavanje kojom se oko polovice kalupne smjese upuca u kalupnik. Ostalim dijelom smjese napuni se kalupnik do vrha, pa se dalje kalupi uobičajenim postupkom. Drugim postupkom kalupnik se puni pod podtlakom (sl. 51). Model i kalupnik se nalaze u komori iz koje se prije i za vrijeme punjenja kalupnika evakuira zrak. Zbog toga se kalupnik popunjava ravnomjerno i nema zračnog jastuka u uskim rasporima modela. Slijedi uobičajeni postupak kalupljenja. Takvim postupkom eliminira se nadimanje kalupne mješavine, a habanje modela mnogo je manje nego kad se smjesa upucava u kalup.

Linija kalupnika obuhvaća sve uređaje i transportere od mjesta na kojemu se kalup skida s kolica transportera kalupa do mjesta gdje se polaže donjak na transporter kalupa, odnosno do mjesta gdje se zatvara kalup (sl. 52). Linija kalupnika počinje s uređajem koji pomoću hvataljke skida kompletni kalup s kolica transportera kalupa i postavlja ga na koturnu stazu transportera kalupnika. Transporter linije kalupnika prenosi kompletne kalupe i kalupnike od jednog do drugog uređaja linije kalupljenja. Kompletan kalup zatim dolazi do uređaja za istiskivanje sadržaja kalupa. Pomoću hidrauličnog cilindra istiskuje se kalupni pijesak i odljevak na istresnu rešetku, a zatim prazni kalupnici gornjaka i donjaka, još uvijek spojeni zajedno, odlaze u uređaj za čišćenje gdje se četkama očiste s unutrašnje strane. Nakon čišćenja transporter otprema kalupnike u uređaj za rastavljanje kalupnika. Tu se gornjak kalupnika rastavi od donjaka, pa svaki zasebno odlazi na kalupljenje u kalupnicu. Ako je potrebno, nakon kalupljenja u donjak se ulazi jezgre i zatim se u uređaju za zatvaranje kalupa gornjak položi na donjak, pa je time kalup završen. U procesu izradbe kalupa sudjeluju i uređaji za promjenu smjera kretanja kalupnika, okretaljke za gornjak i donjak kalupnika, te uređaji za rukovanje kalupnicima na koturnoj stazi, odnosno na kolicima transportera kalupa (sl. 53).

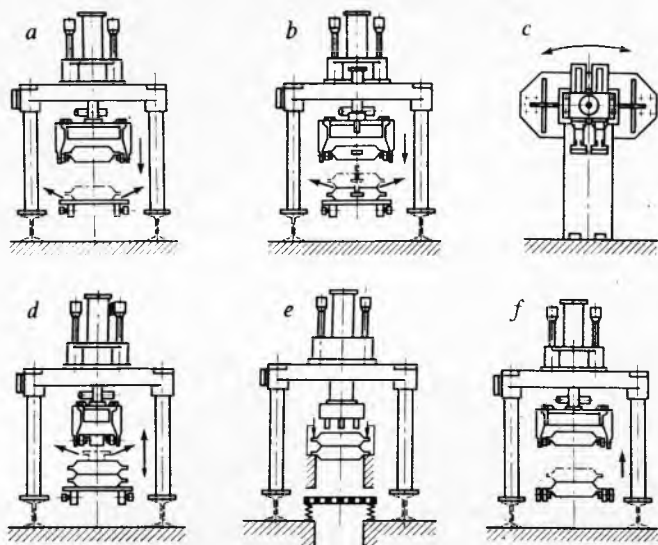
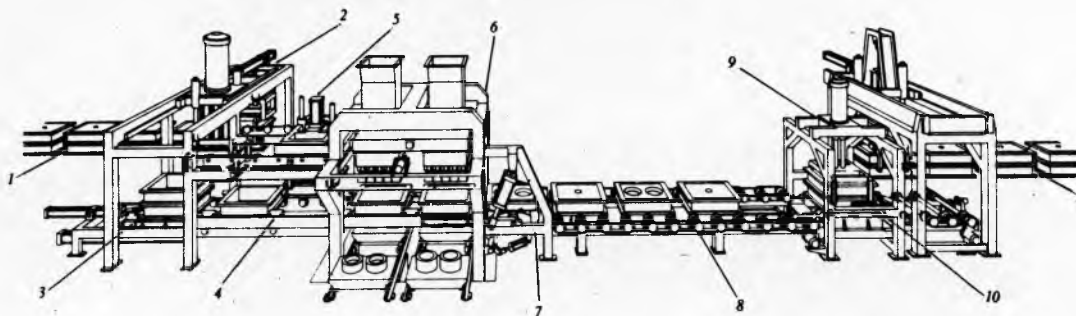
Linija utega. Zbog djelovanja uzgona ulivena litina može odignuti gornjak od donjaka, a da se to spriječi, primjenjuje se jedan od sljedeća tri načina: poveća se težina kalupnika gornjaka, kalup se optereći utezima, ili se donjak i gornjak spoje spojnicama.

Utege za opterećenje stavlja na kalupe i skida s njih stroj na liniji utega. Taj se stroj sastoji od uređaja za polaganje utega na kalup, uređaja za skidanje utega s kalupa i povratnog transportera utega. Linija utega je smještena iznad transportera kalupa; uređaj za polaganje utega nalazi se ispred, a uređaj za skidanje utega iza uljevališta. Uteg ostaje na kalupu u zoni lijevanja i s kalupom odlazi pod uređaj za skidanje gdje ga hvataljka skida i otprema na povratni transporter linije utega. Ako se kalupnik steže spojnicama, tada svaki kalupnik gornjaka ima spojnicu koju uređaj pred uljevalištem zahvati za kalupnik donjaka, a uređaj iza uljevališta ponovno oslobodi.



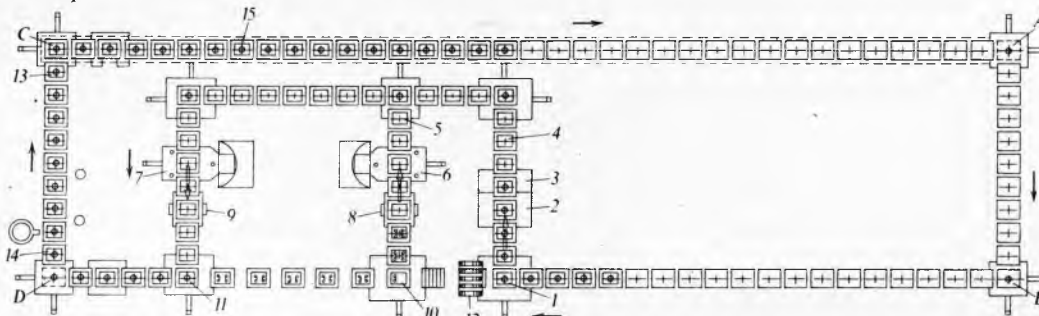
Sl. 51. Punjenje kalupnika u vakuumu. a početni položaj, dozirni spremnik je pun; b položaj punjenja, posuda za punjenje puna, kalupnik i okvir za punjenje zatvoreni i evakuirani; c kalupnik se puni u vakuumu, dozirni spremnik se puni; d diferencijalna protuploča dolazi iznad kalupnika, kalup se sabija u vakuumu, model se vadi iz kalupa spuštanjem radnog stola zajedno s modelnom pločom; 1 dozirni spremnik, 2 posuda za punjenje, 3 okvir za punjenje, 4 kalupnik, 5 kalup, 6 model, 7 radni stol za tlačenje, 8 komora za zatvaranje kalupnika, 9 vakuumirani prostor, 10 diferencijalna protuploča, 11 vakuumska pumpa, 12 kalupna mješavina

Sl. 52. Linija kalupljenja. 1 transport kalupa, 2 uređaj za istiskivanje bloketa, 3 uređaj za premještanje kalupnika na liniju kalupljenja, 4 transporter kalupnika, 5 uređaj za razdvajanje kalupnika, 6 kalupilica gornjaka i donjaka, 7 okretaljka, 8 područje ulaganja jezgri, 9 uređaj za sklapanje kalupa, 10 uređaj za premještanje kalupa na transporter kalupa



Sl. 53. Pomoćni uređaj kalupne linije. a polaganje donjaka na kolica transportera kalupa, b spuštanje gornjaka i zatvaranje kalupa, c okretanje kalupa, d opterećivanje kalupa utezima, e istiskivanje bloketa, f rastavljanje kalupnika

Transporter kalupa većinom je dvotračna pruga zavarene čelične konstrukcije po kojoj se kreću kolica s kalupima. Visina tračnice od poda ljevaonice iznosi obično 200...300 mm. Drugo je rješenje tzv. paletni transporter koji ima kotačiće pričvršćene u nosivom profilu staze, a po njima se kreću palete koje nose kalupe.

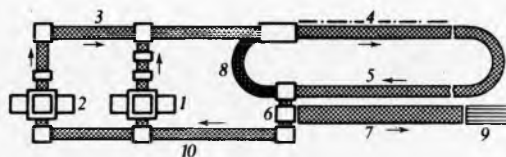


Sl. 55. Automatska kalupna linija za tankostijene odljevke. Kapacitet: 220 kalupa na sat, dimenzije kalupnika: 1050 × 720 × 150/150 mm, vrijeme hlađenja 22 min. 1 uređaj za skidanje kalupa s kolica transportera kalupa i stavljanje na koturnu stazu linije kalupnika, 2 uređaj za istiskivanje bloketa na istresnu rešetku, 3 uređaj za čišćenje kalupnika, 4 transporter linije kalupnika, 5 uređaj za rastavljanje kalupnika i promjenu smjera kretanja kalupnika donjaka prema kalupilici, 6 kalupilica za donjak, 7 kalupilica za gornjak, 8 okretaljka za donjak, 9 okretaljka za gornjak, 10 uređaj za skidanje donjaka s koturne staze i polaganje na kolica, 11 uređaj za skidanje gornjaka s koturne staze i zatvaranje kalupa, 12 uređaj za čišćenje kolica, 13, 14 linija utega, 15 transporter kalupa; A, B, C, D uređaj za promjenu smjera kretanja

Prema radovima koji se obavljaju na dijelovima transportera razlikuje se nekoliko područja: uljevalište, dio transportera na kojemu se ulijeva metal u kalupe (obuhvaća dio transportera od mjesta postavljanja do mjesta skidanja utega s kalupa); hladilište, veći dio transportera gdje se hlade odljevci u kalupu (od mjesta skidanja utega do mjesta skidanja kalupa s kolica); područje praznih kolica, dio transportera na kojemu su prazna

kolica bez kalupa i gdje se čiste kolica od ostataka pijeska u uređaju za čišćenje kolica; područje ulaganja jezgri u kalupe, od mjesta polaganja donjaka do mjesta sklapanja kalupa. Dužina i oblik transportera kalupa ovise o vremenu potrebnom za hlađenje odljevaka u kalupu i o raspoloživom prostoru. Prema tlocrtnom obliku razlikuje se kontinuirani transporter s polukružnom promjenom smjera (sl. 54) i diskontinuirani transporter (indeks-transporter) s promjenom smjera kretanja pod pravim kutom (sl. 55).

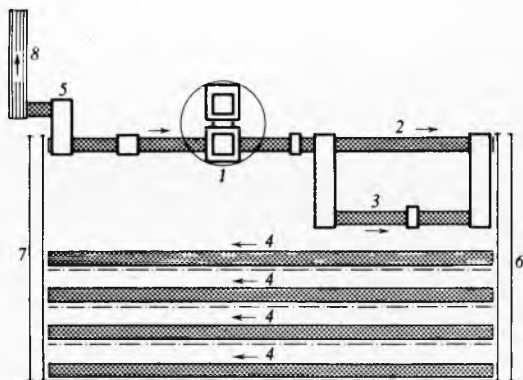
Ako je prostor ljevaonice skučen, postavlja se transporter kalupa u dvije ili više razina. Kad se proizvode deblji odljevci od sivog lijeva, i u ljevaonicama čeličnog lijeva potrebno je duže vremena za hlađenje odljevaka, pa se upotrebljava transporter kalupa koji je u hladu proširen kolodvorom kalupa (sl. 56). On se sastoji od nekoliko paralelnih tračničkih staza po kojima se kreću kolica u taktu linije. Time se na relativno malom prostoru dobije mjesta za mnogo kolica, što omogućuje relativno dugo vrijeme hlađenja. U ljevaonicama



Sl. 54. Automatska kalupna linija za automobilske lijeve. Kapacitet: 225 kalupa na sat, dimenzije kalupnika: 800 × 600 × 250/250 mm, vrijeme hlađenja: u kalupnicima 16 min, u bloketa max. 22 min. 1 kalupilica gornjaka, 2 kalupilica donjaka, 3 područje ulaganja jezgri, 4 uljevalište, 5 hladilište u kalupnicima, 6 istiskivanje bloketa na transporter za hladilište bloketa, 7 kolodvor za hlađenje bloketa, 8 područje praznih kolica, 9 istresna rešetka, 10 povrat kalupnika

odljevaka s vrlo velikim razlikama u debljini stijenki ili u kombiniranim ljevaonicama sivog i čeličnog lijeva postoje velike razlike u dužini vremena potrebnog za hlađenje, pa kolodvori kalupa imaju više paralelnih staza koje osim za hlađenje služe i za ulijevanje.

Da bi se smanjio broj teških i skupih kalupnika u ophodu na transportnoj liniji, odljevci s vrlo debelim stijenjkama hlade



Sl. 56. Automatska kalupna linija za uslužni sivi i žilavi lijev. Kapacitet: 60 kalupa na sat, dimenzije kalupnika: $1000 \times 800 \times 350/350$ mm, 80 kalupa u stazama za lijevanje i hlađenje. 1 kalupnica sa dva radna mjesta za kalupljenje gornjaka i donjaka, 2 područje ulaganja jezgri u donjak, 3 područje ulaganja jezgri u gornjak, 4 uljevalište + hladilište, 5 istiskivanje na istresnu rešetku, 6 staza za prijevoz kalupa od linije kalupljenja do uljevališta/hladilišta, 7 staza za prijevoz kalupa od hladilišta do istresne rešetke, 8 istresna rešetka

se u dvije faze. Prvo se odljevak hladi u kalupniku do temperature od $\sim 600^\circ\text{C}$, a zatim se cijeli sadržaj kalupnika (kalupni blok) istisne u limene kutije koje se transportiraju na kolodvor gdje se odljevci hlade do temperature istresanja.

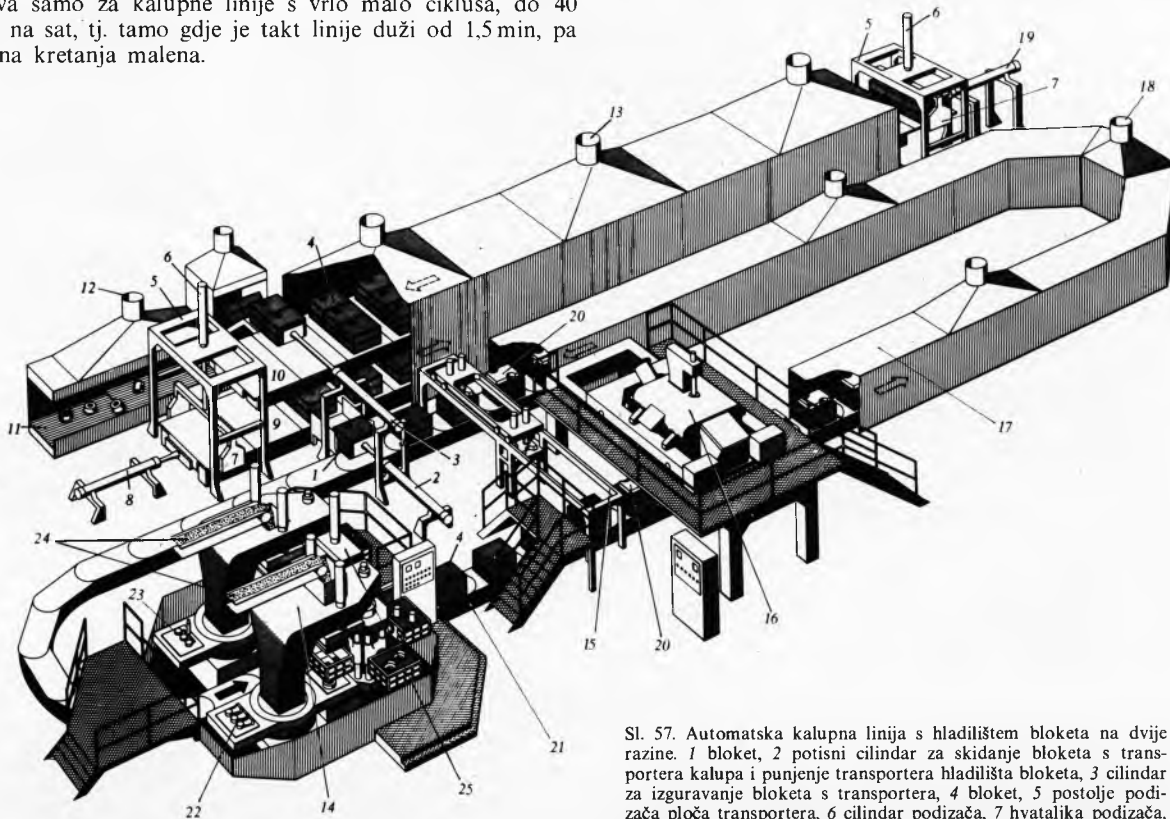
Postoji i rješenje da se blokete istisnu na posebni transporter sastavljen od ploča u jednoj ili dvije razine (sl. 57). Transporter je vezan na automatski ciklus linije. Na takvu transporteru vrijeme hlađenja u kalupnicima iznosi $1/4 \dots 1/3$ ukupnog vremena hlađenja, pa se ostvaruju velike uštede u prostoru ljevaonice.

Suvremeni transporter kalupa imaju hidraulički pogon, dok se ranije primjenjivao pogon elektromotorima s galovim lancima ili zupčastim letvama. Danas se elektromotorni pogon upotrebljava samo za kalupne linije s vrlo malo ciklusa, do 40 kalupa na sat, tj. tamo gdje je takt linije duži od 1,5 min, pa je brzina kretanja malena.

Linije s mnogo ciklusa, i do 300 kalupa na sat, imaju hidraulički pogon. Pri taktu od 15 s (što odgovara 240 ciklusa na sat) transporter se mora za ~ 4 s pomaknuti za jedan korak, što znači pokrenuti, ubrzati, prevaleći $\sim 1,5$ m te ponovno zaustaviti masu i do 40 tona, i to bez trzanja i sudaranja.

Transporter kolica (ili paleta) u pojedinim sektorima diskontinuiranog transportera obavljaju po dva hidraulička cilindra, jedan pogonski i drugi kočni. Cilindri su smješteni u uređajima za promjenu smjera i rade sinhrono. Pogonski cilindar potiskuje prva kolica, a dalje se potisak prenosi od kolica na kolica preko odbojnika svornjaka do kočnog cilindra koji protusilom ne dozvoljava da se među kolicima stvori razmak, jer bi to proizvelo sudaranje pri zaustavljanju transportera. Kontinuirani transporter ima jedan ili više hidrauličkih cilindara smještenih ispod tračnica. Cilindri hvataju kolica hvatačima i povuku ih za jedno mjesto naprijed, pa se vrate u početni položaj i hvataju sljedeća kolica. Takav transport kolica primjenjuje se i na poprečnim dijelovima diskontinuiranih transportera.

Upravljačka stanica. Hidraulička stanica smještena je u kabini iznad kalupne linije da bi pri prekidima rada ulje ostalo u cijelom hidrauličkom sustavu. Radni tlak ulja iznosi $5 \dots 7$ MPa. Budući da su potrebne velike količine ulja, hidraulička stanica ima više agregata, a svaki agregat po dvije lamelne pumpe kojima se dobava može regulirati. Agregat hidrauličke stanice upućuje ulje neposredno u razvodnicu na pojedinim strojevima linije (tzv. manifold), gdje ulje služi kao radni i upravljački medij. I pneumatsko upravljanje i centralno hidrauličko upravljanje s upravljačkim ventilima u stanici, te neposrednim odvodom ulja u pojedine cilindre postrojenja, presporo je za suvremene linije s više od 200 ciklusa na sat. Suvremena rješenja s razvodnicima, malim upravljačkim jedinicama, omogućuju velike brzine upravljanja. Ti su razvodnici smješteni uz svaki stroj ili uređaj postrojenja, a imaju ugrađene elektromagnetske upravljačke ventile koji se električki upravljaju iz upravljačke stanice, pa je tako skraćen put ulja do cilindra.



Sl. 57. Automatska kalupna linija s hladilištem bloketa na dvije razine. 1 blok, 2 potisni cilindar za skidanje bloketa s transportera kalupa i punjenje transportera hladilišta bloketa, 3 cilindar za izguravanje bloketa s transportera, 4 blok, 5 postolje podizača ploča transportera, 6 cilindar podizača, 7 hvataljka podizača, 8 cilindar za kočenje donjeg transportera, 9 ploča donjeg transportera, 10 ploča gornjeg transportera, 11 istresna rešetka, 12 otprašivanje istresne rešetke, 13 otprašivanje transportera, 14 automatska kalupnica donjaka i gornjaka, 15 linija utega, 16 lijevalica, 17 hladilište s tunelom, 18 ventilacija hladilišta, 19 cilindar za kočenje gornjeg transportera, 20 uteg, 21 transporter kalupa, 22 modelna ploča donjaka, 23 modelna ploča gornjaka, 24 kalupna mješavina na trakastom transporteru, 25 uređaj za sklapanje kalupa i istiskivanje bloketa

portera, 10 ploča gornjeg transportera, 11 istresna rešetka, 12 otprašivanje istresne rešetke, 13 otprašivanje transportera, 14 automatska kalupnica donjaka i gornjaka, 15 linija utega, 16 lijevalica, 17 hladilište s tunelom, 18 ventilacija hladilišta, 19 cilindar za kočenje gornjeg transportera, 20 uteg, 21 transporter kalupa, 22 modelna ploča donjaka, 23 modelna ploča gornjaka, 24 kalupna mješavina na trakastom transporteru, 25 uređaj za sklapanje kalupa i istiskivanje bloketa

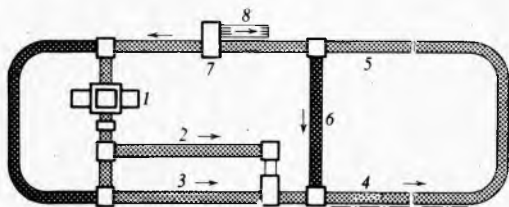
Ako se neka od automatskih upravljačkih jedinica isključi zbog kvara ili podešavanja, može se svakim pojedinim strojem upravljati ručno pomoću sklopke koja je ugrađena u upravljačkoj kutiji na svakom razvodniku. Logički slijed pojedinih funkcija postrojenja u ciklusu programira se i memorira pomoću elektroničkih modula koji upravljaju procesom i daju komande elektromagnetskim upravljačkim ventilima, a brojne krajnje sklopke (elektromehaničke ili elektroinduktivne) samo kontroliraju izvršenje pojedinih operacija. Tako je osigurano da jedna operacija može početi tek kad je obavljena u logičkom slijedu prethodna operacija.

Za rad potpuno automatizirane kalupne linije potreban je samo jedan kontrolor. On kontrolira rad kalupilica, tj. provjerava tvrdoću kalupa, podešava količinu pijeska u dozirnem spremniku i kontrolira da li je kalup ispravno zakalupljen.

Karakteristični primjeri automatskih kalupnih linija. Po svom obliku, rasporedu i vrsti strojeva automatska kalupna linija (sl. 55) predstavlja izvedbu suvremene kalupne linije. Linija je visokoproduktivna, kapaciteta ~220 komplementnih kalupa na sat. Ima dvije kalupilice s jednom radnom pozicijom, od kojih jedna kalupi donjak, a druga gornjak. Kalupilice imaju uređaj za automatsku izmjenu modelne ploče u taktu linije, tako da mogu, unatoč visokoj produktivnosti, izradivati i manje serije kalupa. Postoji pet mjesta za ulaganje jezgri. Područje je praznih kolica svedeno na minimum, tj. ima samo dva mjesta, od kojih jedno zauzima uređaj za čišćenje kolica.

Automatska kalupna linija (sl. 58) ima kolodvor kalupa sa trima paralelnim stazama. Time se dobilo na prostoru, a linija je skraćena. Kalupilica ima tri radne pozicije: punjenje kalupnika kalupnom mješavinom i vadenje modela na vanjskim pozicijama stroja, dok se kalupi sabijaju na srednjoj radnoj poziciji. Kalupi gornjaka i donjaka kreću se po dvjema paralelnim stazama.

Sl. 58. Automatska kalupna linija za proizvodnju odljevaka za hidrauličke pumpe. Kapacitet: 80 kalupa na sat, dimenzije kalupnika: 920 × 920 × 300/300mm, vrijeme hlađenja: 75 min. 1 kalupilica sa tri radna mjesta, 2 skidanje kalupa s kolica, 3 istiskivanje na istresnu rešetku, 4 čišćenje kalupnika, 5 odvajanje kalupnika, 6 i 7 okretaljka, 8 sklapanje kalupa, 9 linija utega, 10 lijevalica, 11 hladilište transportera kalupa u tri staze (kolodvor kalupa), 12 skidanje kalupa s kolica



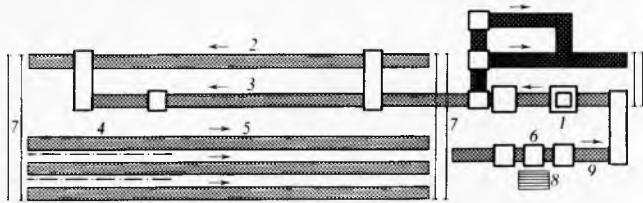
Sl. 59. Automatska kalupna linija za motorni lijev. Kapacitet: 60 kalupa na sat, dimenzije kalupnika: 1200 × 700 × 400/300mm, vrijeme hlađenja: 60 min. 1 kalupilica s jednim radnim mjestom i translatornom izmjenom modela za kalupljenje gornjaka i donjaka, 2 područje ulaganja jezgri u donjak, 3 područje ulaganja jezgri u gornjak, 4 zona uljevanja, 5 hladilište, 6 linija utega, 7 istiskivanje na istresnu rešetku, 8 istresna rešetka

Na liniji, prema sl. 59, proizvode se odljevci za motore s više jezgri koje treba stavljati u donjak i u gornjak. Zato postoje dvije odvojene staze za ulaganje jezgri. Kalupilica ima jednu radnu poziciju za kalupljenje gornjaka i donjaka, pa je izmjena modelnih ploča u taktu. Uređaj je za izmjenu modelnih ploča s translatornim pomakom. Pomicanjem nosača modelne ploče lijevo-desno dovodi se u položaj kalupljenja naizmjenice modelna ploča za donjak i ona za gornjak.

Linija, prema sl. 54, ima dvije kalupilice s jednom radnom pozicijom i s translatornom promjenom modelnih ploča. Kalupi se prenose kontinuiranim tračnim transporterom s kolicima. Odljevci se dijelom hlade u kalupnicima, a zatim u blokovima. Nema linije utega jer je težina kalupnika gornjaka povećana, pa se tako svladava uzgon litine.

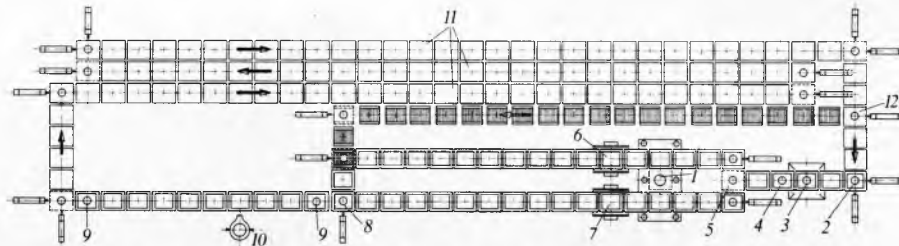
Automatska kalupna linija (sl. 56) ima kalupilicu s dvjema radnim pozicijama. Na poziciji punjenja može se prekinuti automatski tok procesa prije stavljanja kalupnika na modelnu ploču ili nakon toga. Time je omogućeno da radnik izvrši neki ručni zahvat na modelu, npr. stavlja hladila, modelni pijesak itd. Po završenom zahvatu automatski se tok procesa nastavlja pritiskom na prekidač na komandnoj ploči kalupilice. Postoji i posebna staza za ulaganje jezgri u gornjak. Paletni transporter kalupa izveden je kao kolodvor sa 4 paralelne staze koje po cijeloj duljini mogu služiti za uljevanje ili hlađenje. Takve se linije projektiraju za uslužne ljevaonice i ljevaonice čeličnog lijeva.

Kalupna linija, prema sl. 60, upotrebljava se u ljevaonicama krupnog čeličnog lijeva. Kalupilica ima više radnih pozicija, a na svakoj se obavlja po jedna operacija, npr. punjenje modelnog pijeska, punjenje dopunskog pijeska, sabijanje tlakom uz vibracije, dopunsko sabijanje tlakom itd., već prema tehnološkom procesu kalupljenja. Kopče osiguravaju da se kalupnici ne razdvoje zbog uzgona litine. Odljevci se ulijevaju i hlade na trostaznom paletnom kolodvoru.



Sl. 60. Automatska kalupna linija za proizvodnju velikih armatura od čeličnog lijeva. Kapacitet: 20 kalupa na sat, dimenzije kalupnika: 2000 × 1600 × 800/800mm, 96 kalupa u stazama za lijevanje i hlađenje. 1 kalupilica s više radnih mjesta za kalupljenje gornjaka i donjaka, 2 područje ulaganja jezgri u donjak, 3 područje ulaganja jezgri u gornjak, 4 uljevalište, 5 hladilište, 6 istiskivanje na istresnu rešetku, 7 staza za prijevoz kalupa, 8 istresna rešetka, 9 povrat kalupnika

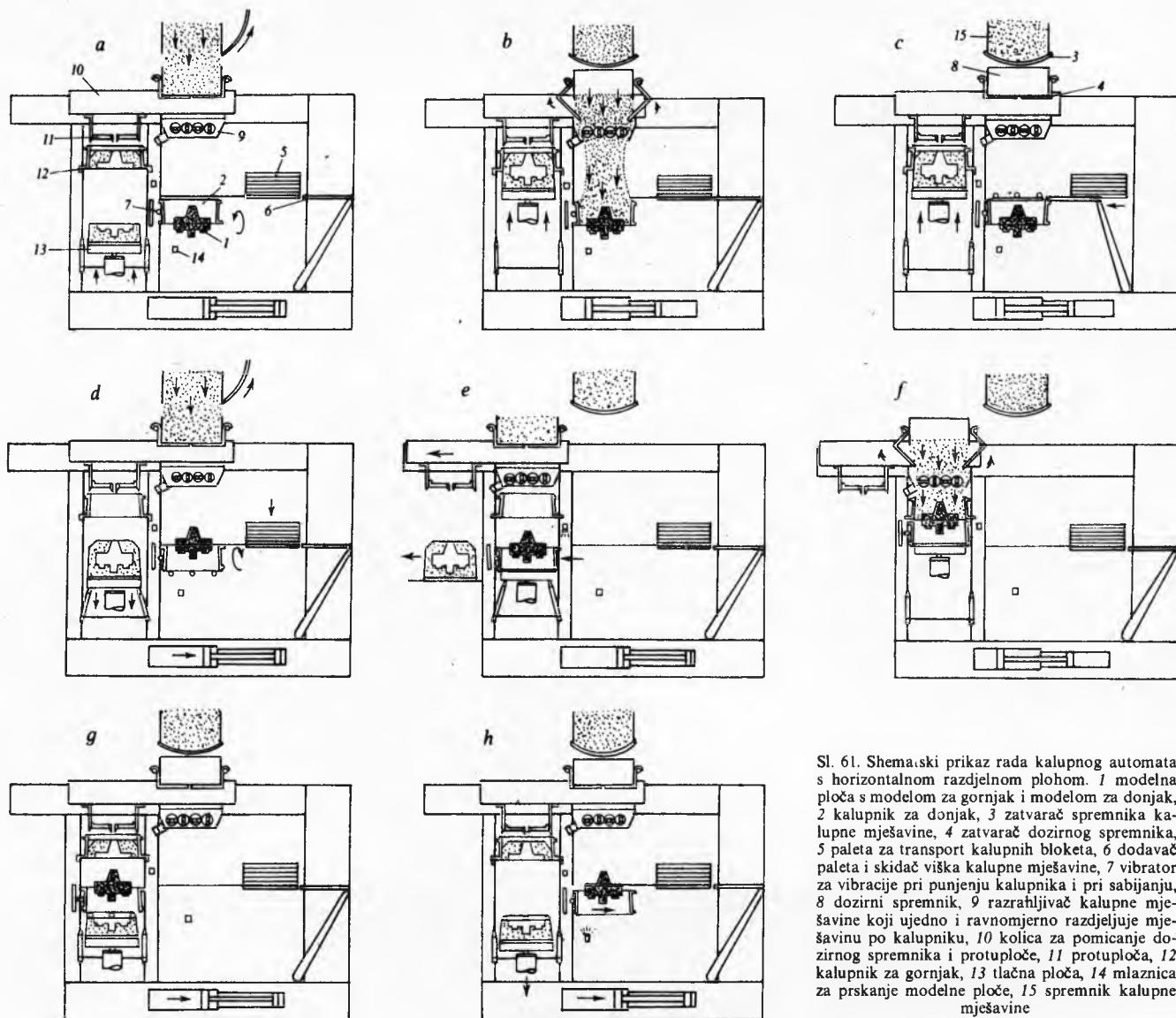
Kalupni automati su automatski kalupni strojevi u kojima je kalupnik sastavni dio stroja. U kalupniku, odnosno komori za kalupljenje, izrađuje se kalup, koji se zatim istiskuje iz kalupnika kao blok od sabijene kalupne mješavine. Takav se



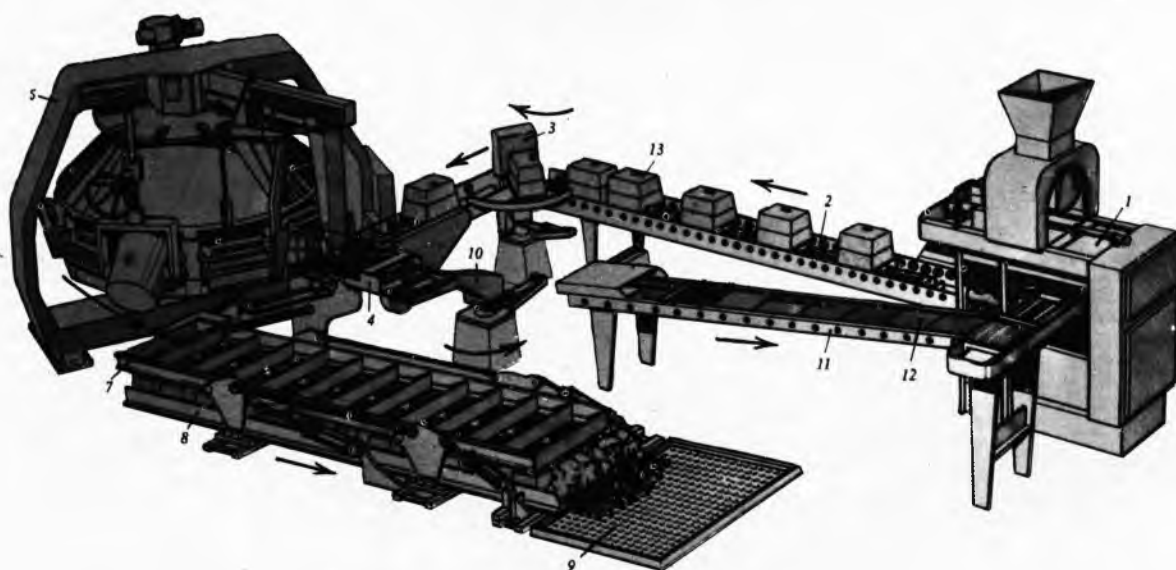
blok dalje vodi na uljevanje i hlađenje. Iako postoje različite vrste i konstrukcije kalupnih automata, svi imaju sljedeće zajedničke karakteristike: kalupi se izrađuju u obliku bloketa (tzv. kalupljenje bez kalupnika), u istom se stroju obavljaju sve operacije od kalupljenja do polaganja gotovih kalupa na transporter, i u svima se kalupna mješavina sabija tlačanjem. Razlikuju se prema načinu punjenja kalupnika kalupnom mješavinom: slobodnim padom, upucavanjem paralelno ili okomito na modelnu ploču i sl. Položaj razdjelne plohe pri kalupljenju i uljevanju osnovna je razlika među kalupnim automatima, pa se automati razvrstavaju na horizontalne i vertikalne automate, tj. automate koji kalupe s horizontalnom, odnosno vertikalnom razdjelnom plohom.

Prednost je *horizontalnog kalupnog automata* pred vertikalnim u tome što je horizontalna razdjelna ploha uobičajena kod kalupljenja. Zbog toga se i nakon uvođenja automata u postojeću proizvodnju mogu upotrebljavati već razrađeni uljevni sustavi i postojeći jezgrenici jer se raspored oslonaca za jezgre ne mijenja. Kad se kalupi s horizontalnom razdjelnom plohom, bolje se iskorišćuje kalupna površina jer je u vertikalne razdjelne plohe cijeli spust u kalupnoj površini, a u horizontalne je okomit na razdjelnu plohu. Kad se kalupi s vertikalnom razdjelnom plohom, bolje se iskorišćuje kalupna mješavina jer se svi kalupi oslanjaju u nizu jedan na drugi. U tehnološkom smislu samo iznimno ima prednost lijevanje u kalupima s vertikalnom podjelom.

Na sl. 61 shematski je prikazan horizontalni kalupni automat i tok jednog ciklusa kalupljenja. Model za gornjak i donjak pričvršćen je na modelnoj ploči s gornje i donje strane. Kalupna mješavina najprije puni dozorni spremnik (sl. 61a), a iz njega preko razrahljivača puni kalupnik donjaka (sl. 61b). Zatim pod donjak dolazi paleta (sl. 61c), na kojoj se nakon kalupljenja kalupni blokovi transportiraju na uljevanje, modelna ploča se okrene u položaj da model gornjaka bude okrenut prema gore (sl. 61d), te se modelna ploča poprska. Nakon toga pomiču se dozorni spremnik s razrahljivačem i modelna ploča s donjakom u lijevi položaj (sl. 61e), gdje se puni kalupnik gornjaka (sl. 61f), pa se kalup sabija (sl. 61g), rastavlja i vadi model (sl. 61h). Zatim se modelna ploča vraća natrag u desni položaj i okreće u početni položaj



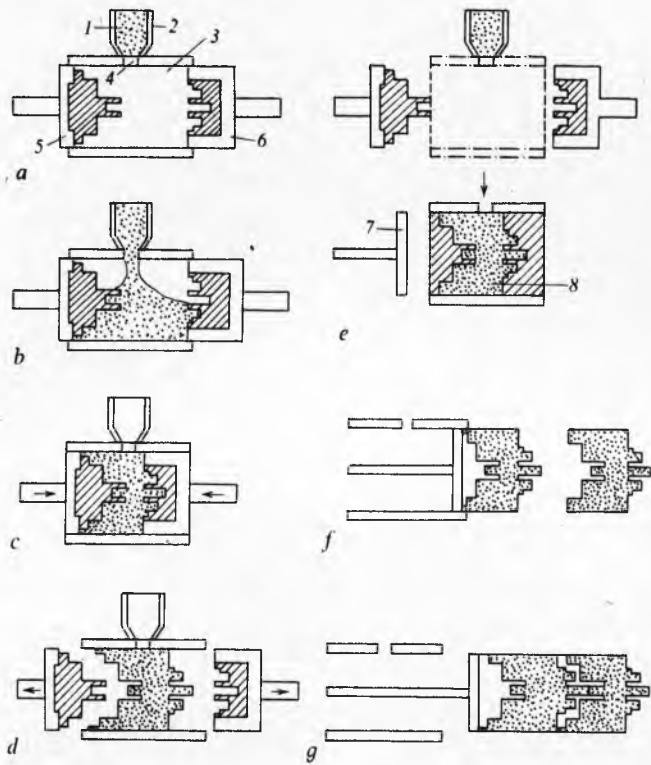
Sl. 61. Shema-ski prikaz rada kalupnog automata s horizontalnom razdjelnom plohom. 1 modelna ploča s modelom za gornjak i modelom za donjak, 2 kalupnik za donjak, 3 zatvarač spremnika kalupne mješavine, 4 zatvarač dozirnog spremnika, 5 paleta za transport kalupnih bloketa, 6 dodavač paleta i skidač viška kalupne mješavine, 7 vibrator za vibracije pri punjenju kalupnika i pri sabijanju, 8 dozirni spremnik, 9 razrahljivač kalupne mješavine koji ujedno i ravnomjerno razdjeljuje mješavinu po kalupniku, 10 kolica za pomicanje dozirnog spremnika i protuploče, 11 protuploča, 12 kalupnik za gornjak, 13 tlačna ploča, 14 mlaznica za prskanje modelne ploče, 15 spremnik kalupne mješavine



Sl. 62. Automatska kalupna linija s kalupnim automatom horizontalne razdjelne plohe. 1 kalupni automat, 2 transporter bloketa, 3 zakretaljka transportera bloketa, 4 uređaj za skidanje bloketa s paleta i prebacivanje u uljevni karusel, 5 uljevni karusel, 6 lonac za ulijevanje, 7 uređaj za skidanje odlivenih bloketa s karusela i prebacivanje na transporter hlađenja, 8 dvoredni transporter hlađenja, 9 vibracijska istresna rešetka, 10 uređaj za preuzimanje paleta ispod bloketa i prebacivanje na povratni transporter, 11 povratni transporter paleta, 12 paleta, 13 kalupni blok

(sl. 61a), sklapa kalup (sl. 61b), odvaja bloklet gornjaka od kalupnika (sl. 61c), spušta sastavljen bloklet (sl. 61d) i potiskuje bloklet na paletu iz kalupnog automata na transporter (sl. 61e).

Nakon kalupljenja u automatu blokleti se transportiraju na ulijevanje, hlađenje i istresanje, a palete se vraćaju u automat. Primjer rješenja automatske kalupne linije s horizontalnim automatom prikazan je na sl. 62.



Sl. 63. Shematski prikaz toka kalupljenja na kalupnom automatu s vertikalnom razdjelnom plohom. 1 kalupna mješavina, 2 komora za upucavanje, 3 komora za kalupljenje, 4 mlaznica za upucavanje, 5 ploča s jednom polovicom modela, 6 ploča s drugom polovicom modela, 7 istisna ploča, 8 kalupni bloklet; a početni položaj, zatvaranje komore za kalupljenje: ploče s obje polovice modela ulaze u komoru do položaja za upucavanje; b upucavanje kalupne mješavine; c sabijanje; d vađenje modela: ploče s polovicama modela izlaze iz komore za kalupljenje; e pomičanje komore za kalupljenje: komora se spušta iz položaja sabijanja u položaj istiskivanja bloketa; f istiskivanje bloketa: cilindar s ravnom ili profiliranom istisnom pločom istiskuje kalupni bloklet na transporter; g spajanje kalupa: bloklet se pri izlasku iz komore pomiče brzo, a zatim se lagano bez udarca prislanja uz bloklet otkalupljen u prethodnom ciklusu. Transporter na kojemu su blokleti sinhroniziran je s cilindrom za istiskivanje

U kalupnim automatima s horizontalnom razdjelnom plohom kalup se sastoji od dva dijela, gornjaka i donjaka, dok u automatima s vertikalnom razdjelnom plohom svi blokleti čine jedinstvenu cjelinu. Bloklet proizveden u vertikalnom automatu s prednje strane ima oblik koji bi odgovarao donjaku, a sa stražnje strane oblik koji bi odgovarao gornjaku. Ti se blokleti naslanjaju jedan na drugi tako da kalupnu šupljinu oblikuje stražnja strana jednog i prednja strana drugog bloketa.

Sl. 63 shematski prikazuje kalupljenje s vertikalnom razdjelnom plohom. Kalup se izrađuje u jednom kalupniku, odnosno komori koja je s prednje i stražnje strane zatvorena modelnim pločama (sl. 63a). U komoru se odozgo upucava kalupna mješavina pod tlakom zraka od 0,35–0,70 MPa (sl. 63b). Sabija se modelnim pločama (tlak od 3,5 MPa), a potreban se tlak proizvodi hidraulički (sl. 63c). Po završetku sabijanja povlače se modelne ploče (sl. 63d), pa zatim istisna ploča istisne kalup iz kalupnika na transporter (sl. 63e) koji prenosi kalup na ulijevanje, hlađenje i do mjesta istresanja.

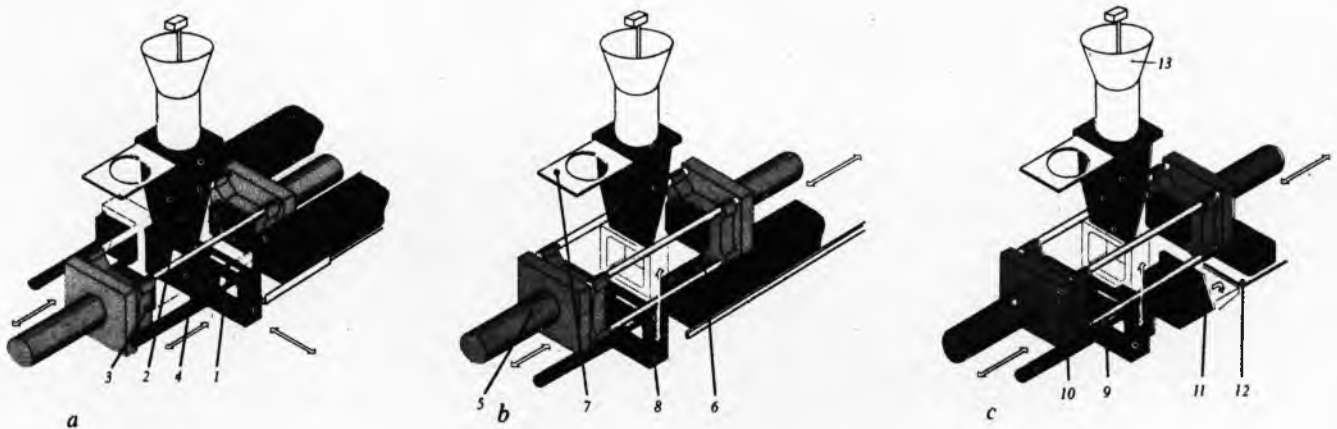
Na sl. 64 prikazane su tri vrste istiskivanja bloketa iz tlačne komore. Automati koji rade sa dva paralelna niza bloketa (sl. 64a) imaju i dvije komore za kalupljenje koje su zajedno vezane i pomiču se lijevo i desno pred istisnu ploču na lijevoj, odnosno desnoj strani stroja. Uređaj za sabijanje nalazi se u sredini stroja. U automatima s jednim nizom bloketa (sl. 64b) komora se nakon sabijanja spušta u donji položaj gdje se nalazi istisna ploča. Da bi se omogućilo kalupljenje odljevaka koji zahtijevaju horizontalni uljevni sustav opremaju se vertikalni automati dodatnim uređajem za zakretanje bloketa u horizontalni položaj (sl. 64c). Tada treba u liniju prije uljevališta ugraditi uređaj za podizanje bloketa i sklapanje kalupa. Taj uređaj podiže svaki drugi bloklet, izbuši na njemu uljevu čašku i polaže ga kao gornjak na sljedeći bloklet.

Proizvodnost vertikalnog automata iznosi 100–400 bloketa na sat, već prema veličini bloketa i načini kalupljenja. Vertikalni automati sa dvije komore proizvode i do 750 bloketa na sat.

B. Luburić

Peći za taljenje

Peći za taljenje služe za proizvodnju rastaljenog metala (litine) određenoga kemijskog sastava i temperature. Kapacitet je peći masa litine kojom se može odjednom raspolagati, pa je zato kapacitet peći uvijek veći od mase najvećeg odljevka, ali je iskorištenje toplinske energije to bolje što je peć većeg kapaciteta. Proizvodnost, tj. količina litine proizvedene u određenom vremenu, ovisi o kapacitetu peći, načinu zagrijavanja, vrsti zasipa i temperaturi litine. Razlikuju se dva osnovna načina taljenja: kada je izvor toplote u zasipu (npr. indukcijska



Sl. 64. Shematski prikaz istiskivanja bloketa u vertikalnom kalupnom automatu. a kalupljenje sa dva niza bloketa, b kalupljenje s jednim nizom bloketa, c kalupljenje s vertikalnom razdjelnom plohom i zakretanje bloketa za lijevanje u horizontalnom položaju; 1 otvor za upucavanje kalupne mješavine, 2 glava za upucavanje, 3 tlačna ploča s polovicom modela za donjak, 4 mlaznica za prskanje modela, 5 tlačni cilindar, 6 tlačna protuploča s polovicom modela za gornjak, 7 zatvarač glave za upucavanje, 8 komora za kalupljenje, 9 vodilica tlačnih ploča, 10 cilindar istisne ploče, 11 uređaj za zakretanje bloketa u horizontalni položaj, 12 transporter bloketa, 13 dozator kalupne mješavine

električna peć) i kada se zasip izvana zagrijava (npr. otporna električna peć). Peći s izvorom topline u zasipu imaju manje toplinske gubitke, a time i veću proizvodnost. Kao energija za taljenje služi kemijska energija goriva (koks, loživo ulje, plin) ili električna energija. Upotreba električne energije omogućuje vrlo dobru i laku kontrolu temperature taljenja, atmosfere u peći i izolacije, te se zato primjenjuje u proizvodnji legura osjetljivih na onečišćenja za vrijeme taljenja.

Konstruktivno se razlikuju dva osnovna tipa: peći koje kontinuirano proizvode litinu (npr. kupolka) i peći za diskontinuirani rad (npr. tiganjske peći).

U ljevaonicama se upotrebljavaju kupolke, elektroindukcijske, elektrolučne (v. *Elektrotermija*, TE 5, str. 182) i plamene peći. Svaki agregat za taljenje ima specifičan utjecaj na svojstva rastaljenog metala, s obzirom na način taljenja, različitost u onečišćenju, sadržaj plinova u litini, vrijeme taljenja i sl., što sve utječe na način skrućivanja, odnosno strukturu, a time i na mehanička svojstva odljevka.

Kupolka se upotrebljava za taljenje sivog lijeva. Sastoji se od izoliranoga šupljeg cilindra unutar kojeg se u slojevima nalazi metalni uložak, koks i taljivo. Na dnu peći je otvor za ispuštanje litine, a iznad njega su otvori (sapnice) kroz koje ulazi zrak za izgaranje koksa. Najčešći je tip tzv. klasična kupolka koja ima, radi toplinske izolacije, čelični plašt iznutra obložen vatrootpornim materijalom. Međutim, sve se više upotrebljava vodom hladena kupolka, bez toplinske izolacije, kad se plašt hladi vodom, jer taj tip ima izrazite metalurške i pogonske prednosti. Kupolke mogu biti vrlo jednostavne peći, ali isto tako mogu biti i vrlo složene instalacije s predgrijačem zraka, s pročištačem dimnih plinova i s mehaniziranim ili automatiziranim uređajima za transport zasipa i tekućeg metala.

Dno kupolke konstruirano je kao vrata koja se otvaraju radi čišćenja i popravka kupolke. Unutarnja strana vrata toplinski je izolirana slojem sabijenog pijeska debljine 15...25 cm. Iznad te izolacije nalazi se otvor za ispuštanje litine, a ~30...90 cm iznad toga otvora smještene su sapnice kroz koje se upuhava zrak. Na početku rada najprije se zapali sloj koksa na dnu peći, a zatim se kupolka ispunji koksom do visine od ~1,2...1,5 m iznad sapnica. Dalje se peć puni naizmjeničnim slojevima metalnog zasipa i koksa. Izgaranjem koksa intenzivno se razvija toplota, a rastaljeni se metal skuplja u prostoru iznad dna peći. Zbog taljenja metala i izgaranja koksa zasip se spušta, pa se kroz otvor na gornjem dijelu kupolke ubacuju novi slojevi metala i koksa. Taj se proces nastavlja tako dugo dok je osigurano upuhavanje zraka kroz sapnice i dovoljna količina koksa za taljenje metala. Na površini rastaljenog metala, skupljenog na dnu peći, pliva troska, koja se sastoji od koksnog pepela i različitih nemetalnih spojeva.

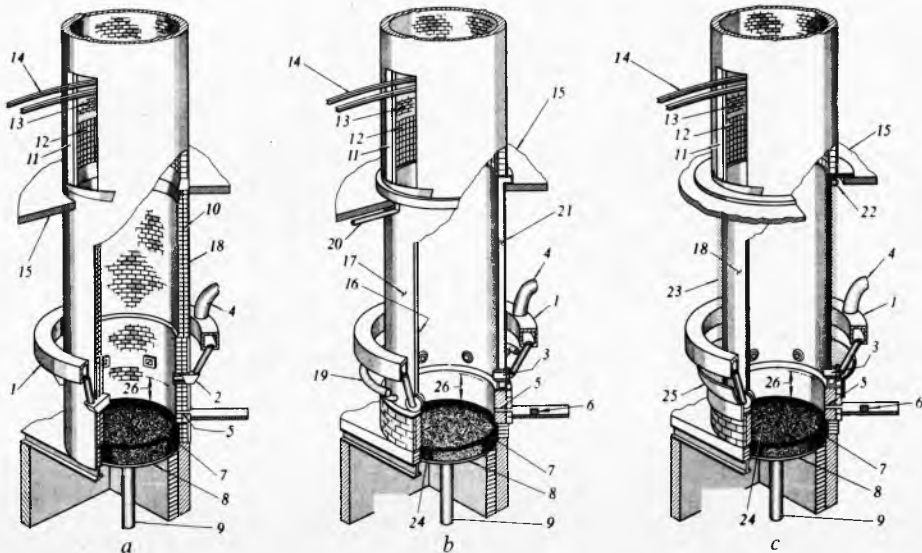
Kupolka (sl. 65) je peć za kontinuirani rad, ali može poslužiti i za diskontinuirani pogon kada se litina ispušta u pre-

kidima, jer se želi sakupiti odjednom veća količina litine. Tada je razmak između sapnica i dna peći povećan, jer taj prostor služi kao spremnik litine. Međutim, ako je litina duže vremena u dodiru s produktima izgaranja, ona se može znatno onečistiti. Pri kontinuiranom radu troska se odvaja odmah nakon ispuštanja na žlijebu. Pri diskontinuiranom radu donji dio kupolke puni se litinom, jer je otvor za ispuštanje litine začepljen glinenim čepom, a otvor za ispuštanje troske nalazi se ~30...60 cm iznad dna peći. Troska, koja pliva nad litinom, počinje istjecati iz kupolke kad dosegne visinu otvora za ispuštanje troske, a kad razina litine dosegne visinu toga otvora, otvori se ispuštanje na dnu kupolke i sakupljeni rastaljeni metal otprema se na ulijevanje. Nakon što litina isteče, ispuštanje se ponovno zatvori i ciklus se ponavlja.

Klasične kupolke imaju unutar čeličnog plašta sloj od izolacijskog materijala. Oko otvora za ubacivanje zasipa temperatura nije visoka, pa je taj otvor izoliran opekama od sivog lijeva (ispunjenim pijeskom) otpornim prema mehaničkim oštećenjima. Vodom hladene kupolke imaju prostor od dna do sapnica obložen grafitnim blokovima, a dalje do visine od ~2...4,5 m čelični je plašt gol i hlađen vodom. Izolacija oko otvora za ubacivanje zasipa slična je izolaciji kao u klasičnoj kupolki.

Prema stupnju kiselosti troske proces u kupolki može biti kiseo ili bazičan. U bazičnom procesu nastaje desulfurizacija, povećava se udio ugljika u litini i veći je odgor silicija. U kiselom je procesu situacija obrnuta. Bazičnost obloge mora biti primjerena bazičnosti troske, jer bi inače postojala reakcija između troske i obloge, pa bi se obloga brzo istrošila. Iako je bazični proces metalurški povoljniji, vrlo se rijetko upotrebljava bazična obloga jer je vrlo skupa. Vodom hladena kupolka nema obloge u zoni taljenja, a grafitni blokovi u području ispod sapnica nemaju utjecaja. Zato taj tip kupolke može raditi sa svakim tipom troske i upotrebljava se gotovo uvijek za taljenje s bazičnom troskom. U kiselom se procesu postiže potreban udio ugljika u litini dodatkom veće količine sirovoga željeza, dok se u bazičnom procesu povećanje udjela ugljika postiže ugljikom iz koksa. Prema tome, vodom hladena kupolka radi s većim udjelom čelične lomljivine u zasipu i sa znatno manje sirova željeza ili čak bez njega, jer je umjesto sirovog željeza dovoljan kružni (povratni) lijev, pa je proizvodnja jeftinija.

Klasična kupolka može izdržati 8...16 sati neprekidnog rada, pa se obično predviđa jedna kupolka za taljenje po smjeni, jer je svaki dan potrebno najprije kupolku ohladiti, a zatim očistiti i popraviti. Vodom hladena kupolka može neprekidno raditi više tjedana, već prema proizvodnim uvjetima, nakon čega su potrebni manji popravci nego na klasičnoj kupolki. Grafitni blokovi izdrže 9...15 mjeseci rada. Zato kad se upotrebljava vodom hladena kupolka nije potrebna rezervna peć.



Sl. 65. Kupolke: a klasična kupolka, b kupolka hladena vodenim plaštem, c kupolka hladena vodenom zavjesom. 1 zračna komora, 2 sapnica, 3 vodom hladene sapnice, 4 dovod zraka, 5 ispuštanje, 6 sifonsko odvajanje troske, 7 izolacija dna kupolke, 8 vrata, 9 potporanj, 10 izolacija, 11 zasipna vrata, 12 metalne opeke, 13 izolacijske opeke, 14 vodilica za zasipni uređaj, 15 zasipna galerija, 16 unutrašnji čelični plašt, 17 vanjski čelični plašt, 18 čelični plašt, 19 ulaz vode, 20 izlaz vode, 21 protok vode za hlađenje plašta, 22 dovod vode, 23 vodena zavjesa, 24 grafitni blokovi, 25 oluk, 26 visina spremnika litine

Proizvodnost kupolke iznosi 1...50 t/h, a ovisna je o veličini kupolke, tako da se računa da je prosječna specifična proizvodnost kupolke do ~0,70 kg/h litine po cm² poprečnog presjeka. Proizvodnost također ovisi o omjeru koksa i metala u zasipu i o količini zraka za izgaranje. Potrebna količina zraka vodi se od ventilatora do zračne komore iz koje se upuhava zrak u peć kroz sapnice postavljene jednoliko po obodu peći. Većina kupolki izvedena je s jednim redom sapnica, ali postoje i izvedbe s više redova kada se redovi sapnica uključuju prema potrebi. Suvremene srednje i velike kupolke imaju relativno male sapnice, tako da omogućuju brzinu zraka od ~45 m/s na ulazu u kupolku, što je potrebno radi dobre penetracije. U nekim se kupolkama, da bi se postigla što viša temperatura na ispustu i smanjio utrošak koksa, predgrijava zrak pomoću regeneracijskih izmjenjivača. Temperatura litine na ispustu iz kupolke ovisi o omjeru koksa i metala u zasipu. Ipak, svaki pogon ima svoje specifičnosti koje se odnose na kvalitetu i granulaciju koksa, raspored zraka za izgaranje, ukupnu visinu zasipa i sl.

Troska se odstranjuje povremeno ili stalno, već prema načinu rada kupolke. Kad se proizvodi mnogo troske, ona se može odmah nakon ispusta iz peći hladiti vodenim mlazom ili strujom zraka, te se tako od troske proizvodi granulat ili vuna. Iako je kupolka vrlo efikasna peć za taljenje s velikom proizvodnošću i niskim pogonskim troškovima, ipak kupolka s vodenim hlađenjem, automatiziranim transportom zasipa i litine, automatskom regulacijom rada ventilatora, temperature i dobrom zaštitom okoliša od onečišćenja zahtijeva vrlo velike investicije.

Kupolka nije pogodna za brze promjene vrsta sivog lijeva za vrijeme taljenja. Uz dobru kontrolu sastav se može mijenjati za vrijeme pogona, ali se pri tom proizvodi jedan dio litine prijelaznog sastava, koji se može eventualno iskoristiti za odljeve od kojih se ne traži neka određena kvaliteta. Temperatura litine na ispustu ovisi o kontroli izgaranja i organizaciji pogona. Svaka promjena količine ispuštene litine, posebno zastavljanje ispusta, poremetit će proizvodne uvjete, tako da već prekid od nekoliko minuta znatno utječe na temperaturu litine na ispustu. Zato se kupolkom s kontinuiranim ispuustom proizvodi litina s manjim promjenama temperature nego u diskontinuiranom pogonu. Kako se u pogonu mogu uvijek očekivati zastoji ili prekidi u radu, bolja se kontrola temperature postiže postupkom dupleks: kupolka — induksijska peć.

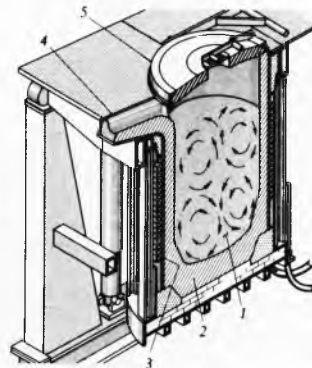
Induksijska električna peć radi na principu transformatora (v. *Elektrotermija*, TE 5, str. 188). Primarni se namot napaja izmjeničnom strujom, a metal predstavlja sekundarni kratko spojeni namot, tako da kroz njega protječe struja velike jačine, zbog čega se u metalu razvija toplina te se tali.

Induksijske električne peći već se dugo upotrebljavaju u ljevarstvu, i to najprije kao male jedinice za proizvodnju specijalnih čelika, jer su bili potrebni posebni strojevi za proizvodnju visokofrekventne električne struje, što je znatno povećavalo proizvodne troškove. Od 1950. godine upotrebljava se električna struja mrežne frekvencije (50 Hz) za pogon induksijskih peći, čime su smanjeni investicijski troškovi, tako da je danas mrežna (niskofrekventna) induksijska peć najprošireniji tip električne peći za taljenje. U posljednje se vrijeme cijena srednje frekventnih induksijskih peći približila cijeni mrežnih (niskofrekventnih) induksijskih peći, što je omogućilo upotrebu tiristorskog invertora za proizvodnju električne struje frekvencije 200...300 Hz. Upotreba je električne struje srednje frekvencije povoljna, jer se mogu graditi peći manjeg kapaciteta (promjer je peći, naime, ovisan o frekvenciji) i jer se frekvencija može mijenjati u toku rada peći, pa se tako postiže bolje iskorištenje električne energije.

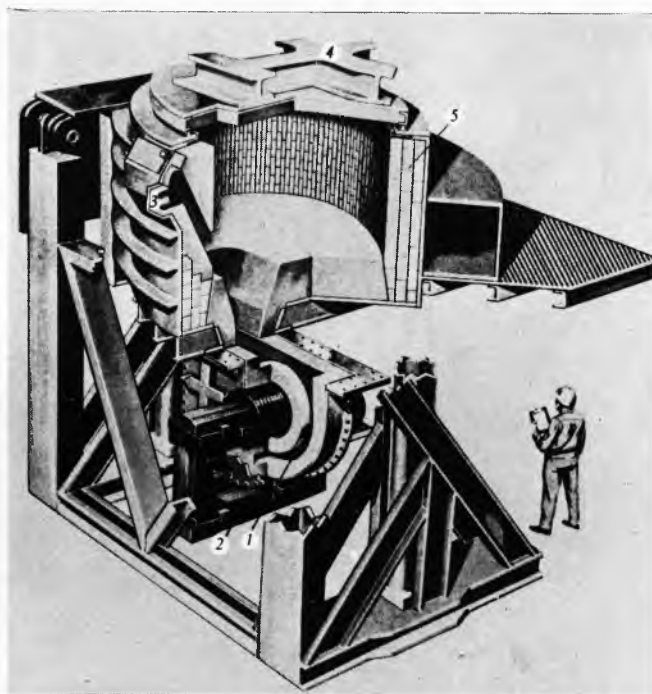
Induksijska peć kao peć za taljenje metala ima vrlo povoljna svojstva: malo onečišćenje litine, sastav se može vrlo točno podesiti, povoljan efekt miješanja litine i teoretski neograničenu temperaturu taljenja. Za taljenje sivog lijeva niskofrekventna induksijska peć danas je ekonomski konkurentna kupolci.

Razlikuju se dva tipa induksijskih peći: tiganjske induksijske peći (sl. 66), u kojima je metalni zasip smješten u jednostavnom tignju oko kojeg se nalazi vodom hlađena bakrena spirala, i kanalne induksijske peći (sl. 67), u kojima litina čini

petlju (kanal) oko transformatorske jezgre. S obzirom na različitu konstrukciju takve peći imaju različite karakteristike. Tiganjska je induksijska peć pogodnija za taljenje i pregrijavanje litine, dok je kanalna induksijska peć pogodnija za pregrijavanje litine, kao peć za početak i za postupak dupleks u kombinaciji s kupolkom.



Sl. 66. Induksijska tiganjska električna peć. 1 rastaljeni metal (litina), 2 izolacijska obloga (tiganj), 3 bakrena spirala, 4 ispust, 5 poklopac



Sl. 67. Induksijska kanalna električna peć. 1 kanal, 2 jezgra, 3 ispust, 4 poklopac, 5 izolacija

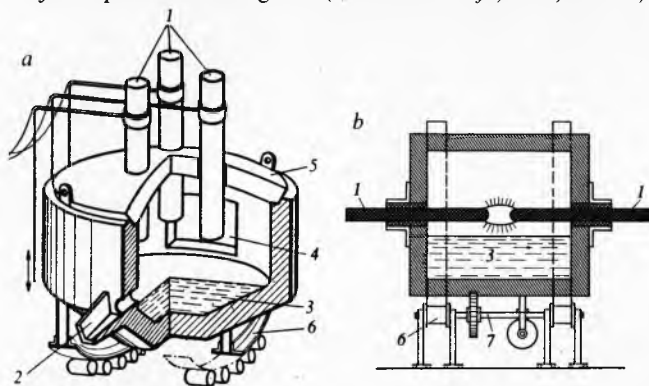
Kanalna induksijska peć. Električna energija za taljenje u kanalnoj induksijskoj peći predaje se preko relativno male mase metala u kanalu, tako da se litina u kanalu mora pregrijavati na relativno visoku temperaturu i što brže gibati kroz kanal da bi predala toplinu preostaloj litini u peći. Međutim, količina je predane energije metalu u kanalu ograničena, jer je dozvoljena temperatura zida kanala ovisna o kvaliteti izolacijske mase koja odvaja kanal od primarnog namota, a litina se giba djelovanjem elektromagnetskog polja. To je jedan od glavnih razloga što se kanalne induksijske peći ne upotrebljavaju za taljenje metala. Zato je razvoj tih peći usmjeren na poboljšane konstrukcije kanala, pa se očekuje da bi u budućnosti kanalne induksijske peći mogle s obzirom na proizvodnost dostići tiganjske induksijske peći. Kako se gibanjem litine u kanalu ne postiže dobro miješanje litine u peći, ne može se ostvariti brzo otapanje dodatnog zasipa (legirnih elemenata ili dodatnog krutog zasipa). Prije početka rada kanalnu induksijsku peć treba predgrijati, a zatim je ispuniti rastaljenim metalom. Za vrijeme prekida rada kanal se mora održavati stalno ispunjen tekućim metalom. Postoji velika raznolikost u konstrukcijskim izvedbama kanalnih induksijskih peći, ali su osnovne izvedbe s horizontalno ili vertikalno postavljenim kanalom.

Tigarijske indukcijske peći vrlo su slične kanalnim pećima. Zagrijani metal služi kao jezgra transformatora i kratkospojena zavojnica sekundarnog namota, dok je bakrena cijev, ovijena oko tignja, primarni namot. Zbog električnih razloga (v. *Elektrotermija*, TE 5, str. 189) za male tiganjske indukcijske peći potrebna je struja visoke frekvencije. Tako je za peći kapaciteta ~ 500 kg najpogodnija frekvencija od 200...550 Hz, dok veće peći rade s mrežnom frekvencijom (50 Hz).

Primarni namot izrađen od bakrene cijevi mora imati dovoljnu krutost da izdrži mehaničke sile, pogovu ako se pojave velike struje, i dobru ugibljivost zbog dilatacija. Radi postizanja boljeg efekta tiganj ima veću visinu od promjera, tako da blizu dna peći djeluje velik statički tlak zbog postojanja relativno visokog stupca rastaljenog metala. Kućište peći mora biti robustno i kruto, jer se peć nagiba tokom pražnjenja.

U tiganjskoj indukcijskoj peći giba se litina djelovanjem elektromagnetskog polja, i to od središta peći prema gore i dolje, a zatim uz stijenku u suprotnom smjeru. Tako se ostvaruje dobro miješanje litine. Zbog toga se vrlo brzo otapaju legirni dodaci ili novi zasip. Indukcijska se tiganjska peć lako prazni i lako stavlja u pogon s hladnim zasipom. Uobičajeno je da se pri puštanju u pogon ubace u peć krupniji blokovi metala, kako bi potekla što veća električna struja. Budući da se u peći vrlo malo mijenja sastav, najbolje je odmah sastaviti zasip željenog sastava, jer pregrijavanje litine traje vrlo kratko, tako da ostaje malo vremena za kemijsku analizu litine.

Direktna lučna električna peć. Lučne su električne peći (sl. 68) prema konstrukciji koritaste peći u kojima se metal tali djelovanjem topline električnog luka (v. *Elektrotermija*, TE 5, str. 194).



Sl. 68. Lučne električne peći. a direktna, b indirektna. 1 elektrode, 2 ispušni otvor, 3 litina, 4 vrata, 5 poklopac peći, 6 valjci za nakretanje peći, 7 uređaj za njihanje

Upotrebljavaju se za taljenje sivog i čeličnog lijeva. Sastoje se od čeličnog kućišta, koje je s unutrašnje strane zaštićeno vatrostalnim izolacijskim materijalom. Električna energija za taljenje dovodi se preko tri grafitne elektrode. U električnom luku elektrode se troše, pa se ispravna udaljenost elektroda, a time i intenzivnost električnog luka podešava regulacijskim uređajem. Kupka od rastaljenog metala relativno je široka s obzirom na dubinu, tako da se u peć može ubaciti i vrlo glomazan zasip. Peć se puni odozgo uz prethodno zakretanje svoda peći ili kroz poseban otvor. Lučna električna peć pogodna je za različite metalurške obradbe litine, jer su reakcije između metala i troske vrlo efikasne. U takvoj je peći, naime, velika površina pokrivena troskom koja je na istoj temperaturi kao i litina. Proces taljenja može biti kiseo ili bazičan, a može se upotrijebiti zasip vrlo različitog sastava. U lučnoj električnoj peći litina se ne miješa za vrijeme taljenja i pregrijavanja, pa je mnogo teže ujednačiti sastav litine nego u tiganjskoj indukcijskoj peći. Izolacija se lako održava, peć je robustne konstrukcije i pouzdana u radu. Nepovoljno je što se za vrijeme taljenja stvara velika buka, koja može doseći i do 100 dB. Za vrijeme taljenja pojavljuju se veće promjene napona, što nepovoljno djeluje na druge potrošače električne energije. Ispuštanje je litine iz lučne električne peći diskontinuirano, a povremeno odljevanje manjih količina litine pogoršava energetske iskoristivost peći. Zbog toga se, kad kalupna linija zahtijeva

male količine litine, kombinira lučna peć s peći za početak, najčešće s indukcijskom peći. Tako se kombinira efikasnost taljenja i mogućnost upotrebe zasipa različitog sastava u lučnoj električnoj peći s povoljnim prilikama tokom pregrijavanja u kanalnoj indukcijskoj peći, pa se postiže efikasno taljenje i kontinuirana opskrba litinom uz kontrolu sastava i kontrolu temperature.

Lučna električna peć radi punom snagom samo tokom taljenja, a nakon toga mora se ograničiti snaga električnog luka, a time i količina topline za vrijeme pregrijavanja da se svod i zide peći ne oštete. Troškovi održavanja slični su za indukcijsku i lučnu električnu peć. U pogonske troškove lučne peći treba uz troškove za električnu energiju uračunati i izdatke za grafitne elektrode, što se obično kompenzira upotrebom jeftinijeg zasipa.

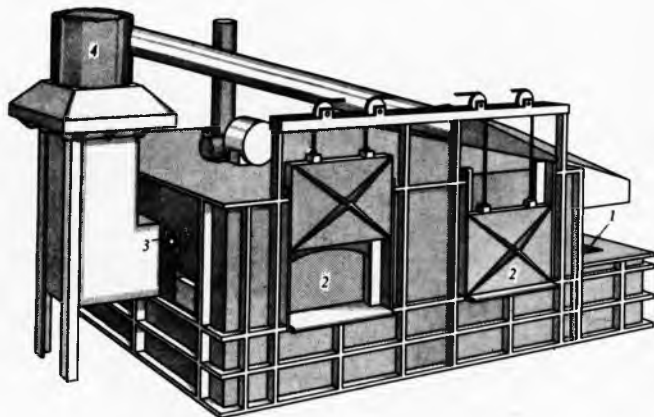
Indirektna lučna električna peć horizontalno je postavljeni bubanj u koji su uvučene elektrode, od kojih je jedna pokretna. Zasip se zagrijava neposrednim i reflektiranim zračenjem električnog luka. Peć je postavljena na valjcima i njiše se za vrijeme taljenja oko horizontalne osi. Amplituda njihanja može se podesiti prema položaju ispusta i visini rastaljenog metala u peći. Litina se ispušta nagibanjem peći.

Indirektna lučna peć ima visoku proizvodnost, ali zahtijeva dobro električno i mehaničko održavanje, te dobro izučene talioce. Zbog visoke temperature električnog luka postoji opasnost od isparivanja legirnih dodataka, a teška je i kontrola temperature litine. Veoma je fleksibilna, te može taliti strugotinu isto tako uspješno kao i metalne truppe.

Otporna električna peć jednostavne je konstrukcije, a energija za taljenje dobiva se zagrijavanjem otpornika (grijača) kroz koje protječe električna struja. Izvode se kao tiganjske ili štapne peći. Tiganjske otporne električne peći prema konstrukciji vrlo su slične tiganjskim plamenim pećima, samo što je umjesto plamenika postavljena otporna spirala oko tignja peći. Upotrebljavaju se kao peći za početak i za taljenje bakrenih i aluminijevskih legura. Za taljenje aluminijevskih legura potrebni su metalni grijači, dok se za taljenje bakrenih legura upotrebljavaju grijači od silicij-karbida.

U otporničkim štapnim električnim pećima grijač je smješten u osi bubnja. Grijač je obično šipka od grafitu ili silicij-karbida. Toplina se neposredno prenosi na površinu zasipa, a zasip se zagrijava i zračenjem grijača i izolacijskog zida peći. U otpornim električnim pećima bolje se iskorišćuje toplina nego u tiganjskim plamenim pećima.

Koritasta plamena peć. Toplina za taljenje dobiva se izgaranjem tekućeg ili plinovitog goriva koje izgara u istom prostoru u kojemu se i tali. Te se peći grade kao stabilne (sl. 69) i kao nagibne peći (sl. 70). Produkti izgaranja dolaze u neposredan dodir s rastaljenim metalom zagrijavajući površinu litine, tako da je prijelaz topline kombinacija konvekcije i zračenja.

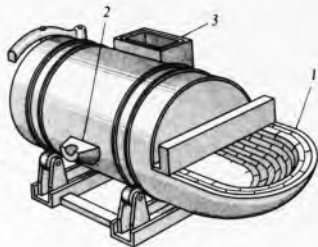


Sl. 69. Stabilna koritasta plamena peć. 1 zasipni otvor (sifon), 2 otvor za čišćenje troske, 3 otvor za plamenik, 4 dimnjak. Otvor za ispuštanje litine je na suprotnoj strani od otvora za čišćenje troske

Plamenik i dimnjak obično se nalaze na istoj strani peći radi što boljšeg toplinskog efekta. Plamen iz plamenika ne smije udarati u rastaljeni metal jer bi to moglo onečistiti litinu.

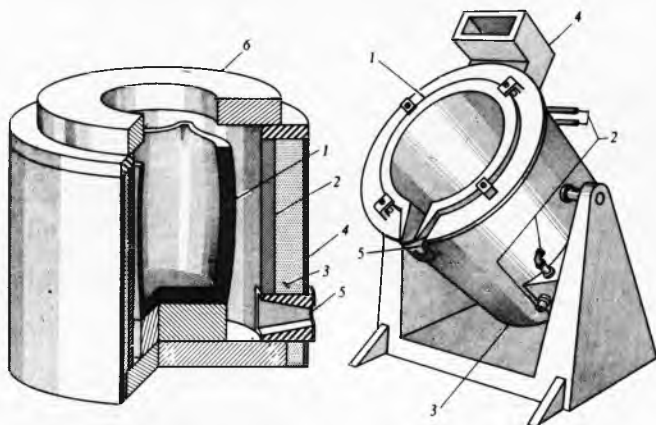
Plamen i plinovi izgaranja najprije zagrijavaju svod i zide peći, koji se zagriju na relativno visoku temperaturu, te zračenjem odaju toplinu zasipu. Na povratku prema dimnjaku plinovi izgaranja konvekcijom zagrijavaju zasip. Produktivnost peći može se poboljšati ako se plinovima izgaranja predgrijava zasip prije ubacivanja u peć, ili ako se predgrijava zrak koji se dovodi u peć. Predgrijavanjem zasipa ne samo da se poboljšava toplinski efekt peći nego se odstranjuje vlaga iz zasipa, koja bi mogla onečistiti litinu.

Sl. 70. Nagibna koritasta plamena peć.
1 zasipni otvor, 2 ispušt litine, 3 dimnjak



Koritasta plamena peć upotrebljava se za taljenje vrlo velikih količina metala, obično aluminijskih i bakrenih legura, te kao peć za taljenje otpadnih sirovina pri proizvodnji sekundarnih metala. U nekim tipovima peći postiže se temperatura i do 1500 °C, pa se mogu upotrijebiti i za taljenje sivog lijeva.

Tiganjska plamena peć. Toplina za taljenje dobiva se kao i u drugim plamenim pećima izgaranjem tekućeg ili plinovitog goriva, ali plinovi izgaranja u tiganjskim pećima ne dolaze u dodir s metalom koji se tali, jer je smješten u posebnom tignju.



Sl. 71. Stabilna tiganjska plamena peć. 1 tiganj, 2 obloga od silicij-karbida, 3 izolacijska obloga, 4 čelični plašt, 5 otvor za plamenik, 6 poklopac

Sl. 72. Nagibna tiganjska plamena peć. 1 tiganj, 2 ulaz goriva i zraka, 3 čelični plašt s izolacijom, 4 dimnjak, 5 ispušt

Tako je znatno smanjena mogućnost onečišćenja litine produktima izgaranja. Tignjevi se izrađuju od silicij-karbida ili grafita. Grafitni tignjevi su higroskopi i osjetljivi na toplinski udar. Tiganjska plamena peć sastoji se od cilindričnog čeličnog plašta koji je iznutra obložen vatrootalnim izolacijskim materijalom.

Najjednostavnija je tiganjska stabilna peć (sl. 71) iz koje se litina grabi loncima. Postoje i stabilne tiganjske peći iz kojih se može izvaditi tiganj i iskoristiti kao lonac za lijevanje. Nagibne tiganjske peći (sl. 72) nagibaju se oko težišta ili oko ispusta za izlivanje, što je povoljnije zbog toga što se tada smanjuje oksidacija litine pri izlivanju.

Plamenik za zagrijavanje peći postavljen je tako da plamen i plinovi izgaranja ulaze u peć tangencijalno s obzirom na tiganj, da se ne bi tiganj lokalno zagrijavao, što bi znatno skratilo njegovu trajnost. Iskoristljivost je topline vrlo slaba jer plinovi izgaranja na izlazu iz peći imaju visoku temperaturu. Poboljšanje iskoristljivosti postiže se iskorištenjem plinova izgaranja za predgrijavanje zasipa. Tiganjske plamene peći obično se upotrebljavaju za taljenje aluminijskih i bakrenih legura.

Priprema zasipa sastoji se od sastavljanja zasipa vaganjem pojedinih komponenata, te ubacivanja u zasipnu posudu radi transporta u peć. Komponente zasipa važu se težinskim dozatorima (sl. 73), koji mogu biti pokretni ili stabilni. Dozatori

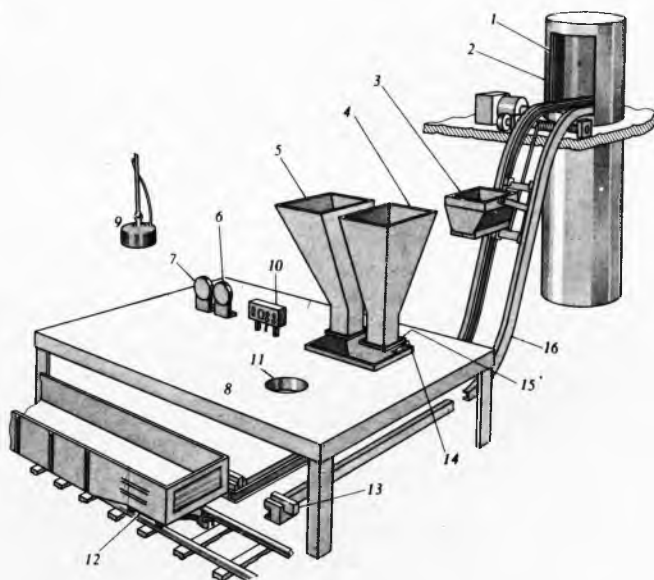


Sl. 73. Istovar zasipa iz težinskog spremnika u zasipne posude na transportnim kolicima

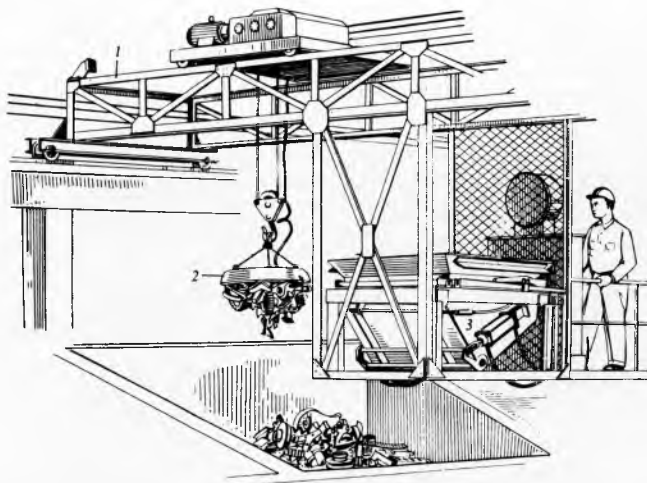
su otvoreni metalni spremnici dovoljne veličine da sadrže kompletan zasip, a povezani su s vagonom. Dozator se obično puni metalnim zasipom pomoću dizalice s elektromagnetom. Težinski dozatori su vrlo robustne konstrukcije, jer moraju biti otporni na udarce pri ispuštanju zasipnog materijala s elektromagneta.

Težinski dozatori za kupolke smješteni su obično na posebnu platformu (sl. 74), koja služi i za smještaj priručnih spremnika za koks i taljivo. Težinski dozatori za koks i taljivo laganije su konstrukcije i manjih dimenzija, a pune se iz priručnih spremnika vibracijskim žlijebom.

Pokretni težinski dozator može biti postavljen na dizalicu (sl. 75), te se dozator puni pomoću vitla s elektromagnetom. Neki put su transportna kolica opremljena vagonom, pa se na njima priprema zasip i voze zasipne posude.

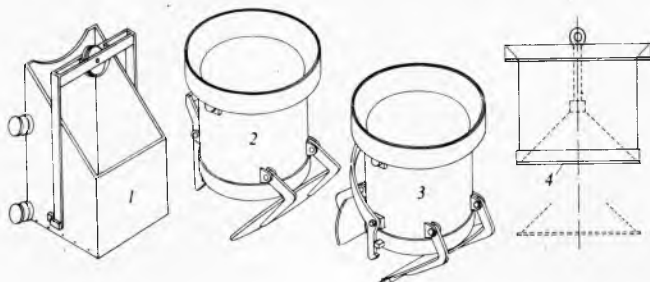


Sl. 74. Mehanizacija zasipavanja kupolke. 1 kupolka, 2 zasipni otvor, 3 zasipna posuda, 4 spremnik za koks, 5 spremnik za vapnenac, 6 pokazivač vage za metalni zasip, 7 pokazivač vage za taljivo i koks, 8 zasipna platforma, 9 magnet dizalice, 10 upravljačka ploča, 11 težinski dozator za metalni dio zasipa, 12 vagon, 13 zatvarač zasipne posude, 14 težinski dozator za koks i taljivo, 15 vibracijski dozator, 16 skip dizalo



Sl. 75. Priprema zasipa. Granik (1) s magnetom (2) i težinskim dozatorom (3)

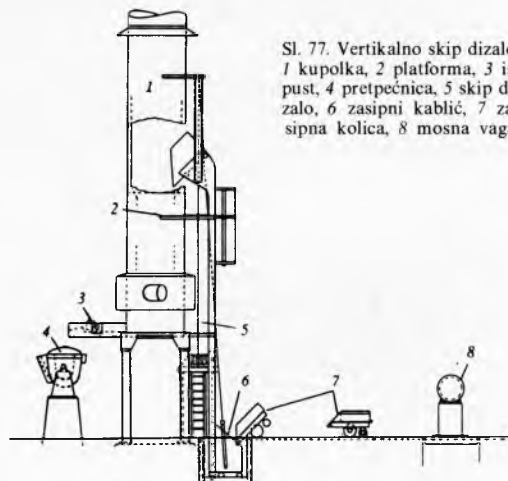
Zasipni uređaj kupolke. Kontinuirana proizvodnja litine zahtijeva postupno taljenje slojeva zasipa, jer se inače smanjuje proizvodnost i temperatura taljenja, a pojavljuju se i veće promjene kemijskog sastava litine. Zato je potrebno postići ujednačen protok i raspored toplih plinova, zbog čega slojevi zasipa moraju biti jednolike gustoće, s time da se propusnost zasipa povećava prema središtu kupolke. Zasipna je posuda najvažniji dio zasipnog uređaja, jer o njoj znatno ovisi raspored zasipa u peći. Razlikuju se tri tipa zasipnih posuda: kablčić, lonac s dvodijelnim i jednodijelnim dnom i lonac sa stožastim dnom (sl. 76). Za transport zasipne posude do zasipnog



Sl. 76. Zasipne posude. 1 kablčić, 2 zasipni lonac s jednodijelnim, 3 dvodijelnim i 4 stožastim dnom

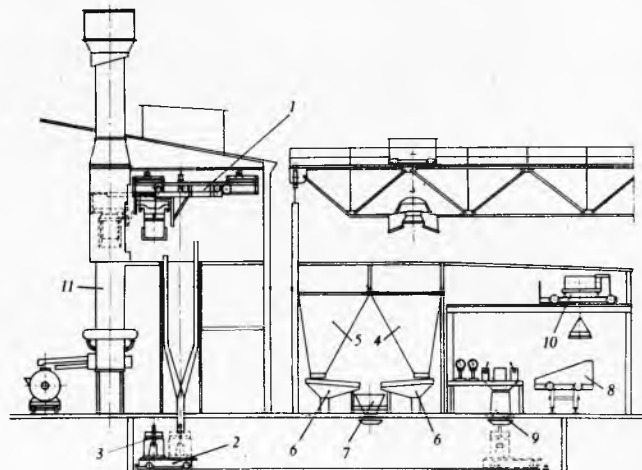
otvora upotrebljava se skip dizalo ili različite vrste dizalice (često granici). Kablčić kao zasipna posuda upotrebljava se jedino u kombinaciji sa skip dizalom, dok se zasipni lonci mogu transportirati i skip dizalom i dizalicama. Zasipni se kablčić prazni preokretanjem, a u kombinaciji s vertikalnim skipom najjeftiniji je zasipni uređaj. Nedostatak mu je bočno ubacivanje zasipa, tako da se lako može oštetiti izolacijska obloga kupolke i nejednoliko rasporediti zasip, a tada se koks slabije iskorišćuje. Upotrebom zasipnog lonca s dvodijelnim dnom dobro se iskorišćuje zasipni prostor i bolje se raspoređuje zasipni materijal nego upotrebom kablčića. Mala pogonska sigurnost nedostatak je kod upotrebe zasipnog lonca, jer se može otvoriti tokom transporta. Nepovoljno je i to što cijeli zasipni sadržaj lonca pada odjednom, a kako se zasip prazni u središte peći, plinovi izgaranja struje uz izolacijsku oblogu umjesto kroz središte peći. Upotrebom zasipnog lonca s jednodijelnim dnom zasip se loše raspoređuje. Zasipni lonac sa stožastim dnom osigurava dobar raspored zasipnog materijala, jer se zasip raspoređuje po obodu peći, čime se postiže veća propusnost u središtu, a time i bolje prodiranje plinova i jednoličnije taljenje. Vrlo je pouzdan u radu, ali se slabo iskorišćuje zasipni prostor, jer lonac mora biti mnogo manji od unutrašnjeg promjera peći i jer veći komadi zasipa mogu zapeti u stožastom dijelu lonca.

Postoje različiti uređaji za dizanje zasipne posude prema tipu kupolke i proizvodnim uvjetima. Najjeftiniji je i najjednostavniji vertikalno skip dizalo (sl. 77) u kojemu je zasipni kablčić dio uređaja. Kablčić se podiže i spušta električnim vitlom. Upotrebljava se za manje kupolke. Zasipni kablčić montiran je na kolica koja putuju po vertikalnim vodilicama zakrivljenim na vrhu. Kad kablčić dosegne zasipni otvor kupolke, nagne se naprijed, a sadržaj se istrese u zasipni otvor kupolke. Kad nije moguće vodilice postaviti okomito, izvode se kose vodilice. Skip dizalo se upotrebljava i za zasipanje zasipnim loncem, obično za veće kupolke. Skip dizalo se može izvesti u zakretnoj izvedbi tako da može posluživati dvije ili više kupolki, jer se nakon svakog zasipavanja zakrene na drugu kupolku.



Sl. 77. Vertikalno skip dizalo. 1 kupolka, 2 platforma, 3 ispuš, 4 prepećnica, 5 skip dizalo, 6 zasipni kablčić, 7 zasipna kolica, 8 mosna vaga

Za zasipanje služe različite dizalice, najčešće granici (sl. 78), a posuda za zasipanje je obično zasipni lonac sa stožastim dnom. Nakon punjenja zasipni se lonac kolicima transportira pod toranj za dizanje gdje ga prihvaća vitlo dizalice i podiže na visinu zasipnog otvora. Vitlo je dizalice konzolne konstrukcije, tako da pomoću konzole uvodi lonac u peć.



Sl. 78. Automatizirano zasipno postrojenje. 1 dizalica s konzolom za zasipavanje, 2 kolica za transport zasipnog lonca, 3 zasipni lonac, 4 spremnik za koks, 5 spremnik za vapnenac, 6 vibracijski žlijeb, 7 težinski dozator za vapnenac i koks, 8 vagon s metalnim zasipom, 9 težinski dozator za metalni zasip, 10 granik s magnetom, 11 kupolka

Zahtjevi za uštedom energije i zaštitom okoliša utjecali su na promjenu konstrukcije kupolke. U kupolkama koje su vodom hladene povećana je visina zasipa od 5 m na 10–15 m, radi boljeg predgrijanja zasipa. Povećanjem visine zasipa smanjuje se temperatura i brzina plinova izgaranja te slabi ventilacija zasipnog otvora u kupolkama bez posebnih odsisnih uređaja. Iako su bili ugrađeni posebni plamenici, bilo je otežano paljenje i izgaranje ugljik-monoksida, pa je povremeno

ugljik-monoksid prodirao kroz zasipni otvor. U kupolke koje su imale uređaj za pročišćivanje plinova ulazila je velika količina zraka kroz zasipni otvor zbog odsisavanja, pa je bio potreban povećani kapacitet odsisnog uređaja i filtera. Poboljšanje se moglo postići odvođenjem plinova izgaranja prije zasipnog otvora ili smanjenjem dimenzija zasipnog otvora. Da bi se smanjio zasipni otvor, uvedeno je zasipavanje vibracijskim žlijebom stalno postavljenim u zasipnom otvoru.

Uređaji za zasipavanje električnih peći. Veliki kapaciteti suvremenih električnih peći zahtijevaju efikasnu mehanizaciju zasipavanja, kako bi se smanjio prazni hod peći i tako postiglo bolje iskorištenje. Ako nije potrebno zasip sušiti ili predgrijati, primjenjuju se slični postupci zasipavanja kao za kupolne peći. Zasipavanje pomoću dizalice s elektromagnetom suviše je sporo. Vibracijski žlijebovi u kombinaciji sa skip dizalom vrlo su efikasni zasipni uređaji. Tada se zasipava u središte peći, pa se ne oštećuje obloga. Nedostatak je velika buka. Vrlo se često zasipava zasipnim loncem (sl. 79), i kad je potrebno predgrijanje zasipa i kad to nije potrebno, jer se tako postiže dobra kontrola uvjeta zasipavanja i jer se lako odstranjuju plinovi.



Sl. 79. Pripreda zasipa induksijske peći. 1 skladište, 2 granik s magnetom, 3 vibracijski žlijeb, 4 zasipna posuda, 5 uređaj za sušenje zasipa, 6 jedno-tračna dizalica sa dopremu zasipne posude, 7 induksijska električna peć, 8 lonac za transport litine

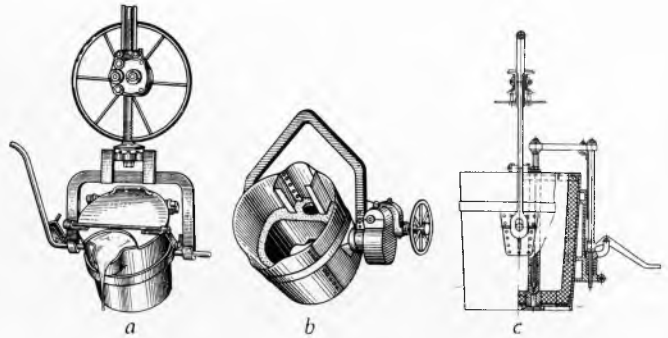
Više radi sigurnosti rada nego zbog ekonomskih razloga, zasip se za električne peći suši ili predgrije. Sušenjem se odstranjuje voda i ulje iz zasipa, pa je zasip potrebno zagrijavati na temperaturu od 200–300 °C, dok se predgrijanjem zasip zagrijava na temperaturu od 500–600 °C. Velika fleksibilnost električnih peći (može se taliti otpadni materijal različitog oblika) otežava izbor mehanizacije transporta i predgrijanja zasipnog materijala. Komadni se zasipni materijal suši ili predgrije neposredno u zasipnom loncu, dok se zasipni materijal prešan u bale zagrijava u kontinuiranom predgrijaču, jer je potrebno duže zagrijavanje.

Z. Bonačić-Mandinić

Ulijevanje litine i čišćenje odljevaka

Transport i ulijevanje litine. Litina se transportira u ljevačkim loncima. Oni su izrađeni od čeličnog lima, obično su valjkastog ili stožastog oblika, obloženi iznutra izolacijskim materijalom radi zaštite metalnog plašta i smanjenja toplinskih gubitaka. Debljina izolacije ovisi o vremenu zadržavanja litine u loncu, jer sniženje temperature litine u loncu za vrijeme transporta ne smije biti veće od 50–75 °C. Prema namjeni razlikuju se lonci za transport i za ulijevanje litine. Među njima nema suštinske razlike, osim što su lonci za transport litine veći i s boljom toplinskom izolacijom. Loncem za transport litine transportira se rastaljeni metal od ispusta iz peći do uljevališta. Međutim, katkada se lonac za ulijevanje puni neposredno iz peći. To se primjenjuje kad se lijevaju odljevci u uslužnim ljevaonicama, jer je tada ljevalište blizu peći, ili kad se lijevaju vrlo veliki odljevci. Prema načinu izlivanja litine razlikuju se lonci s izlivanjem preko kljuna, sa sifonom i s ispuštanjem litine kroz dno (sl. 80). U malim i srednjim uslužnim ljevaonicama lonci se transportiraju guranjem po ovjesnoj tračnici,

dok je u velikim i visokomehaniziranim ljevaonicama transport lonaca potpuno mehaniziran.



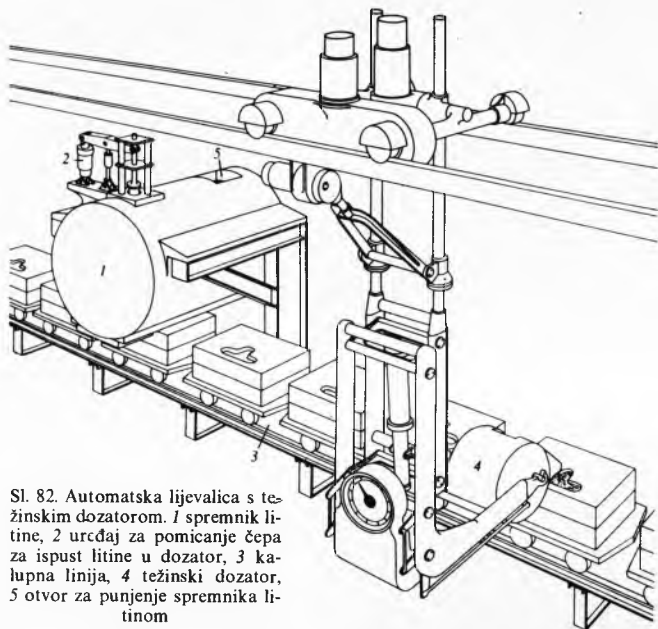
Sl. 80. Ljevački lonci: a obični, b sa sifonom, c s čepom

Ručno se ulijeva postavljanjem lonca u posebne držače ili ljevačkim loncem ovješanim na nosaču o vitlo jednotračne dizalice (sl. 81). Pogon je dizalice ručni ili elektromotorom sa reduktorom. Lonac se podiže zupčastom letvom ručno ili hidraulički, a naginje pužnim reduktorom ručno ili elektromotorom. Kad je potrebno ulijevati mirno, bez trzaja i sa stalnim dotokom litine, upotrebljavaju se krute konstrukcije za ovješanje lonca i hidraulički pogon. Kad je potrebno više litine ili veća brzina ulijevanja, npr. za automatske kalupne linije, upotrebljavaju se lijevalice. Najjednostavnije su one lijevalice kojima se ulijeva iz ljevačkog lonca mehaničkim ili hidrauličkim pogonom. One su ovještene o tračnice i kreću se uzduž ljevališta. Imaju upravljačku kabinu i platformu na kojoj je nosač ljevačkog lonca. Lonac se od peći do lijevalice transportira jednotračnom dizalicom i stavlja na nosač. Kad je veća učestalost ulijevanja, platforma ima dva nosača, tako da se jednim loncem ulijeva, dok se na drugom nosaču zamjenjuje prazan lonac punim.



Sl. 81. Ručno ulijevanje loncem na ovjesnoj dizalici

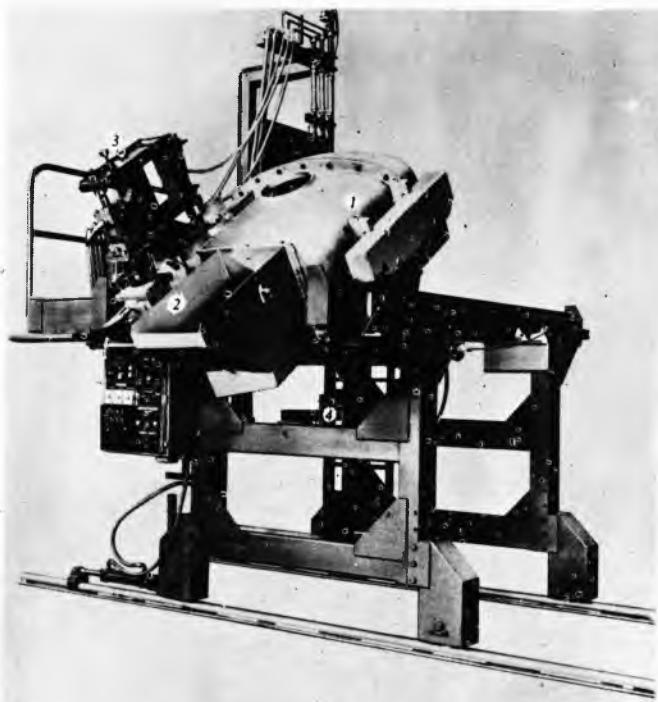
Složeniji tipovi lijevalica imaju mogućnost dogrijavanja litine, a izliva se nakretanjem ili kroz otvor na dnu, dok je upravljanje poluautomatsko ili automatsko. Da bi se postigla stalna temperatura ulijevanja, litina se dodatno zagrijava. Takve su



Sl. 82. Automatska lijevalica s težiškim dozatorom. 1 spremnik litine, 2 urcđaj za pomicanje čepa za ispušt litine u dozator, 3 kalupna linija, 4 težiški dozator, 5 otvor za punjenje spremnika litinom

lijevalice zapravo male kanalne indukcijske peći. Kad su lijevalice poluautomatske, litina potrebna za popunjavanje jednog kalupa dozira se ručno. Automatske lijevalice imaju doziranje pomoću težiškog dozatora ili pomoću termosenzora. Osim toga, moguće je programirati trajanje ulijevanja.

Automatske su lijevalice različitih konstrukcija. Kad lijevalica ima težiški dozator (sl. 82), litina je smještena u posebnom spremniku koji se puni loncem. Iz spremnika se litina ispušta kroz otvor na dnu koji se otvara i zatvara hidraulički upravljanim keramičkim čepom. Iz toga spremnika naizmjenice se pune dva težiška dozatora ovješena na tračnicama iz kojih se ulijeva u kalupe. Kad lijevalica ima termosenzor (sl. 83), potrebna se litina dozira prekidom ulijevanja kad termosenzor registrira toplinsko zračenje iz pojila ili oduška. U takvoj lijevalici litina se dogrijava kao u kanalnoj indukcijskoj peći.



Sl. 83. Automatska lijevalica s termosenzorom i indukcijskim zagrijavanjem litine. 1 spremnik litine, 2 otvor za punjenje spremnika litinom, 3 uređaj za pomicanje čepa za izljev litine, 4 termosenzor

Većina lijevalica još se uvijek upravlja poluautomatski, zbog poteškoća s automatizacijom doziranja litine, posebno kad se pojavljuje velika promjena količine litine u kalupu zbog grešaka u kalupljenju (npr. urušavanje kalupa, puknuta jezgra). Prema propisima o zaštiti na radu, u većini je zemalja zabranjeno ulijevanje za vrijeme pomicanja transportera kalupa. Zato se upotrebljavaju kalupne linije s transporterima koji se pomiču u taktu i ulijeva se samo na jednom mjestu. Tada se iz lijevalice ulijeva u trenutku mirovanja kalupa, a one se pomiču samo radi centriranja mlaza litine u čašku uljevnog sustava.

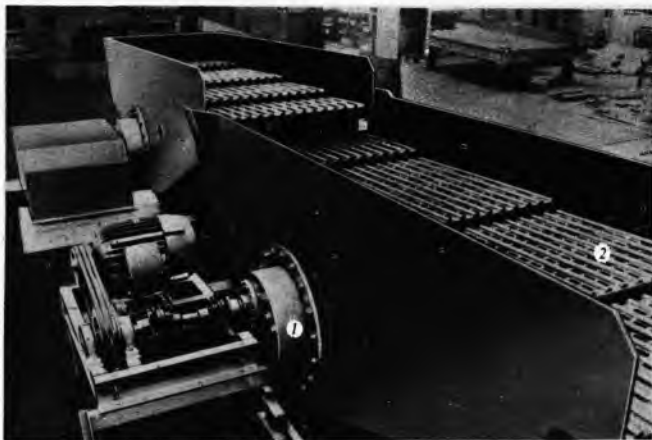
Istresanje i transport odljevaka. Istresne rešetke služe za istresanje sadržaja kalupnika i za odvajanje pijeska od odljevka. Istresna je rešetka (sl. 84) rešetkasta, zavarena čelična platforma ili platforma sastavljena od lijevanih čeličnih segmenata. Platforma je oslonjena na perima. Vibracije proizvode dva vibracijska motora koji su neposredno pričvršćeni na kućište rešetke, ili ekscentar tjeran elektromotorom. Ohlađeni kalupi stavljaju se na rešetku gdje se djelovanjem vibracija raspada bloketa.



Sl. 84. Istresna rešetka. 1 rešetkasta platforma, 2 opruge, 3 vibracijski motor, 4 rešetka u podu kroz koju propada višak pijeska, 5 kabina za otprašivanje

Pijesak propada kroz rešetku na trakasti transporter koji je ugrađen ispod rešetke, a kalupnici i odljevci ostaju na rešetki s koje se skidaju jednotračnim dizalicama ili ručno hvataljkama. Istresna rešetka vibrira vertikalno. Ako rešetka tako ne vibrira, nego pod kutom, kalupnici i odljevci kreću se po rešetki, te se gomilaju i padaju s rešetke. Amplituda i snaga vibracija može se regulirati prema veličini i težini kalupa. Istresna rešetka radi diskontinuirano. Osim toga, takvo istresanje kalupa oštećuje vodilice i razdjelne površine kalupnika, pa se upotrebljava uglavnom u ljevaonicama nižeg stupnja mehanizacije i s manjim zahtjevima za točnost odljevaka.

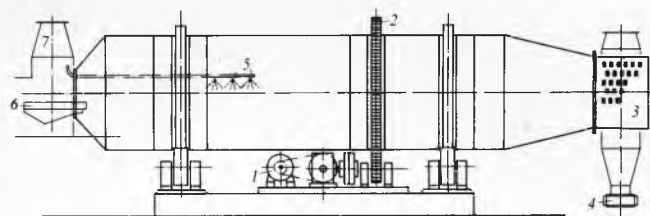
U kalupnim linijama višeg stupnja mehanizacije i u automatskim linijama bloketa se istiskuje iz kalupnika, pa se kalupnici ne oštećuju. Bloketa se ne istiskuju na rešetke, već na rešetkaste vibracijske transportere koji vibriraju pod kutom, a ne vertikalno, te se na njima i pijesak odvaja od odljevaka i odljevci transportiraju do drugog transportera ili spremnika, pa se tako oslobađa mjesto za sljedeći bloketa. Takvi transporteri



Sl. 85. Rešetkasti vibracijski transporter. 1 ekscentar, 2 višedijelna rešetka

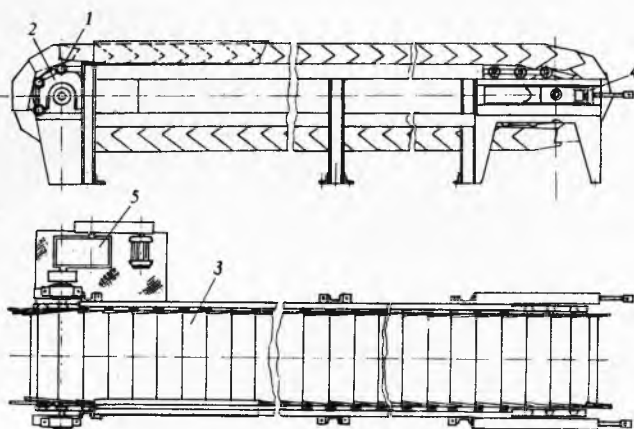
rade kontinuirano, pa su uključeni u tok rada kalupnih linija. Rešetkasti vibracijski transporter (sl. 85) višedijelna je rešetkasta platforma oslonjena na pera, s vibracijskim motorima ili ekscentrima kao proizvođačima vibracija. Smjer je vibracija pod kutom od $55^\circ \dots 75^\circ$ prema površini transportera, pa se odljevci pomiču prema naprijed. Što je kut veći, veće je odvajanje pijeska od odljevaka, a manje napredovanje odljevaka prema naprijed i obratno. Rešetkasti transporter ugrađuje se ispod uređaja za istiskivanje bloketa. Pijesak koji propada kroz rešetke pada kroz lijevak na trakasti transporter koji ga otprema u postrojenje za pripremu kalupne mješavine.

U automatskim kalupnim linijama, a osobito kad se radi s kalupnim automatima za odvajanje pijeska i odljevaka, upotrebljavaju se rotacijski bubnjevi (sl. 86) koji su uključeni u takt linije ili automata. Plašt je od čeličnog lima, a unutrašnjost je obložena pločama od visokolegirano sivog lijeva otpornog na habanje. Rebra su s unutrašnje strane spiralno postavljena, pa je osigurano kontinuirano miješanje i napredovanje pijeska i odljevaka prema izlazu. Elektromotor okreće bubanj preko reduktora i lančanika, koji rotira na dva prstena na kotačima postolja. Obodna je brzina bubnja $\sim 0,35$ m/s. Osim što se razbijaju bloketi i odvaja pijesak od odljevaka, u bubnju se pojačano hlade odljevci i pijesak prskanjem vode po smjesi pijeska i odljevaka koji rotiraju. Bubanj radi na protustrujnom principu. Zrak izlazi kroz usisni ventilator na strani ulaza bloketa u bubanj. Na prolazu kroz bubanj zrak se zagrijava, pa je granica zasićenja vodenom parom sve viša. Zato su prskalice s vodom za hlađenje smještene u prvoj trećini bubnja, a otpri-

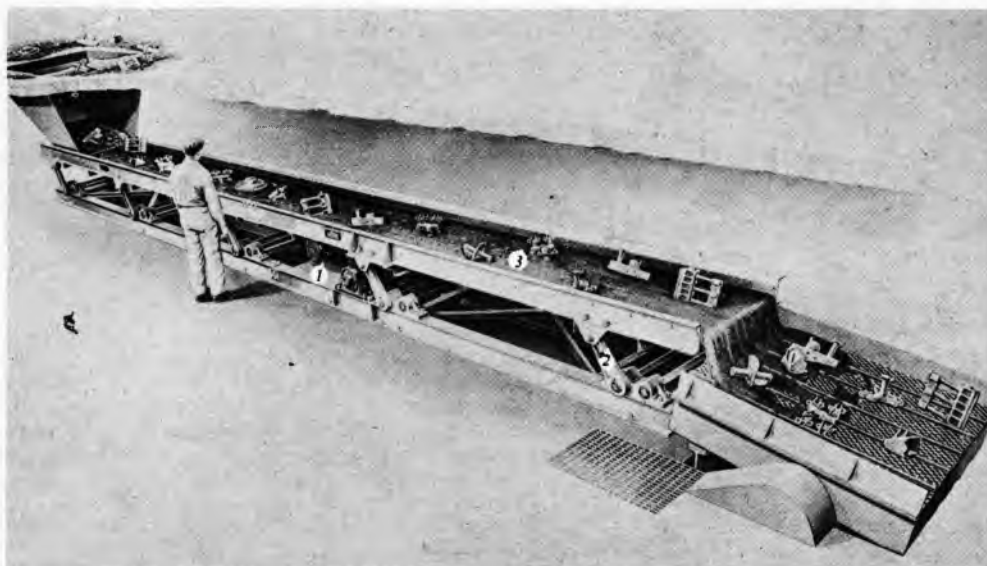


Sl. 86. Rotacijski bubanj. 1 pogon, 2 lančanik, 3 izlaz odljevka, 4 izlaz pijeska, 5 prskalice za vodu, 6 transporter bloketa, 7 izlaz zraka

Vrući odljevci s rešetkastih vibracijskih transportera, a ponekad i iz bubnjeva, transportiraju se pločastim ili titrajnim transporterima. Pločasti transporter (sl. 87) građen je od čeličnih ploča s uzdignutim rubovima. Primjenjuje se pri transportu uz mali nagib. Titrajni transporter (sl. 88) upotrebljava se za transport u horizontali, a čini ga žlijeb od čeličnog lima oslonjen na lisnatim perima koja su pričvršćena na okvir i na



Sl. 87. Pločasti transporter, 1 lanac, 2 lančanik, 3 ploča s kotačima, 4 uređaj za zatezanje, 5 pogon



Sl. 88. Vibracijski transporter. 1 pogon, 2 lisnata pera, 3 žlijeb

Žlijeb pod kutom od 45° . Brzina transportera vrlo je malena ($3\text{--}6\text{ cm/s}$), pa se na njemu odljevci ujedno i hlade. U tu svrhu često je ispod žlijeba ugrađen zatvoreni kanal kroz koji ventilator dovodi zrak.

B. Luburić

Čišćenje odljevaka. Nakon izbijanja odljevaka na istresnoj rešetki otpadne veći dio pijeska zbog vibriranja rešetke. Preostali se pijesak koji ostane na odljevku odstranjuje naknadnim čišćenjem. Najčešće se čisti sačmanjem. To je nabacivanje abrazivnih sredstava u obliku sačme na površinu odljevaka. Nabacuje se pneumatski, hidraulički ili mehanički. Uobičajeno je mehaničko nabacivanje sačme; hidrauličko je nabacivanje vrlo rijetko, a pneumatsko je napušteno. Obično se upotrebljava



Sl. 89. Rotor sačmalice

čelična sačma koja ulazi u rotor (sl. 89), djelovanjem centrifugalne sile izlijeće iz rotora i udara o površinu odljevka. Stroj za sačmanje (sačmalica) mora biti tako konstruiran da se mogu

temeljito očistiti sve površine odljevka, a da se ne ošteti njegova površina. Da bi se tom zahtjevu udovoljilo, potrebna je složena kombinacija različitih transportera i rotora za izbacivanje sačme kako bi se potpuno izbjeglo ručno čišćenje. Čišćenje je odljevaka sačmanjem visokomehanizirana ili automatizirana operacija u kojoj radnik samo ubacuje i otprema odljevke.

Sve sačmalice sastoje se od komore za čišćenje, mehanizma za izbacivanje sačme i uređaja za recirkulaciju i čišćenje sačme da bi se mogla ponovno upotrijebiti.

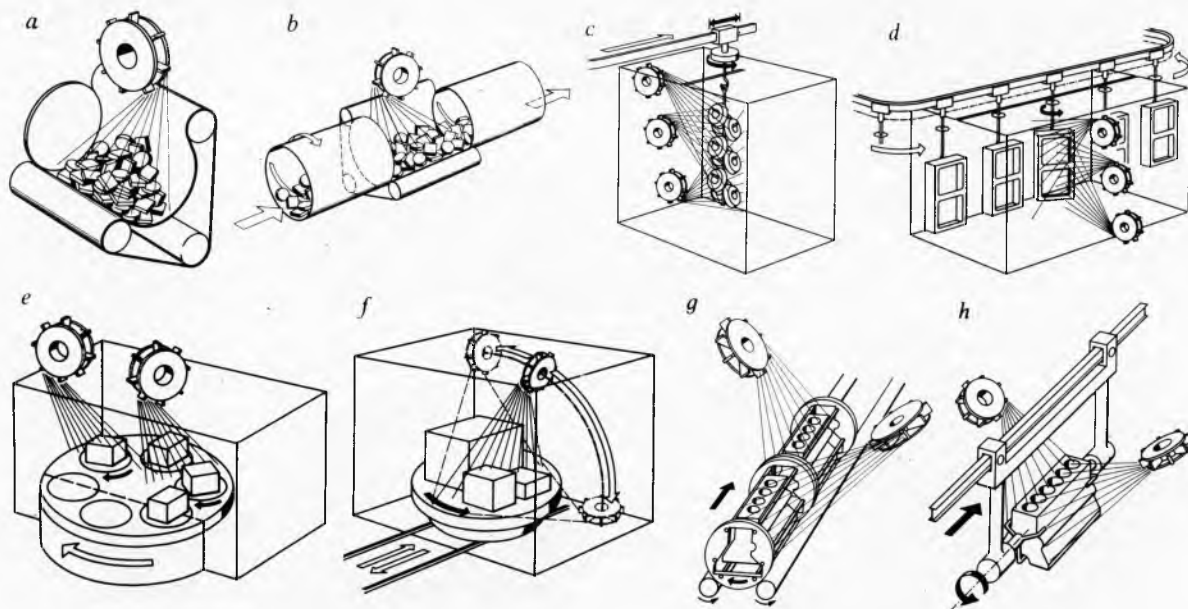
Postoji veliki izbor uređaja za sačmanje (sl. 90): od malih čistilica s ručnim upravljanjem do vrlo usavršenih automatiziranih postrojenja. Za čišćenje malih odljevaka najčešće se upotrebljava bubnjasta sačmalica s beskonačnom gumenom trakom (sl. 91). Za vrijeme sačmanja pokreće se beskrajna traka tako da se odljevci miješaju i prevrću, pa je cijela površina odljevaka izložena djelovanju sačme. Po završenom sačmanju transporter se pokrene u suprotnom smjeru i istovari odljevke. Obično takva čistilica obavi 4 čišćenja na sat, a kapacitet je do 8 m^3 odljevaka na sat.

Kontinuirane se čistilice upotrebljavaju kad je dotok odljevaka u čistilicu kontinuiran. Bubnjaste (sl. 92) sačmalice mogu prihvatiti $2\text{--}35\text{ m}^3$ malih i srednjih odljevaka na sat. Za odljevke koji su preveliki da bi se čistili u bubnjastoj sačmalici, ili su lomljivi te ne bi izdržali miješanje i prevrtanje, potrebna je sačmalica s okretnim stolom (sl. 90e, f i g), a kad je velika proizvodnja odljevaka, ovesna sačmalica (sl. 90c i d).

Vrlo veliki odljevci čiste se u posebnoj komori. Postoje različite konstrukcije takvih čistilica, npr. s nepomičnim rotorima ili s rotorima koji osciliraju. U takvim komorama čiste se odljevci do 250 tona, a opremljene su posebnim dizalicama.

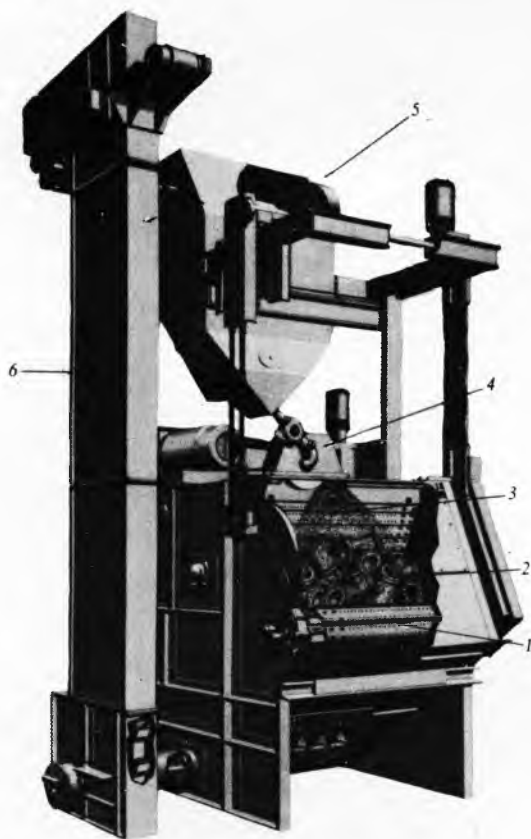
Uklanjanje priljevaka. S odljevka je potrebno ukloniti priljevke (uljevni sustav i pojlila) i izbrusiti dijelove na kojima je ostao srh od razdjelne plohe. Mehanizacija i automatizacija takvih poslova vrlo je uspješna, osobito u serijskoj proizvodnji. Kad se pojedinačno proizvode veliki odljevci, uklanjanje priljevaka zahtijeva mnogo ručnog rada, obično u teškim radnim uvjetima.

Priljevci se odstranjuju mehaničkim i autogenim rezanjem. Priljevci se odbijaju (kod krtih materijala) ili se odrezuju alatnim strojevima. Autogeno se odrezuju priljevci na čeličnim odljercima. Mehanizacija i automatizacija odrezivanja priljevaka pomoću alatnih strojeva specifična je problematika rezanja i spada u obradbu metala rezanjem i brušenjem. Od alatnih strojeva za uklanjanje priljevaka upotrebljavaju se pile (tračne rezne

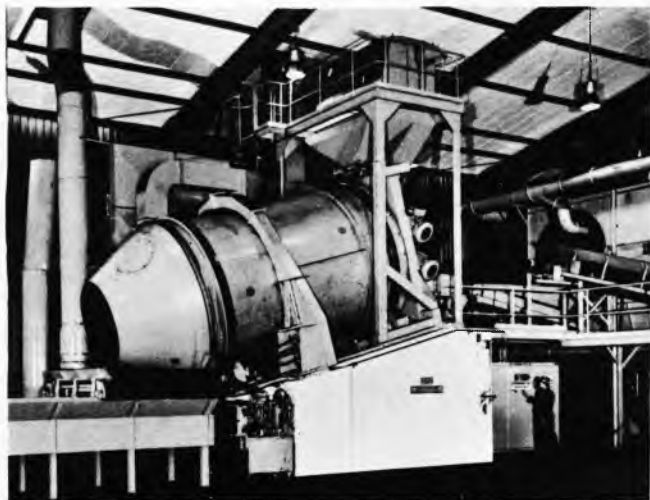


Sl. 90. Izvedbe sačmalica: a bubnjasta sačmalica s beskonačnom trakom kapaciteta do 5000 kg , b kontinuirana bubnjasta sačmalica za odljevke do 50 kg , c sačmalica s okretnim zavješanjem odljevaka s opterećenjem kuke do 100 kN , d kontinuirana ovesna sačmalica s opterećenjem kuke do 20 kN , e sačmalica s okretnim stolom za odljevke do 5 t , f komorna sačmalica s okretnim stolom za velike odljevke do 50 t , g sačmalica s okretnim okvirom proizvodnosti do 350 odljevaka na sat, h ovesna okretna sačmalica za teške i složene odljevke proizvodnosti do 180 odljevaka na sat

pile i pile s rezanjem pomoću trenja), različite rezalice s posebnim tankim abrazivnim pločama, specijalne preše za odrezivanje srha.



Sl. 91. Bubnjasta sačmalica s beskonačnom trakom. 1 beskonačna traka, 2 odljevci, 3 mlaz sačme, 4 rotor, 5 odvajač, 6 elevator



Sl. 92. Bubnjasta sačmalica

Od autogenih uređaja za rezanje u upotrebi je rezanje pomoću kisika, plazme ili ugljene elektrode. Odrezivanje se zasniva na oksidaciji metala kisikom. Uvijek se radi o fizički teškim poslovima u nepovoljnim radnim uvjetima, pa se zbog toga nastoje takvi poslovi mehanizirati ili automatizirati u što većem opsegu upotrebom robota i manipulatora za posluživanje.

V. Bonačić-Mandinić

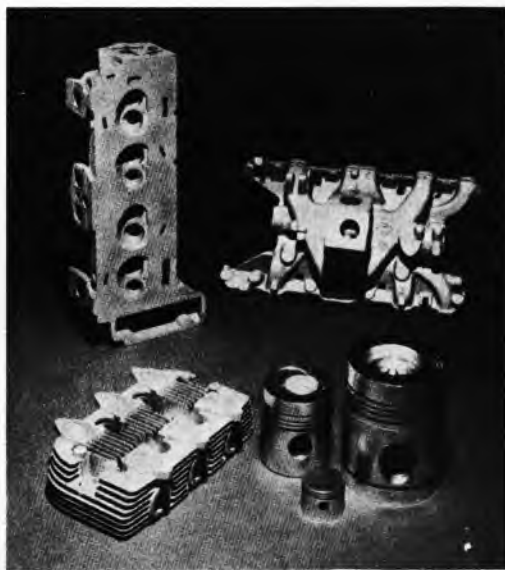
LIJEVANJE U STALNE KALUPE

Kokilni lijev. Kokilnim lijevom naziva se postupak lijevanja odljevaka u metalne kalupe (kokile) kad se litina ulijeva a kalupi se ispunjavaju djelovanjem gravitacije. Vanjski oblik odljevka određen je kalupnom šupljinom, a šupljine u odljevku postižu se pomoću metalnih ili pješčanih jezgri. Vijek trajanja kokile iznosi od desetak tisuća do nekoliko stotina tisuća lijevanja.

Kokilni lijev ima nekoliko prednosti pred odljevcima dobivenim lijevanjem u pješčane kalupe: relativno male razlike u dimenzijama među odljevcima, površine su odljevka glatke i čiste, odljevak ima bolja mehanička svojstva. Primjena lijevanja u kokile ograničena je veličinom odljevaka, termostabilnošću kalupa i visokom cijenom izradbe kalupa.

Kokilnim lijevom najčešće se lijevaju laki i teški obojeni metali te sivi lijev.

Postupak je pogodan za serijsku proizvodnju jednostavnih i manjih odljevaka koji imaju stijenke ravnomjerne debljine. Veći odljevci, npr. odljevci od aluminija, lijevaju se do mase od 500 kg i gabarita do 5 m. Odljevci iz kokile upotrebljavaju se u automobilske (sl. 93), kemijske i prehrambenoj industriji, industriji kućanskih aparata itd.



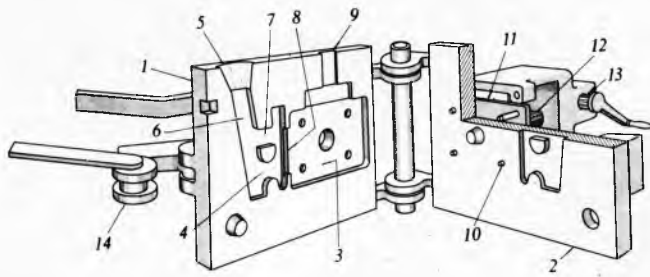
Sl. 93. Odljevci dijelova automobilskeg motora lijevani u kokili

Proizvodnja odljevaka kokilama. Proizvodna linija u ljevaonici kokilnog lijeva sastoji se od talionice, jezgraonice, ljevaonice, čišćenice, te vrlo često alatnice za izradbu i popravak kokila.

Oprema talionice je prilagođena slitini koja se lijeva. Najčešće se za taljenje upotrebljavaju plamene koritaste ili indukcijske peći. U jezgraonici se izrađuju pješčane jezgre. U ljevaonici su razmješteni strojevi za kokilno lijevanje i uz njih peći iz kojih se lijeva u kokile. Oprema odjela za čišćenje odljevaka i odrezivanje uljevnog sustava zavisi od veličine serije, a sastoji se od tračnih pila, strojnih turpija, te ručnog i pneumatskog alata za maloserijsku proizvodnju, odnosno od specijalnih uređaja za obradbu odljevaka za velikerijsku proizvodnju.

Strojevi za kokilni lijev. Funkcije su stroja za kokilni lijev: postavljanje dijelova kalupa (kokile) u položaj za ulijevanje, otvaranje kokile radi vađenja odljevka, izbacivanje odljevka, ponovno zatvaranje kokile te dovođenje u položaj za ulijevanje.

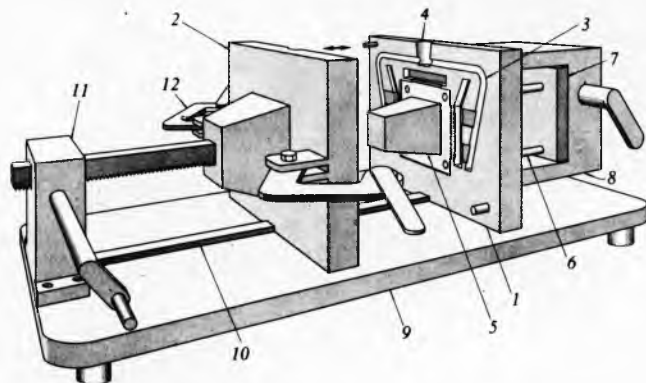
Ručna kokila. Jednostavnijim i malim kokilama rukuje se ručno. Dijelovi kalupa povezani su šarkama. Nepokretna polovica pričvršćena je na stol, a na njoj je montiran uređaj za izbacivanje odljevka. Kokila se obično zatvara i zadržava pomoću mehanizma s ekscentrom (sl. 94). Lijevanje je ručno. Nakon lijevanja i skrućivanja litine kokila se ručno otvara, iz-



Sl. 94. Jednostavna ručna kokila. 1 pomična ploča kokile, 2 nepomična ploča, 3 kalupna šupljina, 4 uljevni sustav, 5 čaška, 6 ispust, 7 razvodnik, 8 ušća, 9 pojilo, 10 jezgra za oblikovanje provrta u odljevku, 11 jezgrena ploča, 12 zubna letva za povlačenje jezgara, 13 zupčanik s ručnim pogonom, 14 brava s ekscentrom za zatvaranje kokile

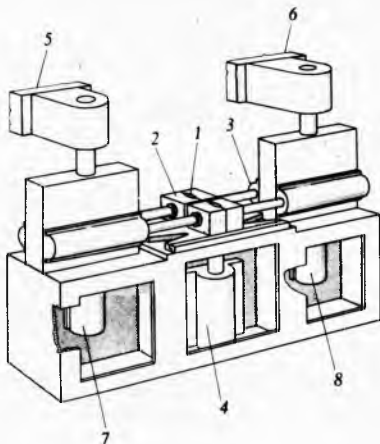
bacuje odljevak iz kalupne šupljine, te se zatvara radi ponovnog lijevanja.

Kokilna klupa. Za lijevanje odljevaka kompliciranijeg oblika potrebni su uređaji s pomičnom i nepomičnom pločom na koje se pričvršćuju polovice kokila (sl. 95). Kokile se otvaraju odmicanjem pomične ploče. Ploča se pokreće mehanički ili hidraulički.



Sl. 95. Kokilna klupa s ručnim pogonom. 1 nepomična polovica kokile, 2 pomična polovica kokile, 3 uljevni sustav, 4 čaška, 5 jezgra, 6 izbacivač, 7 izbacivačka ploča, 8 kućište zupčanog pogonskog mehanizma za izbacivanje, 9 postolja kokilne klupe, 10 vodilica, 11 pogon pomične polovice kokile, 12 brava s ekscentrom za zatvaranje kokile

Kokilna lijevalica. Za serijsku proizvodnju odljevaka lijevanih u kokile izrađuju se kokilni strojevi (sl. 96). Strojevi su univerzalni jer se promjenom kokile mijenja vrsta odljevka. Sve su operacije posluživanja mehanizirane. Strojevi imaju programator kojim se upravlja operacijama i koji određuje redoslijed i trajanje pojedinih operacija. Kokilna lijevalica najčešće radi kao poluautomat, a ako joj se pridruži uređaj za ulijevanje litine u kokilu i uređaj za odnošenje odljevka nakon izbacivanja iz kokile, može raditi potpuno-automatski.

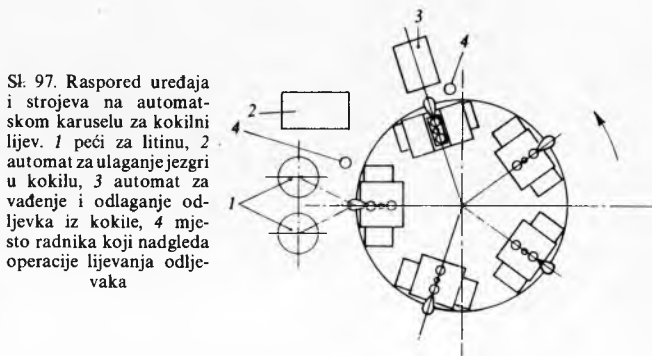


Sl. 96. Automatska kokilna lijevalica. 1 kokila, 2 uljevna čaška, 3 hidraulički cilindar za pokretanje kokile, 4 hidraulički cilindar za pokretanje jezgre, 5 uređaj za vađenje odljevka iz kokile, 6 uređaj za postavljanje umetaka u kokilu, 7 hidraulički cilindar uređaja za vađenje, 8 hidraulički cilindar uređaja za umetanje

Specijalni kokilni automati. Za lijevanje složenih odljevaka u velikim serijama upotrebljavaju se specijalni strojevi u kojima je kokila dio stroja. Strojevi rade automatski, a jedan radnik nadgleda i kontrolira rad grupe takvih strojeva.

Mehanizacija i automatizacija pomoćnih operacija za kokilno lijevanje. Da bi se povećala produktivnost, poboljšala kvaliteta odljevaka, povećala sigurnost i olakšao rad, vrlo se često u serijskoj proizvodnji mehaniziraju pojedine pomoćne operacije lijevanja u kokilu.

Najčešće se mehanizira ulijevanje u kokilu pomoću robota ili pneumatskih uređaja. Ulaganje jezgara u kokilu i vađenje odljevka također se mehanizira pomoću robota. Transport odljevaka na sljedeću operaciju obradbe potrebno je mehanizirati kad se lijevaju teški odljevci. Mehanizacija odrezivanja uljevnog sustava izvodi se pomoću strojeva na kojima se rezni alat može prilagoditi obliku i dimenzijama odljevka. Kad se proizvode veći i teži odljevci, često se upotrebljavaju rotacijski karuselni transporter na koje se postavljaju strojevi za kokilni lijev (sl. 97). Rotacijom karusela strojevi se primiču mjestu za ulaganje jezgri, peći za ulijevanje litine, te mjestu gdje se odljevci vade iz kokile. Na karusel se može postaviti 3-12 strojeva za lijevanje. Može se na svim strojevima lijevati isti tip odljevka, a moguće je lijevati i na svakom stroju drugi tip odljevka.



Sl. 97. Raspored uređaja i strojeva na automatskom karuselu za kokilni lijev. 1 peći za litinu, 2 automat za ulaganje jezgri u kokilu, 3 automat za vađenje i odlaganje odljevka iz kokile, 4 mjesto radnika koji nadgleda operacije lijevanja odljevaka

Kad se proizvodi velika serija, najčešće se mehanizacija pojedinačnih operacija uklapa u proizvodni sustav, te se ulaganje jezgri u kokilu, ulijevanje litine, vađenje odljevaka iz kokile, odrezivanje uljevnog sustava, gruba obradba, kontrola i sav transport obavljaju automatski. Takav se proizvodni sustav gradi za određeni tip odljevka. Rad se takva automatskog proizvodnog sustava kontrolira i prati procesorom. Takav je, npr., automatski sustav za lijevanje i obradbu klipova za automobilske motore.

Tlačni lijev ljevački je postupak kad se rastaljeni metal pod tlakom ulijeva u metalni kalup, a litina ostaje pod tlakom sve dok se u kalupu ne skrutne u odljevak. Ubrizgavanje litine pod tlakom u kalup omogućuje lijevanje odljevaka tankih stijenki, veće dimenzijske točnosti, glatke površine i kompliciranog oblika s odljevnim provrtima. Tako se znatno smanjuje strojna obradba odljevaka, površinska je obradba jednostavnija i jeftinija, a smanjenjem se težine odljevka, zbog tankih stijenki, štedi materijal i energija. Veličina odljevka od tlačnog lijeva ograničena je veličinom stroja. Najčešće se tlačno lijevaju odljevci lakši od 5 kg, a vrlo rijetko teži od 50 kg.

Strojevi, kalupi i ostala oprema za tlačni lijev zahtijevaju velika financijska sredstva, te je opravdana njegova primjena kad su potrebne velike proizvodne serije. Trajnost metalnog kalupa uglavnom ovisi o temperaturi litine, te slitina višeg tališta znatno skraćuje vijek trajanja metalnog kalupa.

Primjenom tlačnog lijeva postiže se vrlo velika proizvodnost; ona zavisi od slitine koja se lijeva, te od oblika i veličine odljevka. Kad se lijevaju mali odljevci od cinkovih slitina, postiže se i 300 lijevanja u minuti, dok pri izradbi velikih odljevaka od aluminijskih slitina trajanje jednog ciklusa lijevanja iznosi i nekoliko minuta.

Tipični su odljevci tlačnog lijeva različite kutije, poklopci, ukrasni elementi, kućišta i sl., tj. odljevci tzv. ambalažnog lijeva.

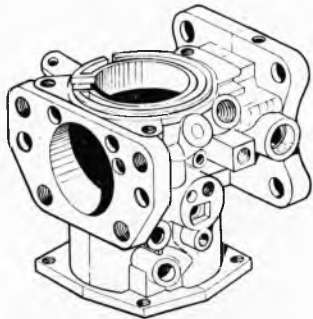
Međutim, s uspjehom se lijevaju i odljevci s većim zahtjevima s obzirom na kvalitetu, kao što su odljevci dijelova automobilskeg motora, instrumenata, elektromotora i sl.

Proizvodnja odljevaka tlačnim ljevanom. Proizvodna linija u ljevaonicama tlačnog lijeva sastoji se od talionice, ljevaonice i čistionice odljevaka. Često se linija nastavlja postrojenjima za strojnu i površinsku obradbu, pa i za montažu obrađenih odljevaka. Ljevaonici tlačnog lijeva često je pridružena alatnica za izradbu i popravak kalupa.

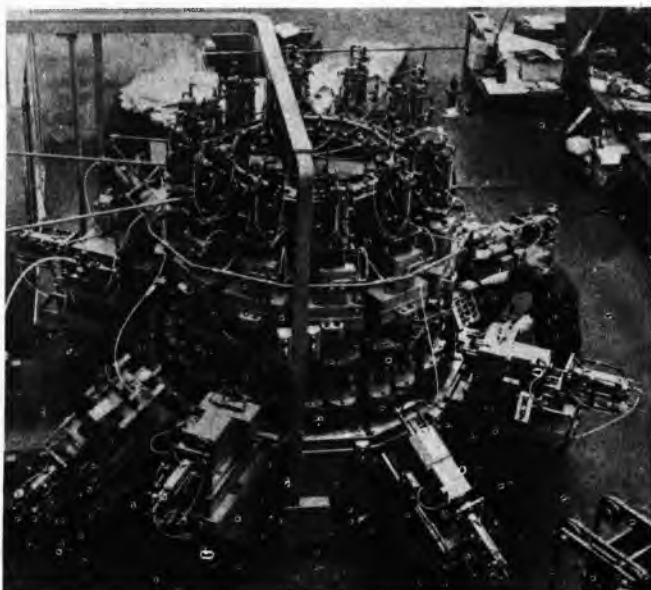
Proizvodni proces započinje u talionici gdje se slitina tali u indukcijskim ili plamenim koritastim pećima. U ljevaonici se lijevaju odljevci pomoću strojeva za tlačni ljev. U čistionici čiste se odljevci od srha, odrezuju se uljevni sustavi, probijaju se i buše zaliveni ili neodljeveni provrti, bruse se površinske pogreške na odljercima, zaobljuju oštri bridovi itd. Veći odljevci bruse se tračnim brusilicama ili brusilicama s pločom. U velikoserijskoj proizvodnji upotrebljavaju se sustavi strojeva za brušenje i poliranje, pa se odljevci transportiraju pored brusilica koje bruse i poliraju odljevke (sl. 98).



Sl. 98. Linija za brušenje i poliranje tlačno lijevanih odljevaka



Sl. 99. Odljevak rasplinjača automobilskeg motora (lijevo) i specijalni obradbeni sustav sa 21 viševretenom glodalicom za obradbu odljevka rasplinjača (dolje)



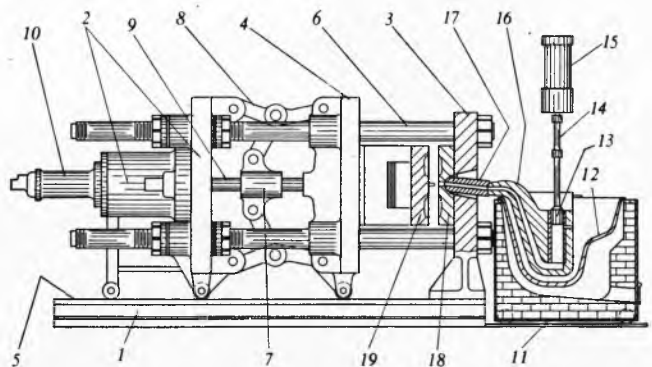
Za manje odljevke upotrebljavaju se vibracijski uređaji ili linije vibracijskih strojeva s abrazivom koje bruse i poliraju odljevke. Za proizvodnju u velikim serijama razvijeni su sustavi za obradbu kojima se odljevci nakon lijevanja potpuno obrađuju (sl. 99). Tlačno lijevani odljevci često se galvaniski obrađuju, pa se proizvodna linija produžuje uređajem za galvanizaciju.

Strojevi za tlačno lijevanje. Radni ciklus stroja za tlačni ljev sastoji se od postavljanja dijelova kalupa u položaj zalijevanja, ubrizgavanja litine pod tlakom u kalup, otvaranja kalupa, izbacivanja odljevka iz kalupa te ponovnog zatvaranja kalupa za ponovno lijevanje.

Grade se strojevi za tlačno lijevanje vrlo različitih veličina. Tako ima strojeva kojima sila zatvaranja kalupa iznosi nekoliko desetaka kN, a masa stotinjak kilograma, i strojeva kojima sila zatvaranja kalupa iznosi nekoliko desetaka MN, a masa i nekoliko stotina tona. Litina se ubrizgava tlakom od 80–100 MPa, a brzina strujanja litine može doseći vrijednosti od 100 m/s.

Strojevi za tlačni ljev mogu se svrstati u dvije grupe prema sustavu za ubrizgavanje litine, dok su ostali dijelovi strojeva u osnovi isti. Razlikuju se strojevi s toplom i hladnom komorom.

Strojevi s toplom komorom. Sustav za ubrizgavanje litine sastoji se od tlačnog klipa pokretanog hidraulički, te spojne cijevi i mlaznice (sl. 100). Komora za ubrizgavanje, tj. tlačni cilindar, klip i spojna cijev uronjeni su u litinu, te im je temperatura približno jednaka temperaturi litine. Pomakom klipa prema dolje povećava se tlak u cilindru i litina iz cilindra struji kroz spojnu cijev i mlaznicu u kalup. Nakon što se odljevak skrutnuo, tlačni se klip pomiče natrag u gornji (početni) položaj, što omogućuje ponovno punjenje tlačnog cilindra, a kalup se otvara uz izbacivanje odljevka.



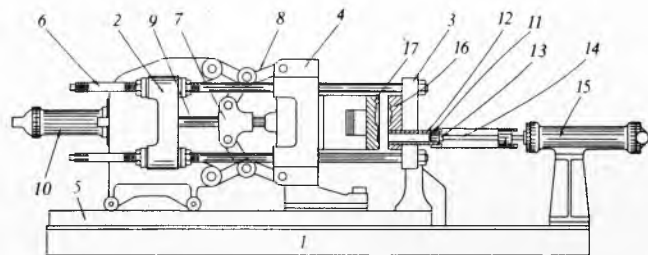
Sl. 100. Presjek stroja s toplom komorom za tlačni ljev. 1 postolja, 2 osnovna stroja, 3 nepomična ploča stroja, 4 pomična ploča stroja, 5 klizna vodilica, 6 vodeće motke, 7 križna glava, 8 poluge za zatvaranje kalupa, 9 klipnjača hidrauličkog cilindra za zatvaranje, 10 hidraulički cilindar za zatvaranje, 11 peč za litinu, 12 lonac, 13 tlačni klip, 14 klipnjača, 15 hidraulički cilindar, 16 spojna cijev, 17 mlaznica, 18 nepokretna polovica kalupa, 19 pokretna polovica kalupa

Budući da je tlačna komora strojeva s toplom komorom trajno uronjena u litinu i zagrijana na temperaturu litine, mogu se ljevati samo slitine koje ne otapaju materijal tlačne komore i koje imaju mnogo niže talište. Najčešće su to slitine cinka, kositra i olova.

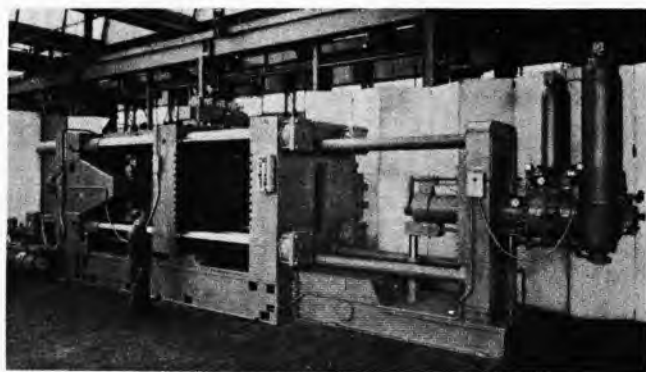
Strojevima s toplom komorom lijevaju se odljevci do 25 kg, a mogu se ljevati i vrlo sitni odljevci.

Strojevi s toplom komorom obično su potpuno automatizirani. Uobičajena je brzina rada 50–500 ciklusa lijevanja na sat. Specijalnim automatima za lijevanje sitnih odljevaka (npr. elementi patentnog zatvarača) od cinkovih legura može se ljevati mnogo brže, pa čak i do 18000 ciklusa na sat.

Strojevi s hladnom komorom. Sustav za ulijevanje sastoji se od tlačnog klipa i tlačnog cilindra (sl. 101). Tlačna komora, tj. klip i cilindar nisu posebno grijani, osim što se zagriju prijelazom topline od litine tokom ulijevanja. Tlačni klip, a



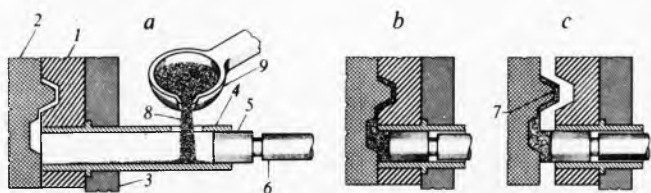
Sl. 101. Presjek stroja s hladnom komorom za tlačni lijev s horizontalno položenim cilindrom za ubrizgavanje. 1 postolja, 2 osnova stroja, 3 nepomična ploča stroja, 4 pomična ploča stroja, 5 klizne vodilice, 6 vodeće motke, 7 križna glava, 8 poluge za zatvaranje kalupa, 9 klipnjača hidrauličkog cilindra za zatvaranje, 10 hidraulički cilindar za zatvaranje kalupa, 11 cilindar za ubrizgavanje, 12 provrt za ulijevanje, 13 tlačni klip, 14 klipnjača, 15 hidraulički cilindar za ubrizgavanje, 16 nepomična polovica kalupa, 17 pomična polovica kalupa



Sl. 102. Horizontalni hladnokomorni stroj za tlačni lijev sile zatvaranja 25 MN

često i tlačni cilindar hlade se kako bi se izbjeglo pregrijavanje.

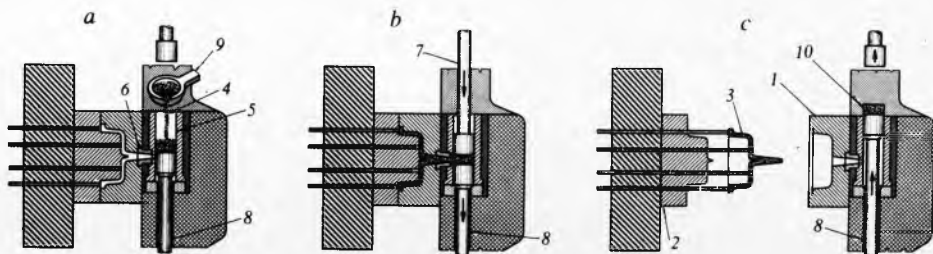
Uobičajene su dvije izvedbe strojeva s hladnom komorom: horizontalna i vertikalna. U ljevaonicama su najčešći horizontalni strojevi s hladnom komorom. U horizontalnu tlačnu komoru ulijeva se litina ljevačkom žlicom (sl. 103) ili pomoću



Sl. 103. Shematski prikaz ulijevanja u horizontalni stroj s hladnom komorom za tlačni lijev. a ulijevanje u tlačnu komoru, b ubrizgavanje u kalup, c otvaranje kalupa; 1 nepokretna polovica kalupa, 2 pokretna polovica kalupa, 3 ploča stroja, 4 tlačni cilindar, 5 tlačni klip, 6 klipnjača, 7 odljevak, 8 litina, 9 ljevačka žlica

dozirnog uređaja. Tada je kalup zatvoren, a tlačni klip je u krajnjem položaju. Nakon ulijevanja klip tlači litinu i ubrizgava je u kalup. Kretanje klipa nije jednoliko, već se odvija u dvije faze, a u suvremenijim strojevima u tri faze. Prva je faza polagani hod klipa kojim se zatvara otvor za doziranje litine. Druga je faza ubrizgavanje litine u kalup. Brzina klipa

Sl. 104. Shematski prikaz ulijevanja u vertikalni stroj s hladnom komorom za tlačni lijev. a ulijevanje u tlačnu komoru, b tlačenje i ubrizgavanje u kalup, c otvaranje kalupa i izbacivanje odljevka iz kalupa; 1 nepokretna polovica kalupa, 2 pokretna polovica kalupa, 3 odljevak izbačen iz kalupa pomoću izbacivača, 4 litina, 5 tlačni cilindar, 6 sapnica, 7 klipnjača s klipom za ubrizgavanje, 8 klipnjača s protuklipom, 9 ljevačka žlica, 10 višak litine nakon skrućivanja (keks)



može se regulirati, a iznosi do 8 m/s. Nakon što se kalup potpuno ispuni litinom, počinje skrućivanje i smanjivanje obujma litine, što ponekad daje porozne odljevke. Da bi se to eliminiralo, suvremeni strojevi mogu dodatno tlačiti litinu u toku skrućivanja, što je treća faza rada. Tlakovi koji se postižu mogu iznositi i do 450 MPa. Da bi se ublažio hidrodinamički udar i smanjila turbulencija litine, razvijeni su uređaji kojima se programira promjena brzine klipa, te su prijelazi iz faze u fazu postepeni.

Horizontalnim strojevima s hladnom komorom mogu se lijevati odljevci od aluminijskih slitina do 100 kg.

Vertikalni strojevi s hladnom komorom za tlačni lijev karakterizirani su vertikalno postavljenom tlačnom komorom. Tlačna komora se sastoji od cilindra, tlačnog klipa i protuklipa. Mlaznica spaja tlačni cilindar s kalupom. Nakon što se litina ulije u tlačni cilindar, pokreće se tlačni klip prema dolje i tlači litinu, a protuklip se pomiče i otvara mlaznicu, te se litina ubrizgava u kalup. Na kraju ciklusa tlačni klip se pomiče u početni gornji položaj, a protuklipom se izbacuje višak materijala, tzv. keks iz tlačnog cilindra (sl. 104). Prednost je vertikalnih strojeva u tome što su uključine troske i poroznost odljevka minimalni.

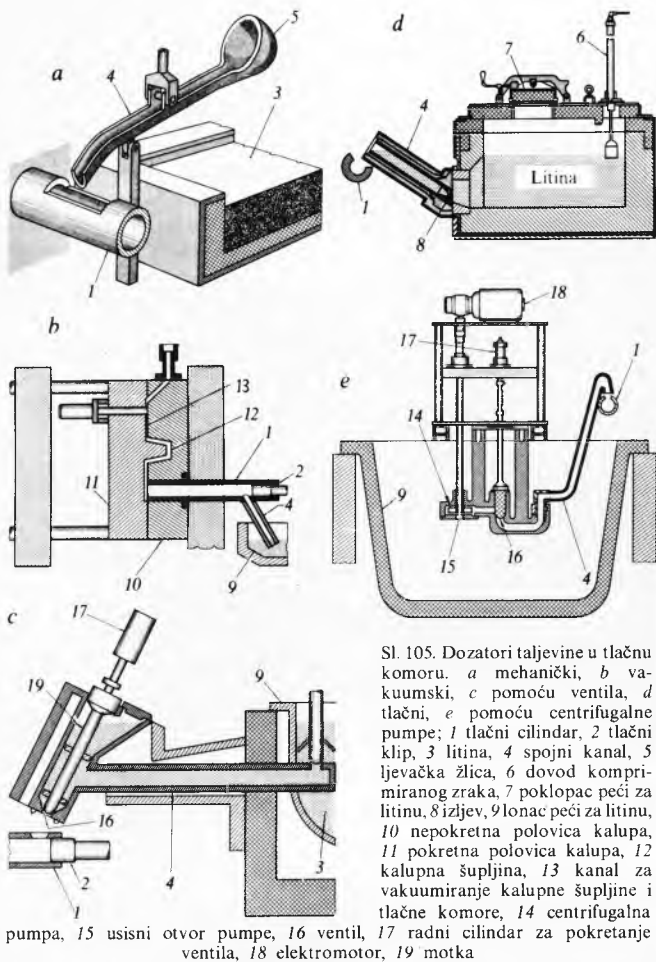
Strojevi s hladnom komorom upotrebljavaju litinu s većim pregrijanjem nego strojevi s toplom komorom, jer se litina mora prenositi i ulijevati u tlačni cilindar, te je rad stroja relativno spor, a česte su greške na odljercima zbog previsoke temperature.

Litina se iz peći smještene pored stroja donedavno ulijevala ručno u tlačnu komoru. Razvijen je niz uređaja kojima je ta operacija mehanizirana i automatizirana (sl. 105).

Mehanizam za otvaranje kalupa. Kalup se na stroj za tlačni lijev montira pomoću pričvrstnih vijaka tako da se jedna polovica kalupa pričvrsti na nepomičnu, a druga na pomičnu ploču stroja. Kalup se otvara i zatvara odmicanjem i primicanjem pomične ploče stroja. Kad je kalup zatvoren, na njega djeluje sila zatvaranja stroja, tj. sila kojom se sprečava otvaranje kalupa i prskanje litine između razdjelnih površina kalupa kad se litina pod tlakom ubrizga u kalup. Sila zatvaranja jedna je od osnovnih karakteristika stroja za tlačni lijev i definira veličinu stroja. Pomaci pomične ploče stroja i sila zatvaranja u većini strojeva za tlačni lijev rezultat su djelovanja hidrauličkog cilindra i sustava poluga. Pomična ploča je položena na klizne vodilice i vođena četirima motkama koje povezuju osnovicu stroja i nepomičnu ploču tako da je u toku pomicanja pomična ploča uvijek paralelna s nepomičnom pločom stroja. Kako se debljina kalupa mijenja prema dubini kalupne šupljine, potrebno je regulirati veličinu razmaka između pomične i nepomične plohe stroja. To se postiže primicanjem i odmicanjem osnovice stroja.

Uređaj za izbacivanje odljevka. Kalupi za tlačni lijev imaju uređaj za izbacivanje odljevka iz kalupa. Silu potrebnu za izbacivanje odljevka daje stroj pomoću hidrauličkog cilindra ili preko odbojnika. Sila se prenosi na ploču za izbacivanje i preko izbacivača na odljevak, te izbacuje odljevak iz kalupa kad se kalup otvori nakon skrućivanja odljevka.

Kalupi za tlačni lijev obično se sastoje od dvije polovice koje se montiraju na ploče stroja. U objema polovicama kalupa izdubljen je oblik odljevka. Razdjelne su površine kalupa brušene. Precizan međusobni položaj kalupnih polovica osiguravaju svornjaci za centriranje. U nepomičnoj polovici kalupa postoji provrt u koji se postavlja sapnica za ulijevanje. U pomičnoj polovici kalupa ugrađuje se uređaj za izbacivanje odljevka. Da bi se dobile šupljine u odljercima, u kalup se ugrađuju metalne



Sl. 105. Dozatori taljevine u tlačnu komoru. *a* mehanički, *b* vakuumski, *c* pomoću ventila, *d* tlačni, *e* pomoću centrifugalne pumpe; 1 tlačni cilindar, 2 tlačni klip, 3 litina, 4 spojni kanal, 5 ljevačka žlica, 6 dovod komprimiranog zraka, 7 poklopac peći za litinu, 8 izljev, 9 lonac peći za litinu, 10 nepokretna polovica kalupa, 11 pokretna polovica kalupa, 12 kalupna šupljina, 13 kanal za vakuumiranje kalupne šupljine i tlačne komore, 14 centrifugalna pumpa, 15 usisni otvor pumpe, 16 ventil, 17 radni cilindar za pokretanje ventila, 18 elektromotor, 19 motka

jezgre, koje se vade mehanički ili hidraulički prije izbacivanja odljevka iz kalupa (sl. 106).

Za dotok litine u šuplinu kalupa služi sustav kanala za ulijevanje. Da bi se omogućio odušak zraka pri ubrizgavanju litine, u kalupu postoje kanali za odzračivanje.

Izbor materijala za izradbu kalupa ovisi o vrsti slitine koja se lijeva, zahtijevanoj trajnosti kalupa, obliku i dimenzijama odljevka, vrsti i veličini stroja za lijevanje, te o funkciji pojedinog dijela kalupa. Dijelovi kalupa koji su u neposrednom kontaktu s litinom izrađuju se od visokolegiranog čelika, otpornog na eroziju, toplinski stabilnog, s malim koeficijentom dilatacije, te koji je pogodan za mehaničku i toplinsku obradbu (npr. Č.4751). Radi produženja trajnosti kalupa najčešće se pojedini dijelovi toplinski obrađuju, a naročito opterećeni dijelovi nitriraju ili karbonitriraju.

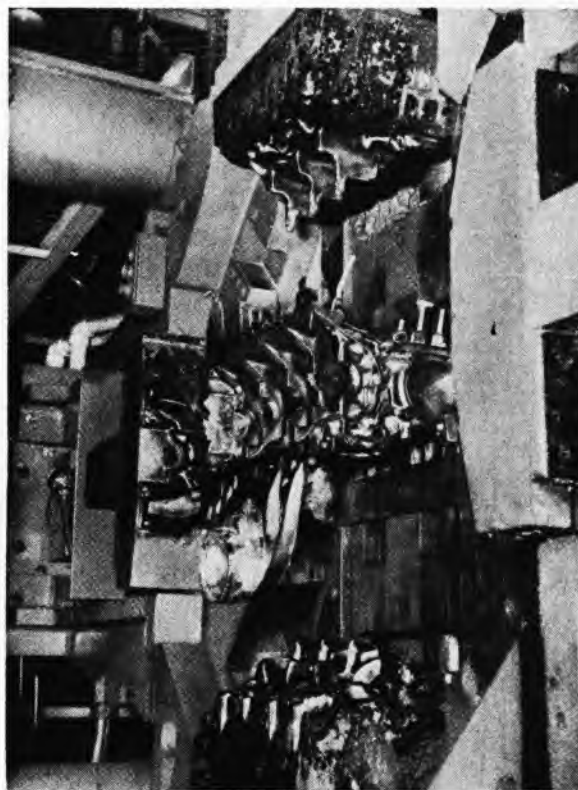
Vijek trajanja kalupa za tlačni lijev iznosi nekoliko tisuća ljevanja odljevaka od nerđajućeg čelika do nekoliko stotina tisuća, ili čak milijuna ljevanja odljevaka od slitina cinka. Čelik se tlačno lijeva samo izuzetno.

Mehanizacija i automatizacija pomoćnih operacija. U toku ljevanja strojevima za tlačni lijev potrebno je obavljati još nekoliko pomoćnih operacija. To su, osim doziranja taline, premazivanje kalupa za strojeve s hladnom komorom, vađenje odljevaka iz kalupa i transport odljevaka od stroja za lijevanje na sljedeću operaciju. Kalupi se premazuju prskanjem premazima radi lakšeg odvajanja odljevka prilikom izbacivanja iz kalupa i radi hlađenja kalupa. Premazivanje može biti ručno. Također je premazivanje moguće pomoću sapnica koje su montirane na ploče stroja, koje prskaju premaz u kalupnu šuplinu prilikom otvaranja kalupa, ili pomoću robota koji usklađeno s radom stroja unosi tokom svakog ciklusa u kalup mehaničku ruku sa sapnicama.

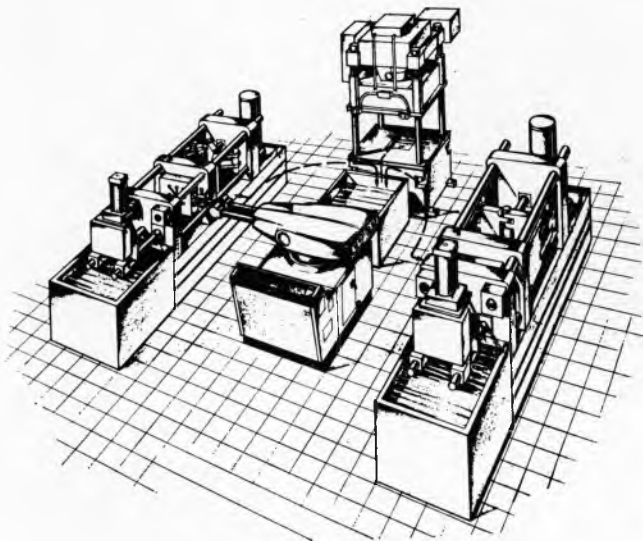
Vađenje odljevaka iz kalupa može se i mehanizirati pomoću robota koji prihvata odljevak i postavlja ga na paletu ili na stroj koji obavlja sljedeću operaciju (sl. 107).



Sl. 106. Priprema kalupa za tlačno lijevanje bloka automobilskeg motora na pokretnoj ploči stroja za lijevanje (*gore*) i (*dolje*) izrađen odljevak te pokretni dio kalupa s bočnim jezgrama neposredno nakon ljevanja i otvaranja kalupa



U proizvodnji velikih serija često se mehaniziraju još i sljedeće operacije: ulaganje u kalup elemenata koji se zalijevaju, manipulacija odljevcima radi kontrole i kontrola odljevaka. Radi veće djelotvornosti posebno se grade strojevi i uređaji koji su prilagođeni za proizvodnju točno definirane vrste odljevaka. Nisu rijetka postrojenja u kojima se svi uređaji i strojevi povezuju u jedinstveni sustav koji sinhrono radi, pa se tako dobiva potpuno automatiziran sustav ljevanja i obradbe odljevaka.

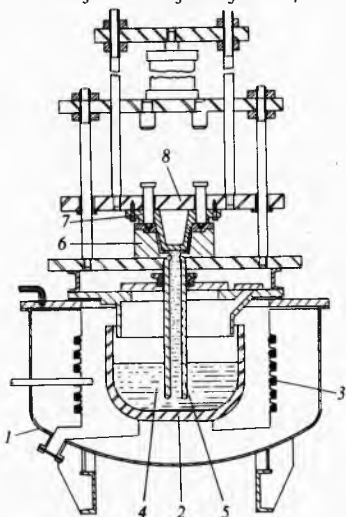


Sl. 107. Strojevi za tlačni lijev i preša za odrezivanje uljevnog sustava i srha povezani robotom koji vadi odljevke iz kalupa i postavlja ih u prešu. Jedan robot posluhuje dva stroja za lijevanje

Niskotlačni lijev ljevački je postupak u kojemu se rastaljeni metal ulijeva u kalup pod tlakom komprimiranog zraka. To je noviji postupak koji je u industrijskoj upotrebi od šezdesetih godina našeg stoljeća.

Strojevi za lijevanje sastoje se od električne peći s loncem za taljenje slitine koja se nalazi u hermetički zatvorenom kućištu, uređaja za otvaranje i zatvaranje kalupa, te keramičke cijevi kroz koju litina iz lonca istječe u kalup (sl. 108). Djelovanjem tlaka komprimiranog zraka podigne se razina litine do visine kalupa te litina ispunji kalup. Najčešće se lijevaju odljevci slitina aluminija i magnezija za automobilsku industriju, pneumatske i hidrauličke uređaje itd. Odljevci su dobrih mehaničkih svojstava, glatke površine i bez mjehurića. S obzirom na relativno nizak tlak kojim se tlači litina u kalup (250–400 kPa) moguća je upotreba pješčanih jezgara za formiranje šupljina u odljevku.

Strojevi za lijevanje su poluautomatski ili automatski.



Sl. 108. Shematski presjek stroja za niskotlačno lijevanje. 1 kućište stroja, 2 lonac, 3 grijala električne otporne peći, 4 litina, 5 keramička cijev, 6 nepokretna polovica kalupa, 7 pokretna polovica kalupa, 8 uređaj za otvaranje kalupa

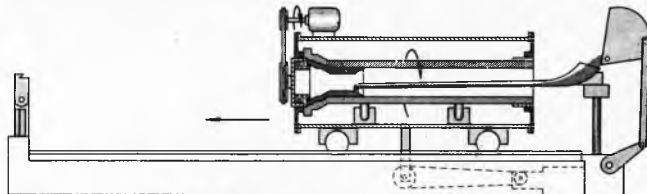
Centrifugalni lijev. Centrifugalnim se lijevom naziva lijevanje u kokilu koja rotira. U litini se djelovanjem centrifugalne sile veoma povećava tlak, što poboljšava mehanička svojstva odljevka, poboljšava dopajanje odljevka u toku skrućivanja, a dobiva se glatka i čista površina odljevka. Centrifugalna akceleracija iznosi 80–160g. Centrifugalno se mogu lijevati slitine koje nisu sklone toplim napuklinama, a obično se lijevaju slitine bakra, aluminija, sivi lijev, te slitine kositra i cinka.

Tipični su odljevci brončani klizni ležaji, kanalizacijske cijevi itd., dakle centralno simetrični odljevci. Moguće je lijevanje i

manjih asimetričnih odljevaka, kao npr. lijevanje zlata u zubarstvu ili kositrenih ukrasnih elemenata, kipića i sl.

Strojevi za lijevanje mogu biti horizontalni i vertikalni, a upotrebljavaju se još i strojevi za centrifugiranje.

Horizontalni centrifugalni stroj. Za lijevanje dugačkih odljevaka u obliku cijevi upotrebljavaju se horizontalni centrifugalni strojevi. Cilindričan metalni kalup postavlja se na valjke koji rotiraju (sl. 109). Ulijevanjem litine u kalup ona počinje rotirati zajedno s kalupom i zbog djelovanja centrifugalne sile raspodijeli se po unutrašnjoj stijenci kalupa. Odljevak je u obliku cijevi. Vanjski je oblik odljevka određen oblikom kalupa, unutrašnja je površina šupljine odljevka skrutnuta površina litine, a debljina stijenke zavisi od količine litine koja je ulivena u kalup.

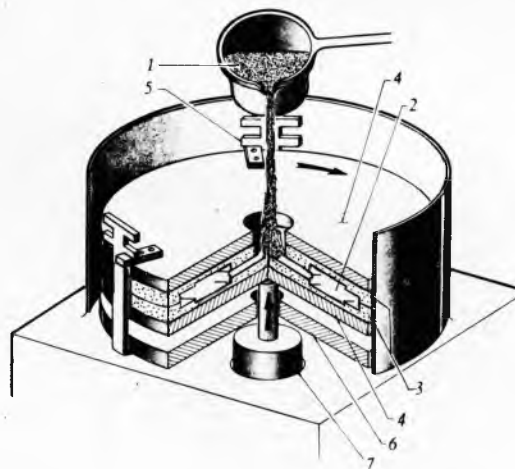


Sl. 109. Shema stroja za centrifugalni lijev

Veličina odljevka gotovo nije ograničena zbog jednostavnosti kalupa i uređaja.

Vertikalni centrifugalni strojevi razlikuju se od horizontalnih samo u tome što je os rotacije kalupa vertikalna. Služe za lijevanje kraćih cilindričnih odljevaka.

Strojevi za centrifugiranje. Na ploči koja rotira oko vertikalne osi pričvršćen je kalup (sl. 110). U kalupu su radijalne



Sl. 110. Shematski prikaz stroja za centrifugiranje. 1 litina, 2 kalupna šupljina, 3 kalup, 4 ploče kalupa, 5 brave, 6 okretna ploča stroja, 7 pneumatski cilindar za otvaranje kalupa

šupljine u kojima se formira odljevak. Uljevna je čaška u osi rotacije kalupa, a uljevni kanali spajaju čašku sa svakom šupljinom za lijevanje. Kad se u kalup koji rotira ulije litina, ona ispunji kalupnu šupljinu i skrućuje se pod tlakom koji je zbog centrifugalne akceleracije vrlo visok. Materijal za kalupljenje zavisi od temperature lijevanja. Kalupi od silikonske gume upotrebljavaju se za lijevanje kositrenih slitina, metalni kalupi za lijevanje aluminijevih i bakrenih slitina, a keramički kalupi za lijevanje slitina s visokim talištem.

Z. Žagar

LIT.: R. Chudzikiewicz, *Mechanizacija odlewni*. WNT, Warszawa 1967.
— П. Н. Аксенов, *Оборудование литейных цехов*. Машиностроение, Москва 1977.
— A. Street, *The Diecasting Book*. Portullis Press, Redhill 1977.
— Metals Handbook, Vol. 5. American Society for Metals, Metals Park 1977.
— Dj. Zrnić, M. Prokić, P. Milović, *Projektovanje livnica*. Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd 1978.

Z. Bonačić-Mandinić B. Luburić Z. Žagar