

ÚVOD

Počas celého svojho vývoja ľudstvo potrebovalo pre zlepšenie svojho života premieňať suroviny, materiály a polovýrobky na výrobky. Túto premenu vykonávajú buď ľudia svojou prácou, t. j. pracovnými procesmi alebo sa to deje bez priameho pôsobenia človeka účinkom prírodných síl, t. j. prírodnými procesmi. Súhrn týchto procesov tvorí výrobný proces - výrobu (výroba je činnosť, pri ktorej človek pretvára prírodu, jej predmety a sily na pre neho užitočné veci).

Tieto procesy boli v dávnej minulosti pomenované slovom „Techné“ (gr. τεχνη, zručnosť, remeslo, umenie), ktoré pôvodne znamenalo remeslo, ako aj vynikajúci remeselný alebo umelecký výrobok. U Platóna a Aristotela znamená špeciálnu naučenú zručnosť či odbornosť, prípadne získanú skúsenosť. Môže to byť ako zručnosť remeselníka, tak aj lekára alebo výtvarného umelca, nie však básnika alebo filozofa. Je charakterizovaná tým, že jej účelom nie je len sama činnosť, ale predovšetkým jej výsledok. Slovo prešlo do latinčiny už v staroveku a technicus znamenal učiteľa remesla alebo umenia. V 17. storočí vzniklo v angličtine slovo technológie v zmysle učebnice remesla či umenia. V 18. storočí sa objavuje slovo technique vo francúzštine a v ďalších jazykoch v zmysle účelnej zručnosti založené na poznaní a neskôr aj na vede.

Technológia (grécky τεχνολογια <τεχνη "zručnosť" + λογος "slovo, náuka, znalosť" + prípona ια) je odvetvie techniky, ktoré sa zaoberá tvorbou, zavádzaním a zdokonaľovaním výrobných postupov. V slovníku cudzích slov je technológia definovaná ako „náuka a praktická metóda spracovania hmoty alebo polotovaru vo výrobnom procese; výrobný postup“. Keďže sa v angličtine slovo „technology“ používa aj pre techniku, v poslednej dobe sa často možno stretnúť s takýmto použitím aj v iných jazykoch - napríklad „najnovšia výrobná technológia“ je spravidla (len) najnovšia výrobná technika (výrobné stroje).

Strojárske technológie sa zaoberajú zákonitosťami, princípmi, predpismi a metódami technologického procesu, ktorými z materiálov vyrobíme výrobky požadovaných tvarov, geometrických rozmerov, mechanických, fyzikálnych a úžitkových vlastností. K jej úlohám patrí v súčasnosti stanovenie optimálneho technologického procesu na výrobu určitého výrobku, stanovenie výrobných prostriedkov a pracovných síl, ktoré sa určia podľa špecifickosti výrobku, množstva výroby a požadovanej kvality výrobku.

Táto učebnica obsahuje a študentom poskytuje základné informácie o jednotlivých strojárskych technológiách pre výrobu súčiastok a výrobkov. Je určená študentom bakalárskych študijných programov na strojnických fakultách a študentom ostatných fakúlt študujúcim študijné programy, ktorých obsahom sú strojárske technológie.

1 ROZDELENIE STROJÁRSKYCH TECHNOLOGIÍ

Strojárska technológia je náuka o procesoch, ktorými sa za pomoci mechanickej alebo tepelnej energie menia technické materiály na výrobky. Opisuje, zdôvodňuje a navrhuje postupy pomocou ktorých dochádza k premene materiálu na výrobok požadovaného tvaru, rozmerov, kvality povrchu, s požadovanými pevnostnými a úžitkovými vlastnosťami, štruktúrou, životnosťou, bezpečnosťou a minimálnymi negatívnymi vplyvmi na pracovné a životné prostredie.

Strojárske technológie sú základnou súčasťou výroby strojov a strojových zariadení pracujúcich vo všetkých odvetviach hospodárstva vyspelých krajín sveta. Pre v súčasnosti požadovanú vysokú spoľahlivosť funkcie a kvalitu súčiastky, stroja, nástroja, zariadenia, spotrebného predmetu a pod., je veľmi dôležitý výber materiálu, jeho metalurgická príprava a technológia spracovania na výrobky s finálnym geometrickým tvarom, rozmermi, a vlastnosťami. Pre vyspelé ekonomiky je preto nevyhnutné mať k dispozícii odborníkov s vysokými predpokladmi pre vedomostné a analytické rozhodovanie v tomto aspekte priemyselnej výroby.

Nové materiály a technológie ich spracovania sú považované za najväčší potenciál súčasného ale aj budúceho priemyslu. Práve strojárske technológie sa v mnohých prípadoch stávajú limitujúcim faktorom rozvoja rôznych odvetví, zvyšovania kvality, spoľahlivosti výrobkov a znižovania nákladov, materiálovej a energetickej náročnosti výroby.

Premena materiálu na výrobok sa robí pri rôznom skupenstve materiálu (v tekutom a tuhom stave), pri rôznych teplotách (za studena a za tepla), pri rôznych napäťovo-deformačných podmienkach (ťah, tlak, šmyk a ich kombinácie) a rôznych vonkajších vplyvov (rýchlosť, trenie a iné).

Na základe fyzikálnej podstaty možno strojárske technológie rozdeliť na:

- technológie pri ktorých vzniká výrobok premiestňovaním častíc v tekutom stave (zlievarenstvo, spracovanie plastov),
- technológie pri ktorých vzniká výrobok premiestňovaním častíc v tuhom stave (tvárnenie, prášková metalurgia),
- technológie pri ktorých vzniká výrobok odoberaním častíc materiálu (obrábanie),
- technológie pri ktorých dochádza k zmene vlastností povrchových vrstiev výrobkov (povrchové úpravy),
- technológie pri ktorých dochádza k zmene vlastností materiálov modifikáciou štruktúry materiálov,
- technológie pri ktorých dochádza k spájaniu súčiastok do celkov (zváranie, montáž),
- technológie pri ktorých využívame netradičné zdroje energie.

Technológie pri ktorých vzniká výrobok premiestňovaním častíc v tekutom stave, využívajú fyzikálne vlastnosti tavitelnosť a tekutosť najmä kovov a plastov. Zlievarenstvo patrí medzi najstaršie technológie spracovania kovových materiálov. Jeho počiatky siahajú do doby bronzovej. Technológie spracovania plastov premiestňovaním častíc v tekutom

stave sa začali používať intenzívnejšie po vývoji plastov v druhej polovici dvadsiateho storočia.

Technológie pri ktorých vzniká výrobok premiestňovaním častíc v tuhom stave využívajú plasticitu materiálov. Plasticita materiálov je vo všeobecnosti závislá na teplote pri ktorej sa proces realizuje. To platí najmä pre kovové materiály pri ktorých sa plasticita zvyšuje s teplotou realizácie procesu.

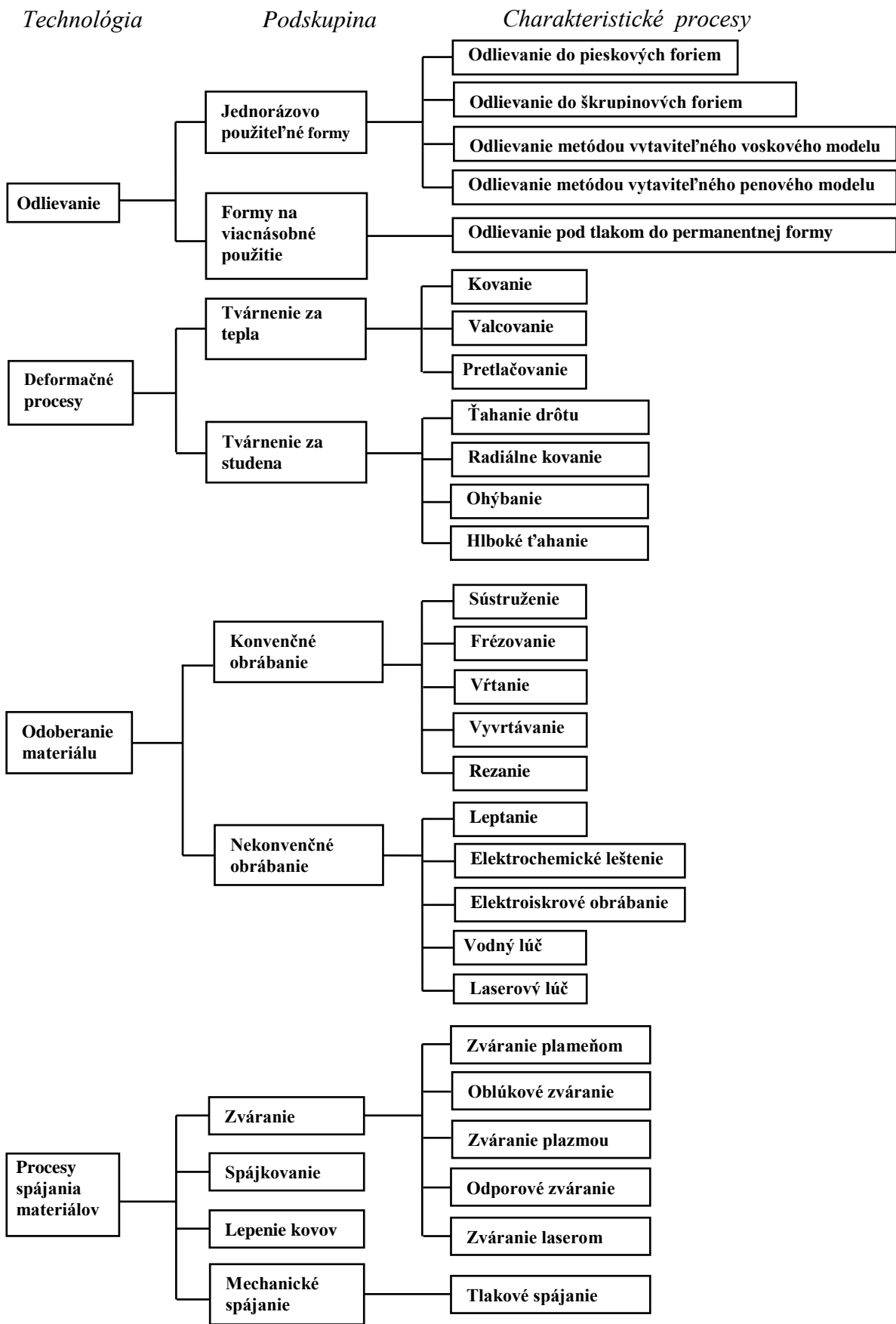
Technológie pri ktorých vzniká výrobok odoberaním častíc materiálu sú založené na princípe odoberania častíc materiálu dosiahnutia požadovaného tvaru, rozmerov a kvality povrchu. Tento proces je často spájaný s mechanickým oddeľovaním častíc materiálu. V procese odoberania častíc materiálu bývajú využívané aj iné ako mechanické spôsoby odoberania materiálu. Spôsob odstránenia materiálu zahŕňa aj odstraňovanie materiálu všetkými ostatnými prostriedkami (chemickým spôsobom, tepelným ovplyvnením, elektroerozívnym spôsobom, ultrazvukom a ostatnými fyzikálnymi procesmi).

Technológie pri ktorých dochádza k zmene vlastností povrchových vrstiev výrobkov možno v súčasnosti rozdeliť do dvoch skupín. Na technológie pri ktorých dochádza ku zmene vlastností povrchových vrstiev materiálu výrobku a na technológie, ktorými vytvárame ochranné povlaky a vrstvy na povrchových plochách výrobkov.

Technológie pri ktorých dochádza k zmene vlastností materiálov využívajú schopnosť materiálov modifikovať svoju štruktúru pri rôznych termodynamických podmienkach. Zmenou štruktúry materiálov dokážeme meniť vlastnosti materiálu toho istého chemického zloženia.

Technológie pri ktorých dochádza k spájaniu súčiastok do celkov sa delia do dvoch základných skupín. Prvú tvoria technológie, ktorými vytvárame nerozoberateľné spoje a druhú technológie, ktorými vytvárame rozoberateľné spoje.

Podrobnejšie rozdelenie strojárskych technológií je uvedené na obr. 1.1.



Obr. 1.1 Rozdelenie technologických procesov s podskupinami a charakteristickými procesmi

2 ZLIEVANIE

2.1 VÝROBA ODLIATKOV

Kvalita odliatkov závisí od úrovne vyspelosti zlievarenskej technológie. Preto požiadavky na využitie výsledkov vedy a výskumu sa neustále stupňujú. Boli vyvinuté nové materiály na výrobu odliatkov vysokých mechanických a úžitkových vlastností ako aj nové technológie tavenia, spracovania tekutého kovu a spôsobov výroby foriem.

Výroba odliatkov je súhrnom mnohých operácií - technologických postupov. Ucelenosť postupov vedúcich k výrobe odliatku v technologickom slede sa nazýva technologický proces. Technologický proces výroby odliatku môžeme rozdeliť na nasledovné časti:

- zhotovenie modelového zariadenia, náradia, pomôcok,
- príprava formovacích zmesí,
- výroba formy (a jadier),
- príprava (tavenie) tekutého kovu,
- odlievanie - plnenie formy taveninou,
- vyberanie odliatkov z foriem (vybíjanie), čistenie a odstraňovanie chýb, prípadné tepelné spracovanie,
- kontrola odliatkov.

Samotnej výrobe odliatkov predchádza výroba modelového zariadenia v modelárni. Modelové zariadenie sa zhotovuje na základe výrobnej dokumentácie odliatku, vypracovanej v rámci technickej prípravy výroby. Z modelárne alebo zo skladu modelového zariadenia je potom dopravené do formovne k výrobe formy. Na výrobu formy je potrebné v úpravni formovacích materiálov pripraviť formováciu a jadrovú zmes. Pripravené zmesi sa do formovne dopravujú pásom, pneumaticky alebo aj inými spôsobmi. Vo formovacích rámoch dopravených do formovne zo skladu rámov sa vyrobia formy. V jadrovni alebo priamo vo formovni sa v jadrovníkoch vyrobia jadrá. Pred zložením oboch polovic formy sa jadro, resp. jadrá založia do spodku formy. Zložené formy sa presúvajú na liace pole, kde sa odlievajú.

V taviarni je zo zodpovedajúcich surovín natavený materiál predpísaného chemického zloženia a čistoty. Tekutý kov sa vypúšťa z pece do pripravených liacích panví a dopravuje sa na liace pole. Tekutý kov po odliatí tuhne a chladne vo forme a následne sa z formy uvoľňuje. Surový odliatok sa z formy uvoľňuje buď ručne (kladivami), pneumatickými závesnými vibrátormi alebo strojovo na vytĺkacích roštoch. Po vybití odliatkov z formy sa formovacie rámy presúvajú späť do formovne alebo do skladu, použitá formovacia zmes sa dopravuje späť do úpravne formovacích zmesí na opätovné použitie buď priamo alebo cez regeneráciu (v závislosti od druhu zmesi).

Surový odliatok ide do čistiarne, kde sa odstráni vtoková sústava, náliatky a ďalšie pomocné časti, tvoriace vratný materiál. Ten sa vracia do taviarne a tvorí časť novej vsádzky na tavenie. Ďalej sa z povrchu odliatkov odstraňujú zbytky formovacej zmesi tlakovou vodou alebo abrazívnym čistením (tryskaním). Očistené odliatky sa osekávajú, brúsia a prípadne opravujú. Po tepelnom spracovaní (ak sa požaduje) a výstupnej kontrole sa odliatky expedujú.

2.1.1 Príprava výroby odliatkov

Pre kvalitnú výrobu odliatkov je nevyhnutná spolupráca konštruktéra s technológom už v štádiu konštrukčného návrhu. Konštruktér musí pri vypracovávaní konštrukčného návrhu zohľadniť technologické aspekty výroby odliatkov, musí rešpektovať špecifické pravidlá pre návrh konštrukcie odliatku.

Odliatok musí byť v zásade konštruovaný so zaoblenými tvarmi, s plynulým prechodom rozdielnych hrúbok a miestne nahromadenie hmoty je nutné odstraňovať napr. vhodným odľahčením. So zmenou tvaru súčiastok, či už čiastočnou alebo úplnou, súvisí nevyhnutnosť mať na zreteli ešte ďalšie zákonitosti technológie liatia. Pri prechode kovovej taveniny z tekutej fázy do tuhej, existujú objektívne fyzikálne zákony, týkajúce sa zmeny objemu a rozmerov, ktoré sa musia rešpektovať a ktoré vyžadujú dodržiavanie určitých zásad pri výbere prierezu stien odliatkov, najmä tam, kde majú na seba nadväzovať rôzne hrúbky.

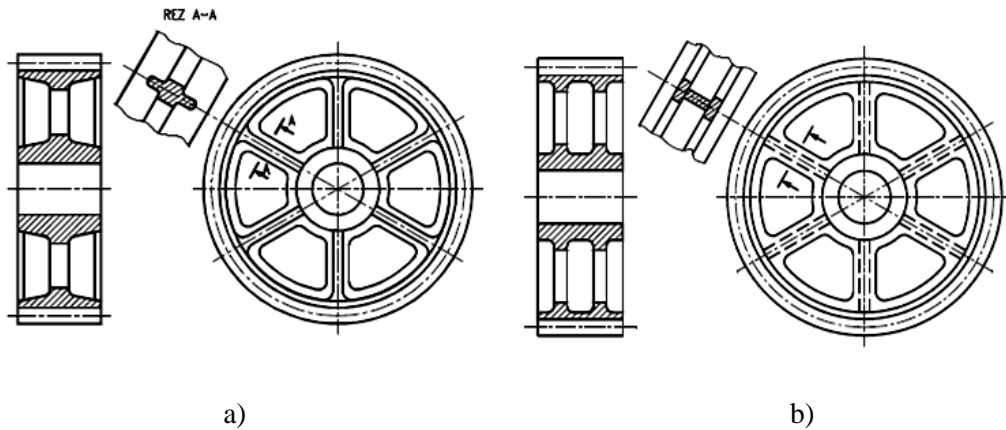
Základnou podmienkou na dosiahnutie odliatku bez vnútorných chýb je predovšetkým skutočnosť, aby hrúbky jednotlivých prierezov stien odliatkov na seba nadväzovali tak, aby sa prierez rozširoval postupne smerom k budúcemu vyústeniu vtokovej sústavy. Tento vtok je pri odliatkoch malých rozmerov vo väčšine prípadov zároveň doplňujúcim systémom pre zmrašťovanie kovu pri tuhnutí.

Pri väčších a zložitejších odliatkoch je situácia ťažšia. Prierezy stien sa môžu alebo musia rozširovať postupným smerom k jednému alebo viacerým miestam, ktoré budú zapojené na vtokovú sústavu alebo opatrené náliatkom. Ak sa tieto zásady nerešpektujú, vytvoria sa vo väčšine používaných zlievarenských zliatin v strede zväčšenej hrúbky steny viac alebo menej koncentrované kontrakčné dutinky alebo systém dutiniek. Nazývajú sa bežne stiahnutiny alebo riediny a znižujú pevnosť takéhoto prierezu. Vznikajú preto, lebo väčšie hrúbky stien nemôžu byť dostatočne doplnené tekutým kovom z náliatku alebo vtoku cez tenšiu časť odliatku. Ak sa naopak splní uvedená podmienka, tzv. usmernenie tuhnutia smerom k doplňovanému miestu na odliatku alebo na časti odliatku, uhradí sa priebežne pri tuhnutí chýbajúci objem kovu z časti odliatku, tuhnúcej neskôr. Nakoniec stuhne prierez, ktorý sa volí zámerne ako zásobník, čiže náliatok alebo vtoková sústava. V takomto prípade je odliatok bez zjavných vnútorných chýb a vyhovuje plne požiadavkám konštruktéra alebo statika.

Z uvedeného je zrejmé, že vyrobenie odliatku bez akejkoľvek vnútornej chyby nie je, najmä pri zložitých strojných súčiastkach, jednoduché a žiada si úzku spoluprácu konštruktéra so zlievarenským technológom. Na obr.2.1 je prípad, kedy sa úpravou odliatku odstránili tepelné uzly.

Základom výroby odliatku je technická príprava, v rámci ktorej sa stanoví optimálna výrobná metóda a spracuje sa výrobná dokumentácia odliatku. K základným dokumentom patrí zlievarenský postupový výkres a výrobný postup odliatku - sú podkladom pre výrobu modelového zariadenia a výrobu formy. V špeciálnych prípadoch sa zhotovuje aj postupový výkres modelového zariadenia.

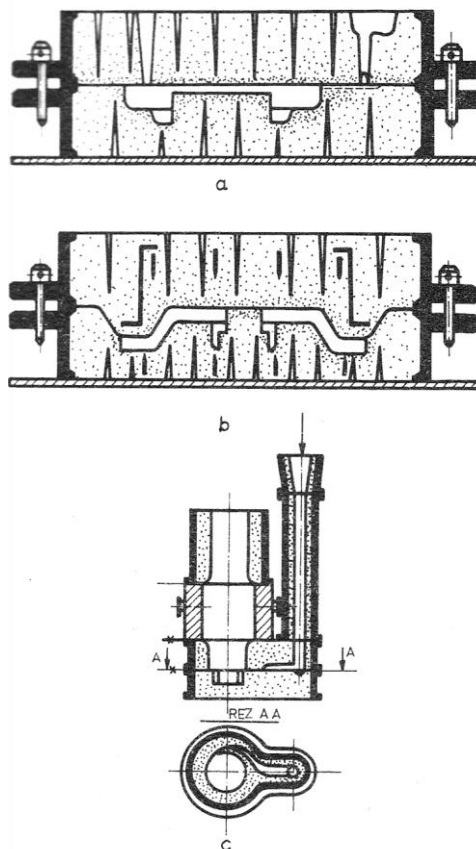
Zlievarenský postupový výkres je konštrukčný výkres súčiastky doplnený ďalšími údajmi určujúcimi požiadavky na modelové zariadenie a spôsob formovania. Zvláštnosťou tejto výkresovej dokumentácie je to, že sa vyhotovuje farebne.



Obr. 2.1 Odliatok ozubeného kolesa
 a) správna konštrukcia s krížovými I ramenami bez jadra
 b) nesprávna konštrukcia s ramenami vyžadujúca jadrá

Zlievarenský postupový výkres odliatku obsahuje:

- voľbu polohy odliatku vo forme - tomu sa podriaďuje správna voľba deliacej plochy formy a modelu. Voľba umiestnenia odliatku a deliacej plochy vo forme výrazne vplýva na výslednú presnosť odliatku, zložitost' modelu ako aj na prácnosť a postup výroby formy, spotrebu tekutého kovu, a tým aj celkové náklady na výrobu odliatku. Od polohy odliatku vo forme závisí aj celkové riešenie vtokovej sústavy a rozloženie náliatkov.



Obr. 2.2 Deliace plochy
 a) rovinná, b) tvarová, c) viacnásobná

Deliacimi plochami sú plochy, v ktorých sa vršok formy dotýka spodku formy. Umožňujú jednoduchšie vyberanie modelu a jeho častí z formy. Deliacia plocha môže byť rovná - deliaca rovina, alebo tvarová. Podľa zložitosti odliatku môže mať forma jednu alebo viac deliacich plôch (viacnásobná deliaca plocha.). Príklady typov deliacich plôch sú uvedené na obr.2.2.

- určenie počtu a polohy jadier, poradie ich zakladania do formy. Zakreslia sa všetky prídavky, úkopy a zaoblenia. Ich veľkosť predpisujú príslušné normy v závislosti od stupňa presnosti odliatkov, rozmerov a situovania príslušných plôch, materiálu modelu, hrúbky steny odliatku. Stupeň presnosti odliatkov závisí od použitej technológie výroby formy.

V zlievarenskom postupovom výkrese je zakreslená a zakótovaná vtoková sústava, náliatky a výfuky. Návrhu a výpočtu vtokovej sústavy treba venovať mimoriadnu pozornosť, aby bola zabezpečená výroba kvalitných odliatkov.

2.1.2 Vtoková sústava

Vtoková sústava sa skladá z kanálov vo forme, ktorými sa tekutý kov privádza do dutiny formy. Vtoková sústava má regulovať rýchlosť prúdenia kovu vo forme ako aj zadržať trosku a nečistoty, aby sa nedostali do odliatku.

Vtoková sústava musí byť navrhnutá a vyrobená tak, aby vyhovovala nasledovným kritériám:

- **rovnomé zapĺňanie formy tekutým kovom** bez vírenia a rozstrekovania kovu, bez nasávania vzduchu a plynov z okolia a bez poškodenia stien vtokovej sústavy, dutiny formy a jadier;
- **odlúčenie nekovových vtrúsenín** (troska, formovacia zmes), ktoré vznikli pri odlievaní do vtokovej sústavy;
- **naplnenie formy v stanovenej dobe**, skôr ako tavenina začne tuhnúť, a aby sa neporušili časti formy dlhodobým tepelným účinkom taveniny.

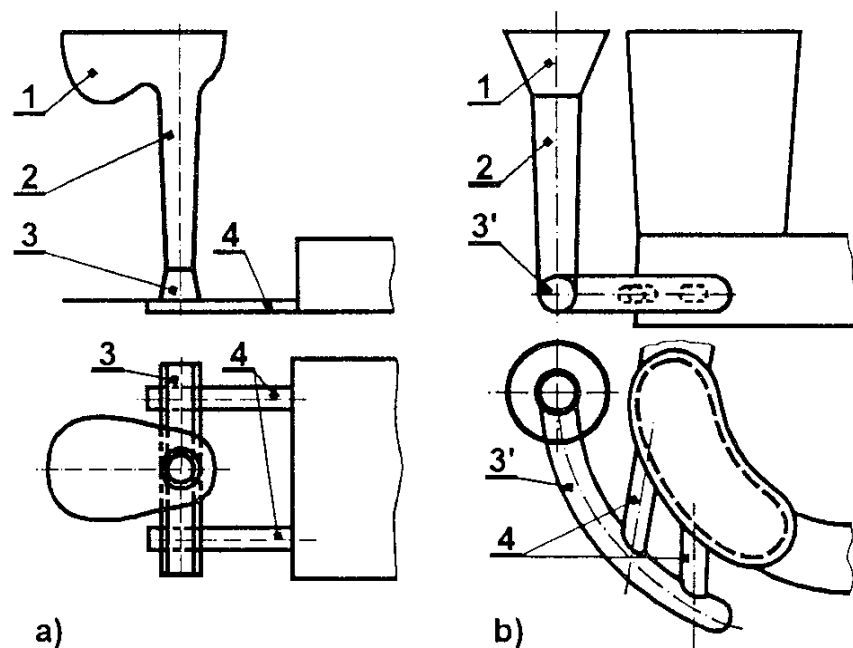
Základné typy vtokových sústav sú znázornené na obr.2.3. Liatie vrchom panvy sa využíva pri liatí odliatkov zo sivej liatiny. Vtoková sústava bez troskového kanála (liatie spodkom panvy) sa používa pri liatí ocele.

Vtokové sústavy pre liatie neželezných kovov a zliatin sú charakteristické značnou členitosťou s cieľom odstrániť niektoré špecifické negatívne vlastnosti odlievaných materiálov.

Vtoková sústava pozostáva z nasledovných častí:

- vtoková jamka,
- vtokový kanál,
- troskový kanál,
- vtokové zárezy,
- výfuk.

Pri výpočte vtokových sústav sa vychádza zo všeobecných zákonov hydromechaniky, predovšetkým z Bernoulliho rovnice a rovnice kontinuity.



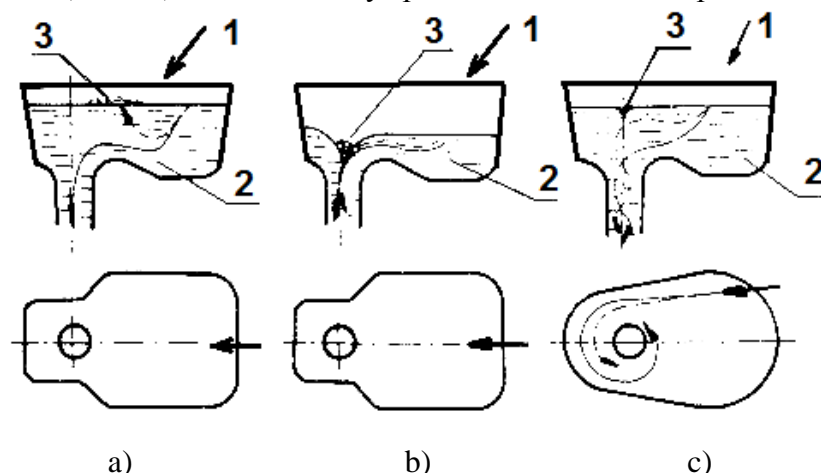
Obr. 2.3 Základné typy vtokových sústav

a) liatie vrchom panvy

b) liatie spodkom panvy

1 - vtoková jamka, 2 - vtokový kanál, 3 - troskový kanál,
3' - rozvádzač kanál, 4 - vtokové zárezy

Vtoková jamka má zachytiť prvý náraz kovu z panvy a usmerniť prúd kovu z panvy do vtokového kanála. Tvar vtokovej jamky závisí predovšetkým od spôsobu vylievania tekutého kovu z panvy. Nevhodný tvar spôsobuje vytváranie víru, ktorý nasáva nečistoty do vtokového kanála (obr.2.4). Jamka musí byť počas liatia neustále zaplnená tekutým kovom.



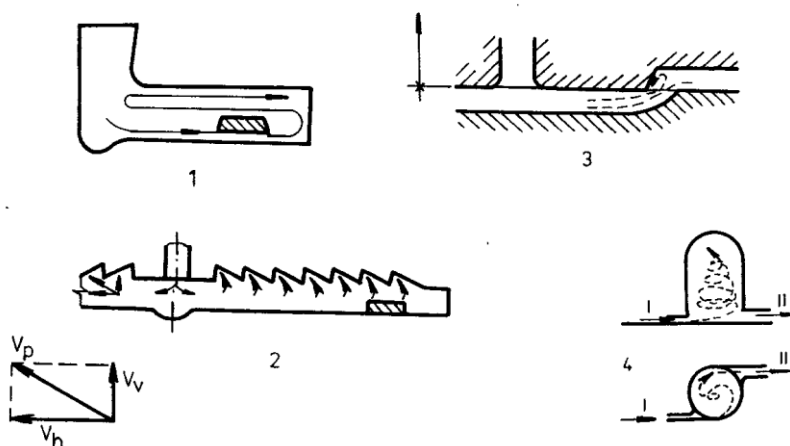
Obr. 2.4 Tvar a plnenie vtokovej jamky

1 - smer odlievania, 2 - kov, 3 - troska, a - správne, b, c - nesprávne

Vtokovým kanálom sa dopravuje kov z vtokovej jamky k ďalším častiam vtokovej sústavy. Musí mať taký tvar, aby v ňom pri prúdení kovu nevznikal podtlak, ktorý by zapríčinil nasávanie vzduchu. Tejto podmienke vyhovuje vtokový kanál tvaru zrezaného kužeľa.

Troskový alebo rozvádzací kanál je vodorovný kanál vtokovej sústavy, do ktorého ústi vtokový kanál. Funkciou rozvádzacieho kanála je rozviesť tekutý kov vo forme k zárezom. Troskový kanál nemusí byť vždy zaplnený, spravidla sa zaplňa postupne. Úlohou troskového kanála je zadržať trosku a nečistoty, ktoré sa dostali do vtokovej sústavy. Tieto častice následkom vztlaku stúpajú smerom k stropu kanála, kde uviaznu - zárezy sú napojené v spodnej rovine troskového kanála. Na zvýšenie účinnosti zachytávania trosky sa využíva vír na hladine kovu - pílový odlučovač trosky alebo odstredivá sila - odstredivý lapač trosky (obr.2.5).

Zárezy sú posledným prvkom vtokovej sústavy s najmenším prierezom. Zárezy sa nachádzajú v deliacej ploche formy a sú rozmiestnené po obvode odliatku tak, aby tekutý kov zaplňal dutinu formy rovnomerne, bez vzniku vírov a rozstrekovania kovu. Zárezy zvyčajne ústia do najtenších stien odliatku, pričom kov nesmie prúdiť priamo na protíľahlú stenu formy alebo na jadro, čo by spôsobilo eróziu formovacieho materiálu a jeho uviaznutie v odliatku.



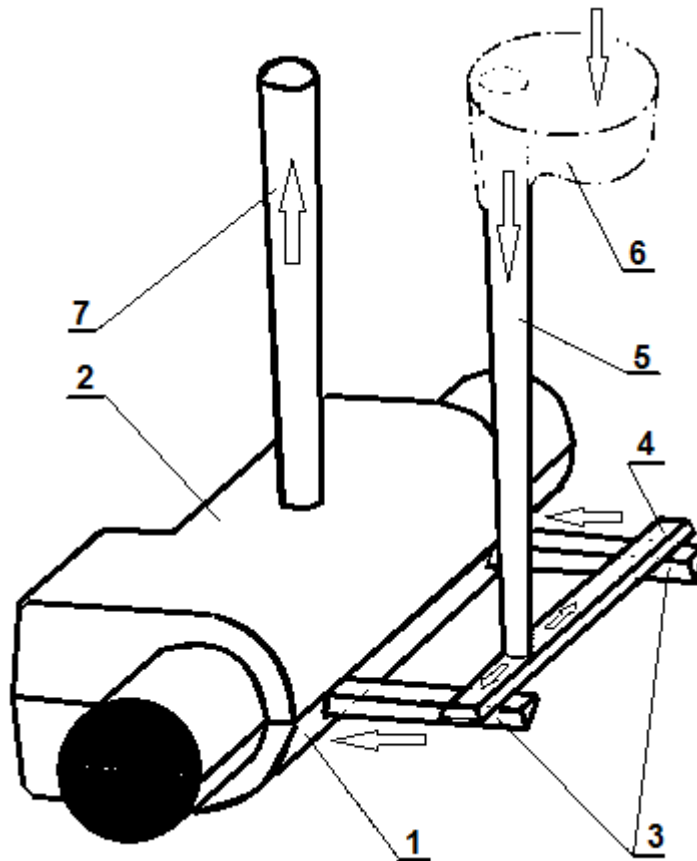
Obr. 2.5 Troskové kanály

1 - plnenie troskového kanála, 2 - pílový troskový kanál, 3 - troskový kanál s jedným miestom na zachytenie trosky, 4 - odstredivý zachytávač trosky

Pri liatí kovu do formy musí tento tekutý kov vytlačiť z dutiny vzduch, plyny a pary, ktorých objem sa výrazne zväčšuje zahrievaním. Pre unikanie týchto plynov nestačí len priedušnosť formovacieho materiálu, ale treba vytvoriť špeciálne kanáliky, ktoré voláme prieduchy a výfuky.

Výfuk je hlavný odplyňovací kanálik, ktorý sa umiestňuje na najvyššom mieste odliatku, aby po celý čas liatia plyny voľne unikali z formy a nebrzdili prúdenie vlievaného kovu. Ak je to možné, umiestňujú sa na opačnom konci ako vtok. Výfuky sa robia ako zvislé kanáliky kruhového prierezu, ktoré spájajú dutinu formy s jej povrchom.

Konštrukčne sa musí výfuk upraviť tak, aby sa dal odstrániť odrezaním. Jeho prierez musí byť tým väčší, čím väčšia je rýchlosť plnenia formy. Výfuky majú aj ďalšie funkcie, napr. zmiernenie nárazu tekutého kovu na horný povrch dutiny formy v okamihu jej naplnenia, signalizáciu naplnenia formy, prípadne odvedú nadbytočný kov. Jednotlivé časti modelov vtokovej sústavy sú zobrazené na obr.2.6.



Obr. 2.6 Vtoková sústava

1 - dolná časť deleného modelu, 2 - horná časť deleného modelu, 3 - ručne vyrezané vtokové zárezy, 4 - lapač trosky, 5 - vtokový kanál, 6 - vtoková jamka, 7 - výfuk

Výrobný postup odliatku je súhrn záväzných smerníc a údajov, ktoré jednoznačne určujú optimálne podmienky výroby odliatku. Používa sa nielen pri vlastnej výrobe odliatku, ale je zároveň podkladom pre ekonomický rozbor výroby, určenie spotreby materiálov, počtu pracovníkov, stanovenie výkonových noriem, stanovenie nárokov na strojové zariadenia a pod.

Príprava výroby odliatku pozostáva z nasledovných štyroch fáz:

1. **spracovanie výkresovej dokumentácie odliatku**, alebo súboru dát v počítači pri návrhu metódou CAD,
2. **realizácia modelu**, t. j. objektu zodpovedajúcemu tvarom reálnemu odliatku,
3. **realizácia funkčného vzoru**, ktorý zodpovedá materiálom, ale nemusí zodpovedať konečnej technológii výroby súčiastky;
4. **výroba funkčného prototypu**, ktorý je vyrobený zvolenou výrobnou technológiou z materiálu, ktorý sa použije aj pri sériovej výrobe.

Pri návrhu a výrobe modelového zariadenia je v súčasnosti veľmi účinné praktické využívanie systémov CAD/CAM. Objavujú sa nové technológie, umožňujúce v súčinnosti s výpočtovou technikou značne urýchliť, zjednodušiť a v konečnom meradle aj zefektívniť vývoj nových výrobkov. Metódy určené na rýchlu výrobu modelov a prototypov pomocou

počítača sú vo svete známe pod zovšeobecňujúcim názvom Rapid Prototyping. Spojenie dnes už bežne využívanej simulácie zlievarenských procesov s metódami Rapid Prototypingu od základov zmenilo spôsob práce a organizácie technickej prípravy výroby počnúc konštrukciou, cez výrobu modelov, výrobu a testovanie prototypov až po zavedenie hromadnej výroby odliatkov.

2.1.3 Náliatkovanie odliatkov

Tvar odliatku sa navrhuje tak, aby sme zaistili usmernené tuhnutie (obr.2.7). Je to tuhnutie, postupujúce zdola nahor, od miest najvzdialenejších smerom k náliatku, kde každá horná vrstva dodáva tekutý kov spodnej vrstve. Preto musí rásť prierez odliatku odspodku nahor bez lokálnych rozšírení profilu, ktoré vytvárajú tepelné uzly. Usmernené tuhnutie sa často označuje ako kladne usmernené, neusmernené tuhnutie ako záporne usmernené.

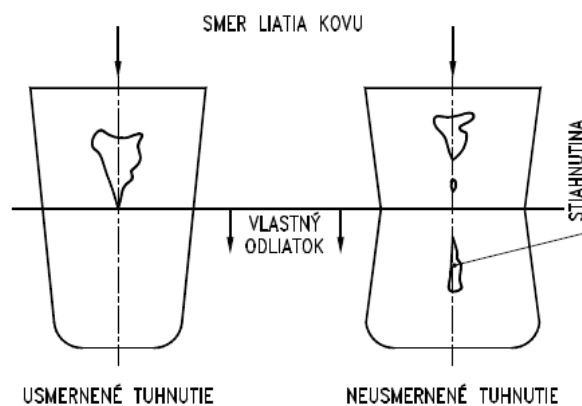
Náliatok je zásobáreň tekutého kovu, pomocou ktorej nahrádzame v odliatku úbytok kovu vzniknutý zmraštením. Pri náliatkovaní odliatkov treba vychádzať z tepelného rozboru odliatku.

Náliatok musí spĺňať nasledovné podmienky:

- musí mať dostatočný objem, aby bol prebytok tekutého kovu pre dopĺňanie náliatkovanej časti odliatku a vznikajúca sústredená stiahnutina nezasahovala do odliatku;
- musí mať vhodný tvar a umiestnenie, aby mal malé tepelné straty a aby kov v náliatku tuhohol až po stuhnutí odliatku;

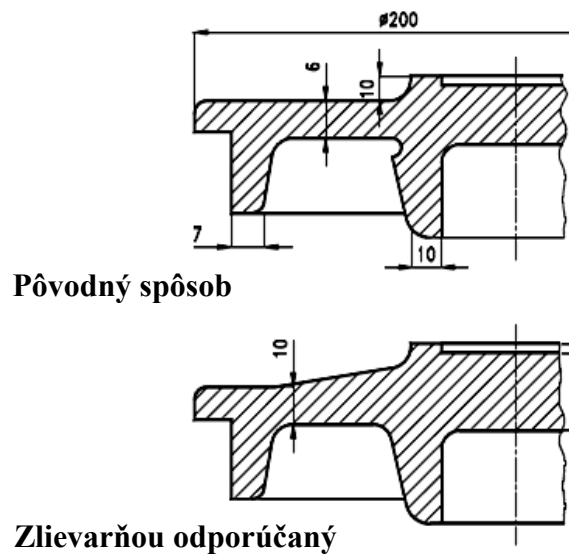
Tuhnutie v sústave odliatok - náliatok bude závisieť od:

- tlakových pomerov pri tuhnutí,
- usmernenosti tuhnutia,
- tepelného ovplyvnenia tuhnutia.



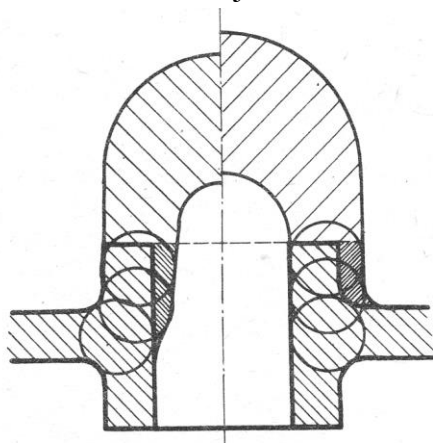
Obr. 2.7 Vplyv tvaru odliatku na usmernené tuhnutie

Tepelné uzly sú miesta, v ktorých je proti okoliu nahromadený materiál. V tepelných uzloch materiál tuhne dlhšie, preto sú príčinou tvorenia vnútorných stiahnutí. Tepelné uzly obyčajne náliatkujeme. Náliatok sa umiestňuje tak, aby sa umožnilo nerušené dopĺňovanie tekutého kovu. Používa sa aj riadená rýchlosť ochladzovania chladítkami. Výhodnejšie však je vykonať úpravu konštrukcie súčiastky. Na obr.2.8 je uvedený prípad úpravy odliatku z dôvodu odstránenia tepelných uzlov.

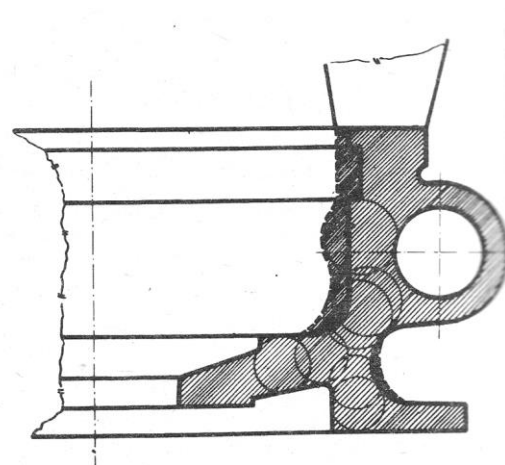


Obr. 2.8 Odliatok kotúča veka, pôvodný spôsob nezaistuje vlastnou konštrukciou usmernené tuhnutie

Počet náliatkov pre daný odliatok určuje jednak počet tepelných uzlov, ale aj pôsobnosťou každého náliatku, čiže vzdialenosťou, do akej je náliatok schopný dodávať tekutý kov. Pri náliatkovaní tepelných uzlov možno využiť pravidlo vpísaných kružníc, ktoré požaduje, aby kružnica vpísaná do tepelného uzla v odliatku mala smerom k náliatku stále minimálne rovnaký priemer (obr.2.9, 2.10). Rôzne usporiadanie náliatkov vzhľadom k tepelným uzlom odliatku je znázornené na obr.2.11.

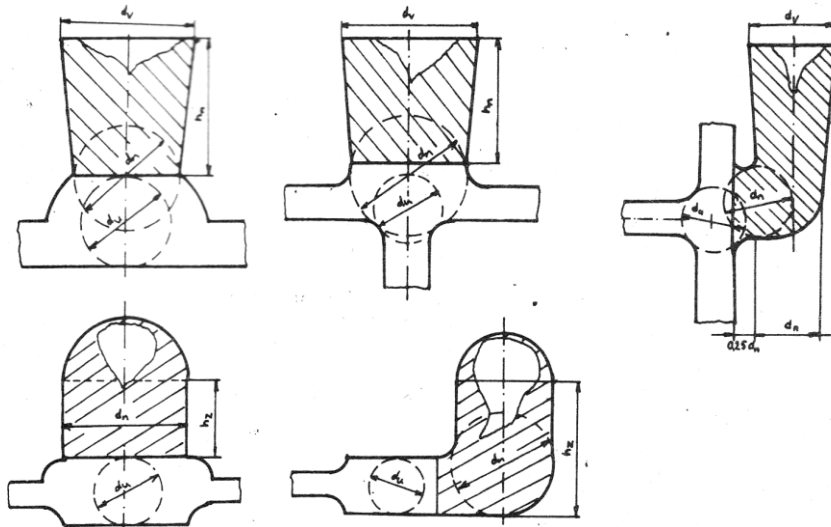


Obr. 2.9 Metóda vpísaných kružníc



Obr. 2.10 Kontrola prierezu odliatku metódou vpísaných kružníc

Ďalšou možnosťou na zabezpečenie usmerneného tuhnutia je zmena odvodu tepla formou, k čomu sa používajú chladítka. Sú to kovové predmety, ktoré sa buď zaformujú do formovacej zmesi - vonkajšie chladítka alebo sú to kovové predmety s rovnakým zložením ako kov odliatku a umiestňujú sa do dutiny formy - vnútorné chladítka (zostávajú zaliate v odliatku).



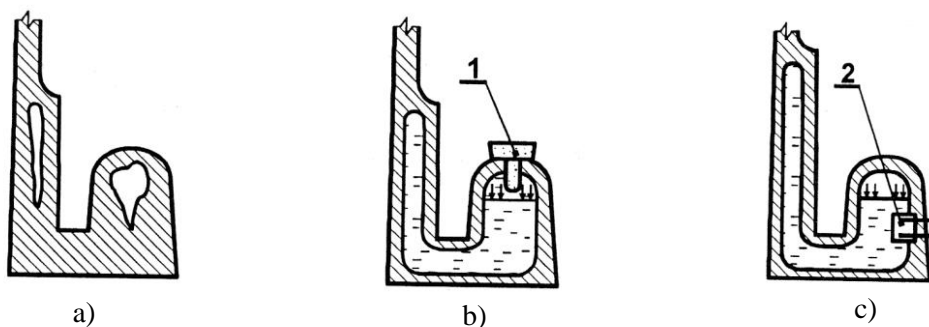
Obr. 2.11 Rôzne usporiadanie náliatkov vzhľadom k tepelným uzlom odliatku

Náliatky možno rozdeliť do dvoch skupín:

- **otvorené atmosférické náliatky** - sú to otvorené dutiny vo forme, hladina kovu je bezprostredne vystavená vplyvu atmosféry,
- **uzatvorené náliatky** - sú to uzavreté dutiny vo forme.

Podľa zhutňovacieho tlaku sa náliatky rozdeľujú do troch základných skupín (obr.2.12):

- podtlakové náliatky - celkový tlak je tu nižší ako atmosférický. Ide o prípad, keď v atmosférických náliatkoch stuhne hladina kovu, takže atmosférický tlak nemôže naďalej pôsobiť na hladinu taveniny. Vo zvyšnej časti náliatku vzniká stiahnutina,
- atmosférické náliatky,
- vysokotlakové náliatky - celkový zhutňovací tlak je podstatne vyšší ako atmosférický tlak, sú to uzavreté náliatky s plynovornou náložou. Plyny vznikajúce pôsobením tepla tekutého kovu vytvárajú vysoký tlak. Používajú sa zriedka.



Obr. 2.12 Uzatvorené náliatky a) podtlakové, b) atmosférické, c) vysokotlakové
1 - atmosférické jadierko, 2 - plynovorná nábojka

Podľa umiestnenia rozlišujeme náliatky vrchné, náliatky spodné a bočné náliatky. Náliatky sa po stuhnutí odliatku odstraňujú odrezaním alebo odpálením kyslíko-acetylenovým horákom.

2.2 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ NA VÝROBU ODLIATKOV

2.2.1 Zlievarenské vlastnosti kovov a zliatin

Pod pojmom zlievarenské vlastnosti rozumieme tie fyzikálne a technologické vlastnosti kovov a zliatin, ktoré rozhodujúcim spôsobom ovplyvňujú výrobu odliatkov. K dôležitým zlievarenským vlastnostiam patrí *tekutosť*, *viskozita*, *povrchové napätie*, *zabiehavosť*, *zmrašťovanie*, *sklon k tvorbe stiahnutí*, *mikropórov a trhlín*, *vzniku vnútorných napätí a trhlín*.

▪ **Taviteľnosť**

Taviteľnosť je schopnosť kovov a ich zliatin prechádzať zo skupenstva tuhého do kvapalného. Taviteľnosť sa posudzuje podľa teploty tavenia, spotreby tepla na roztavenie a teplotného intervalu pri tavení. Teplotou tavenia sa rozumie teplota likvidu, t.j. teplota, pri ktorej kov alebo zliatina prechádza do skupenstva kvapalného. Teploty tavenia čistých kovov sú vyššie ako teploty tavenia ich zliatin. Čisté kovy a eutektické zliatiny sa tavia pri konštantnej teplote. Väčšina zliatin sa taví v rozmedzí teplôt a aj v rozmedzí teplôt po vliatí do formy tuhnú.

▪ **Tekutosť**

Tekutosť (fluidita) roztavených kovov a zliatin je fyzikálna vlastnosť definovaná ako prevrátená hodnota dynamickej viskozity η vyjadrujúca odpor kvapaliny proti tečeniu. Priamo závisí od štruktúry a teploty kovu.

▪ **Viskozita roztavených kovov a zliatin**

Viskozita je vnútorný odpor kvapaliny proti prúdeniu. Viskozitu môžeme merať len pri pohybe taveniny, keď dochádza k treniu častíc pri ich rôznej rýchlosti v prúde kvapaliny. Prevrátená hodnota viskozity je mierou tekutosti kvapaliny.

▪ **Povrchové napätie roztavených kovov a zliatin**

Povrchové napätie roztavených kovov a zliatin je definované ako dotyková sila dF pôsobiaca v rovine povrchu kvapalnej látky, ktorá je kolmá na dĺžku mysleného rezu dl v tejto rovine. Je to sila, ktorá kladie odpor proti zväčšovaniu povrchu kvapalných látok, a je označovaná symbolom σ . Veľkosť povrchového napätia závisí nielen od vlastností kvapalnej látky, ale aj od vlastností prostredia, s ktorými je kvapalná látka v styku. Jedná sa o povrchové napätie na hranici dvoch prostredí. V zlievarenskej praxi má povrchové napätie odlievaného kovu vplyv hlavne na presnosť tvaru a kvalitu povrchu tenkostenných odliatkov.

▪ **Zabiehavosť kovov a zliatin**

Zabiehavosť je základná zlievarenská vlastnosť, ktorá charakterizuje schopnosť taveniny kovu vyplniť čo najdokonalejšie zlievarenskú formu. Zabiehavosť je technologická vlastnosť roztaveného kovu, ktorá je výsledkom komplexu jeho fyzikálnych a chemických vlastností, ako sú chemické zloženie, hustota, tekutosť, viskozita, tepelná vodivosť, interval tuhnutia, povrchové napätie, schopnosť pohlcovať plyny a pod. Najvyššiu zabiehavosť majú zliatiny s chemickým zložením, ktoré sa rovná alebo je blízke eutektickému. S rozširujúcim sa intervalom tuhnutia sa tekutosť zliatin znižuje. Zabiehavosť zliatin sa zvyčajne zhoršuje, ak obsahuje roztavená zliatina väčšie množstvo plynov, alebo je náchylná k okysličeniu.

▪ **Zmena rozmerov pri tuhnutí a chladnutí - zmrašťovanie**

Príčinou zmien rozmerov pri tuhnutí a chladnutí sú objemové zmeny tekutej a tuhej fázy pri poklese teploty a pri fázových premenách. Objemové zmeny pri tuhnutí znižujú výsledné rozmery odliatku, ovplyvňujú homogenitu odliatku a sú príčinou vzniku vnútorných napätí.

▪ ***Sklon k tvorbe stiahnutí, mikropórov a trhlín***

Vznik stiahnutí a mikropórov v niektorých častiach odliatku je nežiaducim sprievodným javom pri tuhnutí taveniny. Veľkosť stiahnutí závisí od hodnoty zmraštenia taveniny pri jej tuhnutí.

▪ ***Sklon k tvorbe vnútorných napätí a prasklín***

Vnútorné napätia sú spôsobené zmraštením v pevnom stave. Spôsobuje vznik trhlín, prasklín aj zmenu rozmerov. Je vyvolané buď prekážkami, znemožňujúcimi voľné zmraštenie odliatkov, alebo nerovnomerným chladnutím jednotlivých častí odliatku. Ak nadobudne vnútorné napätie hodnotu pevnosti materiálu, vznikajú trhliny (pri vyšších teplotách), ktoré majú zaoxidovaný povrch, alebo praskliny (pri nižších teplotách) s kovovo čistým povrchom.

2.2.2 Ocele na odliatky

Podľa spôsobu použitia môžeme ocele na odliatky rozdeliť na:

- a) nelegované a legované ocele na odliatky pre všeobecné použitie,
- b) ocele pre odliatky tlakových nádob,
- c) korozivzdorné ocele pre všeobecné použitie,
- d) žiaruvzdorné ocele na odliatky pre všeobecné použitie,
- e) materiály pre odstredivo liate výrobky.

U ocelí na odliatky sú vlastnosti ocelí ovplyvnené podmienkami tuhnutia, hlavne rýchlosťou odvodu tepla. V dôsledku rôznej rozpustnosti jednotlivých prvkov v tuhej a tekutej fáze vzniká po stuhnutí v odliatku heterogenita chemického zloženia - segregácia. Najväčší sklon k segregácii v oceli majú síra, kyslík, fosfor a uhlík. U ocelí na odliatky je nutné vždy počítať s väčšou heterogenitou než u tvárnených ocelí. Vysokolegované ocele na odliatky (antikorozné) sú preto viac legované než ocele tvárnené, aby sa zaistila dostatočná úroveň legovania v celej matici.

Norma STN EN 10213 uvádza technické dodacie podmienky pre ocelové odliatky pre tlakové nádoby. Na odliatky pre tlakové nádoby sú kladené veľmi prísne požiadavky, a preto sa táto norma používa aj pre objednávky náročných odliatkov všeobecne. Uvedená norma zahŕňa všetky typy konštrukčných ocelí na odliatky okrem vysokopevných ocelí.

Podľa použitia norma rozlišuje značky ocelí na odliatky pre:

- použitie za normálnych a zvýšených teplôt,
- použitie za nízkych teplôt,
- značky austenitických a austeniticko-feritických ocelí.

Zlievarenské vlastnosti ocelí na odliatky

Zlievarenské vlastnosti ocelí na odliatky nie sú zvlášť dobré a sú príčinou pomerne vysokých nárokov na technológiu výroby odliatkov. Teplota liatia ocelí na odliatky je

pomerne vysoká v niektorých prípadoch až 1600°C, a preto na kvalitu formovacích zmesí na výrobu zlievarenských foriem sa kladú vysoké požiadavky, najmä vzhľadom na ich žiaruvzdornosť.

Viskozita a povrchové napätie majú v porovnaní so sivou liatinou vyššie hodnoty. Z týchto dôvodov je ťažké odlievať z ocele tenkostenné odliatky. Minimálna hrúbka steny odliatku, ktorú možno pri gravitačnom liatí ocele ešte odliat', je asi 8 mm.

Zabiehavosť uhlíkových ocelí je menšia ako zabiehavosť liatin a mení sa v závislosti od obsahu uhlíka. Na zabiehavosť uhlíkových ocelí má vplyv aj teplota liatia, pretože so stúpajúcou teplotou liatia sa zo začiatku zabiehavosť zväčšuje, následne sa znižuje. Zabiehavosť ocelí na odliatky je v porovnaní so zabiehavosťou sivej liatiny a niektorých zliatin neželezných kovov nižšia. Súčiniteľ objemového zmrštenia v tekutom stave aj pri tuhnutí je pomerne veľký (ocel' s obsahom 0,3 %C má súčiniteľ objemového zmrštenia v tekutom stave $1,6 \cdot 10^{-2} \text{K}^{-1}$). V dôsledku veľkého zmrštenia tvoria ocele na odliatky pri tuhnutí veľké sústredené sťahnutiny a v závislosti od konkrétnych podmienok tuhnutia majú sklon k tvorbe mikrostiahnutí a riedenín. Súčiniteľ objemového zmrštenia ocelí v tuhom stave je tak isto veľký, pohybuje sa okolo hodnoty $4,3 \cdot 10^{-2} \text{K}^{-1}$, a preto sa v ocel'ových odliatkoch ľahko vytvárajú trhliny a vznikajú v nich zlievarenské pnutia a praskliny. Z tohto dôvodu je potrebné voliť také technologické opatrenia, aby sa v tepelných uzloch nevytvárali sťahnutiny a podiel mikropórovitosti bol v odliatkoch minimálny.

Zlievarenské vlastnosti nízkolegovaných ocelí na odliatky sa od zlievarenských vlastností uhlíkových ocelí v podstate nelíšia. U strednelegovaných a hlavne u vysokolegovaných ocelí má vysoký obsah legujúcich prvkov vplyv i na ich zlievarenské vlastnosti (napr. ocele s vysokým obsahom chrómu vytvárajú pri liatí na povrchu taveniny oxidické blany, ktoré zhoršujú ich zabiehavosť).

Ocele pre použitie za normálnej teploty a zvýšených teplôt - odliatky sa dodávajú buď v normalizovanom stave alebo v stave po ohreve nad A_{c3} , chladené do vody a popustené. Vysokolegované ocele sú kaliteľné na vzduchu. Martenzitická štruktúra získaná po kalení sa popúšťa na vysoké teploty.

Ocele na odliatky pre použitie za nízkych teplôt - vyznačujú sa nízkym obsahom uhlíka. Tranzitnú teplotu znižuje mangán až do obsahu 1,60 %. Ešte významnejšie ju znižuje nikel. Väčší vplyv na tranzitné chovanie má obsah síry a kyslíku. Tieto prvky ovplyvňujú výrazne morfológiu sulfidov a oxisulfidov. Nízkolegované mangánové ocele (G17Mn5, G20Mn5) sa používajú do teplôt - 60°C, vysokolegované (G17NiCrMo13-6, GXCrNi13-4) do teplôt - 80 až - 120°C.

Ocele austenitické a austeniticko-feritické - predstavujú najpoužívanejšie značky antikoročných ocelí na odliatky pre tlakové nádoby. Podobné ako u antikoročných tvárnených ocelí sú u ocelí na odliatky požadované veľmi nízke obsahy uhlíka (max. 0,07 %, najčastejšie 0,03 %).

Oteruvzdorné ocele - sú vyrábané často ako ocele na odliatky. U zložitejších tvarov nie je často iná možnosť vyrobiť dielec inak (obtiažna obrábatelnosť) ako odievaním. Austenitické mangánové ocele (Hadfieldová ocel') sú určené pre vysoké merné tlaky. Obsahujú asi 1,2 až 1,5 %C a 12 až 15 %Mn. Variant s cca 18 %Mn je používaný pre najviac namáhané súčiastky. Majú austenitickú štruktúru, ktorá sa dosahuje ohrevom na teploty 980 až 1 100°C

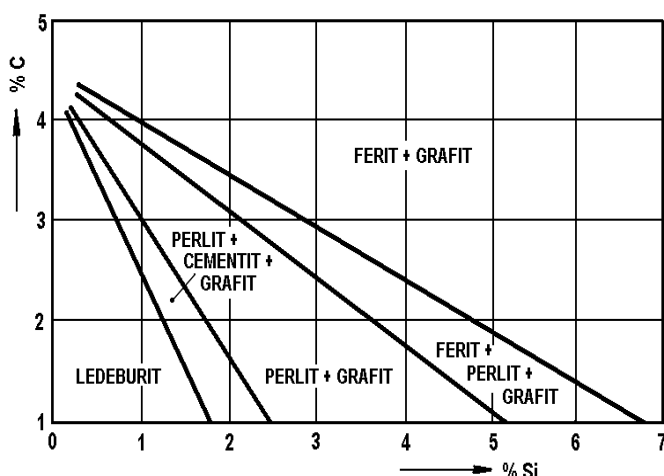
a rýchlym ochladením vo vode. Dosahujú tvrdosť okolo 200HB, medzu klzu 400 MPa, pri pevnosti 800 - 900 MPa a ťažnosti 35 - 50 %. Oceľ v liatom stave alebo pomaly ochladzovaná je krehká.

2.2.3 Liatiny

Liatiny sú zliatiny železa s uhlíkom, kremíkom, mangánom a ďalšími prvkami, v ktorých obsah uhlíka je minimálne 2,14 %C. Liatina sa vyrába roztavením surovín v kuplovej peci alebo elektrickej indukčnej, prípadne oblúkovej peci.

Z rovnovážneho diagramu železo-uhlík vyplýva, že podľa chemického zloženia a podmienok tuhnutia vzniká v liatinách buď cementitické eutektikum - ledeburit, alebo grafitové eutektikum. Podľa vylúčeného typu eutektika rozlišujeme: bielo tuhnúce liatiny (biela liatina, temperovaná liatina a tvrdená liatina), ktoré majú aj biely lom; druhou skupinou sú grafitické liatiny (liatina s lupienkovým grafitom, liatina s guľôčkovým grafitom, liatina s červikovitým grafitom), ktoré majú sivý lom.

Grafitické liatiny (najmä liatina s lupienkovým grafitom) patrí do skupiny najstarších konštrukčných materiálov. Neobsahujú voľný cementit a majú všetok uhlík alebo jeho prevažnú časť vylúčenú ako grafit. Tieto zliatiny majú v porovnaní s oceľou mnohé



Obr. 2.13 Vplyv Si a C na štruktúru grafitickej liatiny

Z obrázku vyplýva, že napr. pri obsahu 3 %C a 4 %Si sa všetok C vylúči vo forme grafitu a výsledná štruktúra bude feriticko - grafitická. Pri obsahu 3 %C a 2 %Si sa časť uhlíka rozpusteného v austenite, vylúči pri eutektoidnej reakcii vo forme cementitu (ako súčasť perlitu) a výsledná štruktúra bude tvorená perlitom a grafitom.

Druhým faktorom, ktorý výrazne ovplyvňuje štruktúru liatin, je rýchlosť ochladzovania, ktorá rozhoduje o difúzných podmienkach. So zvyšujúcou rýchlosťou sa potláčajú difúzne procesy. To znamená že pri obsahu 3 %C a 3 %Si môže vzniknúť v závislosti od rýchlosti ochladzovania rôzna matica grafitickej liatiny a to od feriticko - grafitickej až po ledeburitickú liatinu.

Grafitické liatiny - štruktúra grafitických liatin je tvorená grafitom a základnou kovovou hmotou (mavicou). Na vlastnosti liatin má rozhodujúci vplyv tvar, veľkosť, obsah a spôsob rozloženia grafitu a druh matrice (perlit, ferit, cementit, prípadne ďalšie produkty transformácie austenitu) a fosfidické eutektikum - *steadit*. Základné tvary grafitu v

prednosti: o cca 8 % nižšiumernú hmotnosť, lepšiu obrábatelnosť a trecie vlastnosti, schopnosť tlmiť chvenie, menšiu citlivosť na vruby a i. U liatin s výhodnejšími tvarmi grafitu (guľôčkový, vločkový) sa dajú dosiahnuť mechanické vlastnosti porovnateľné s oceľou a pritom zachovať ich špecifické vlastnosti.

Rozhodujúci vplyv na vylučovanie grafitu má obsah uhlíku a kremíku (obr.2.13).

grafitických liatinách podľa normy STN EN 1560 sú *lupienkový*, *gulôčkový*, *pavúčkovitý* a *červikovitý*. Grafitové častice oslabujú štruktúru a porušujú kontinuitu základnej kovovej hmoty. Pri namáhaní odliatku dochádza k vzniku miestnych koncentrácií napätí v oblasti grafitu a jeho hodnoty môžu 10 až 20x prevýšiť menovité napätia. Najsilnejší vrubový účinok má v štruktúre vylúčenie grafitu v tvare hrubých lupienkov. Priaznivejšími tvarmi z hľadiska koncentrácií napätí a porušovania celistvosti matrice liatin sú gulôčky alebo vločky grafitu v temperovaných liatinách.

Výslednú štruktúru matrice liatin po odliati tvorí perlit, ferit alebo ich zmes a ďalšie štruktúrne zložky (steadit, inklúzie). Perlit je najčastejšie lamelárny a s jeho rastúcim množstvom sa zvyšuje tvrdosť, pevnosť a odolnosť proti opotrebeniu, avšak klesá húževnatosť a plasticita. Naopak vyšší podiel feritu v štruktúre najmä liatin s gulôčkovým grafitom vedie k zvýšeniu ťažnosti a húževnatosti.

Eutektický cementit je v štruktúre grafitických liatin nežiaducou fázou, pretože zvyšuje tvrdosť a krehkosť a zhoršuje obrábateľnosť. Fosfor tvorí binárne (Fe-Fe₃P) alebo ternárne (Fe-Fe₃C-Fe₃P) fosfidické eutektikum nazývané steadit. Táto nízkotavitelná fáza tuhne pri kryštalizácii na konci a vyskytuje sa na hraniciach eutektických buniek.

Legované druhy liatin - materiály, u ktorých pridávaním legujúcich prvkov sa dosiahne zlepšenie mechanických vlastností liatin, t.j. získanie optimálnej kombinácie pevnosti a húževnatosti, bez použitia tepelného spracovania. Druhým cieľom legovania je dosiahnutie výhodnejších technologických, chemických a fyzikálnych vlastností.

Pridávaním legujúcich prvkov sa zlepšujú nasledujúce vlastnosti liatin:

- a) **mechanicko-technologické vlastnosti** ako pevnosť, tvrdosť, húževnatosť, odolnosť proti opotrebeniu, rovnomernosť štruktúry, prekaliteľnosť, obrábateľnosť za použitia prísad Cr, Mo, Ni, Cu;
- b) **vlastnosti za zvýšených teplôt**, t.j. medza pevnosti pri tečení, žiaruvzdornosť, objemová stálosť, štruktúrna odolnosť (Si, Al, Mo, Cr, Ni);
- c) **koróziivzdornosť** v neutrálnom, kyslom, alebo zásaditom prostredí (Si, Cr, Ni, Cu).

2.2.4 Neželezné kovy používané na výrobu odliatkov

Zliatiny hliníka pre odliatky - sú určené pre výrobu tvarových odliatkov liatím do piesku, do kovových foriem alebo tlakovo. Mechanické hodnoty odliatkov nedosahujú hodnoty výrobkov tvárnených a značne závisia na spôsobe odlievania. Najväčšia pevnosť v ťahu býva asi 250 MPa. Hrubá štruktúra s najnižšími pevnostnými charakteristikami vzniká pri liatí do piesku, jemná štruktúra s lepšími vlastnosťami sa tvorí pri liatí do kovových foriem alebo pri tlakovom liatí.

Silumíny. Najdôležitejšou skupinou zliatin hliníka na odliatky sú zliatiny, obsahujúce ako **hlavnú prísadu Si**, nazývané *silumíny*. Majú nízku mernú hmotnosť (2650 kg.m⁻³), dobrú odolnosť proti korózii, malý sklon k zadieraniu a pri odlievaní dobrú zabiehavosť, malú zmrašťivosť (0,5 %) a nie sú náchylné na praskanie. Ich obrábateľnosť je horšia ako u iných zliatin hliníka. Z hľadiska možnosti spevňovania tepelných spracovaním je možné rozdeliť silumíny na *nevytvrditeľné* a *vytvrditeľné*.

Nevytvrdiviteľné silumíny obsahujú 5 až 20 %Si a ďalšie prísady, z ktorých najbežnejší je Mn, ktorý eliminuje nepriaznivý vplyv prímiesi Fe na ťažnosť, húževnatosť a zlievarenské vlastnosti silumínov. Prísadou Cu je možné zvýšiť medzu únavy, aj keď sa mierne zhorší odolnosť proti korózii. Najlepšie zlievarenské vlastnosti majú eutektické silumíny, obsahujúce 10 až 13 %Si.

Vytvrdiviteľné silumíny musia okrem Si obsahovať prísadu Mg alebo Cu. Vytvrdiviteľnosť je potom zabezpečená vylučovaním fázy Mg_2Si alebo A_2Cu . Väčší význam ako silumínom s Cu je možné pripísať vytvrdiviteľným silumínom typu Al-Mg-Si, ktoré dosahujú pevnosť v ťahu okolo 200 MPa. Pevnostné vlastnosti silumínov Al-Mg-Si je možné pozitívne ovplyvniť očkovaním (napr. Ti, B), ktorým sa dosiahne zjemnenie zrna. Pri súčasnom silumíne $AlSi_7Mg_{0,6}$ je možné dosiahnuť po očkovaní, modifikovaní a vytvrdení medzu pevnosti v ťahu približujúce sa hodnote 300 MPa.

Ďalšie zlievarenské zliatiny hliníka. Sú to zliatiny na báze **Al-Mg** (napr. STN 42 4515) a **Al-Cu** (napr. STN 42 4315 a STN 42 4361).

Zliatiny Al-Mg s rozličným obsahom Mg (3-11 %) majú dobré mechanické vlastnosti, vysokú koróznú odolnosť, dobrú leštiteľnosť a veľmi nízku hustotu. Nevýhodou je sklon k oxidácii, ktorou sa zhoršujú vlastnosti. Túto nevýhodu možno znížiť prísadou 0,005 - 0,02 %Be. Zlievarenské vlastnosti zliatin nie sú veľmi dobré. Z dôvodu širokého intervalu tuhnutia sú tieto zliatiny náchylné na tvorbu mikropórov. Zliatiny Al-Mg sa tepelne spracovávajú najmä pri obsahu Mg väčšom ako 8 %. Kaliaca teplota má dosahovať hodnotu asi 450°C, aby sa za krátky čas dosiahla homogenizácia štruktúry. Aby sa zabránilo vzniku prasklín, uskutočňuje sa kalenie v teplej vode alebo v oleji. Nevýhodou zliatin Al-Mg je, že už pri málo zvýšených teplotách starnú. Starnutím sa zvyšuje pevnosť, ale znižuje húževnatosť.

Zliatiny Al-Cu sa používajú na výrobu hláv valcov spaľovacích motorov, prípadne na výrobu odliatkov ďalších zariadení, pracujúcich pri zvýšených teplotách. Ich zlievarenské vlastnosti sú pomerne zlé. Vzhľadom na veľký interval tuhnutia majú nevyhovujúcu zabiehavosť a sklon k tvorbe trhlín. Ako ďalšie prísady sa používajú kremík (do 6 %) a zinok (do 2,5 %), prípadne Ni, Mg. Obsah Cu sa pohybuje v rozmedzí 3 až 8,5 %. V podstate bývajú zliatiny Al-Cu dvojaké, a to s nízkym obsahom Cu, ktoré neobsahujú eutektikum a zliatiny s vyšším obsahom medi s eutektikom v štruktúre.

Zliatiny horčíka na odliatky - ich chemické zloženie je blízke zloženiu zliatin na tvárnenie. Mechanické vlastnosti odliatkov sú však nižšie. Podstatne sa zlepšujú zjemnením zrna, ktoré sa dosahuje u jednotlivých zliatin rôznymi spôsobmi - prehriatím taveniny pred odliatím, pridaním malého množstva (do 1 % hmotnosti taveniny) zvláštnych očkovadiel bez prehriatia taveniny (krieda, magnezit, práškový bezvodý chlorid železitý), alebo prísadou zirkónu.

Zliatiny Mg-Al-Zn obsahujú do 12 %Al, do 3 %Zn a do 0,5 %Mn. Sú to najpoužívanejšie zlievarenské zliatiny horčíka, známe pod názvom *elektrón*, použiteľné až do teploty 150°C. Všetky obsahujú prísadu mangánu, zlepšujúcu odolnosť proti korózii. Najčastejšie používaná zlievarenská zliatina, vhodná pre liatie do piesku aj do kokíl má zloženie 9 %Al, 2 %Zn a 0,2 %Mn. Po vytvrdení dosahuje pevnosť v ťahu 270 MPa, ťažnosť 3 %.

Zliatiny Mg-Mn majú dobrú odolnosť proti korózii, sú dobre obrobiteľné aj zvariteľné, avšak zle zlievateľné. Obsahujú 1 až 2,5 %Mn, nevytvrdzujú sa, majú preto pomerne nízke mechanické vlastnosti (R_m je 80-110 MPa, ťažnosť 5-2 %).

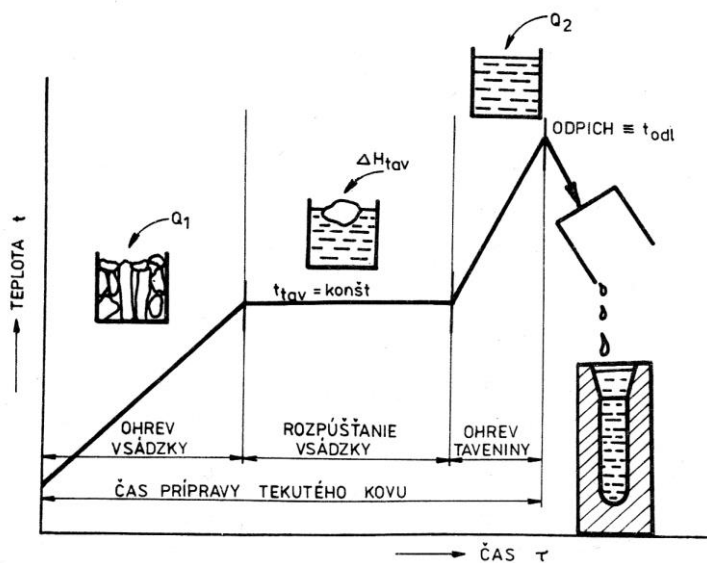
Zliatiny Mg-Zn-Zr. Prísada zirkónu (0,4 až 1 %) zjemňuje zrno zlievarenských zliatin a zlepšuje ich mechanické vlastnosti. Prísadou kovov vzácnych zemín (napr. céru) k základnej zliatine Mg-Zn-Zr sa zlepšia mechanické vlastnosti a zliatiny je možné použiť až do teploty 200 až 250°C.

2.2.5 Príprava a výroba tekutého kovu

Pod pojmom tekutý kov sa uvažuje buď čistý kovový prvok alebo zliatina viacerých prvkov v roztavenom stave. Cieľ prípravy tekutého kovu je vyrobiť tekutý kov s vyžadovaným chemickým zložením, s minimálnym obsahom plynov, ako je kyslík, vodík, dusík a vtrúseniny. Vtrúseniny a plyny sú v kove nežiaduce, zhoršujú úžitkové vlastnosti odliatkov a sú spravidla príčinou nepodarkov. Na výrobu kvalitného tekutého kovu vplýva kvalita východiskových materiálov, typ taviaceho agregátu, v ktorom sa kov taví a použitý metalurgický pracovný postup. Metalurgický proces, čiže spôsob tavenia a odlievania kovu môže byť rôzny, ale od neho závisí kvalita fyzikálnych a mechanických vlastností odliatkov vôbec.

Tavenie kovov

Tavenie kovov je určitý druh fázovej premeny z tuhého stavu na tekutý. Je spojené s prudkou zmenou vnútornej energie, objemu, usporiadania štruktúry kovu, niektorých fyzikálnych vlastností a so spotrebou tepla. Teplo sa spotrebuje na zoslabenie príťažlivých mediatómových síl, vykonanie určitej práce, ktorá sa zväčša spája so zväčšením objemu (objem sa zväčšuje proti pôsobeniu vonkajšieho tlaku). Určité druhy zliatin vykazujú pri tavení zmenšenie svojho objemu.



Obr. 2.14 Schematické znázornenie procesu tavenia čistého kovu

Proces tavenia čistého kovu možno graficky znázorniť v súradniciach teplota - čas, ako to vyplýva z obr.2.14. Skladá sa z troch charakteristických častí, ako je ohrev vsádzky až na teplotu tavenia, rozpúšťanie vsádzky a ohrev vsádzky na teplotu odlievania t_{odl} . Teplo, ktoré sa spotrebúva pri rozpúšťaní vsádzky nespôsobuje zvyšovanie jej teploty. Je to teplo, ktoré spôsobuje zmenu skupenstva a nazýva sa skupenské teplo tavenia (alebo rozpúšťacie teplo), pri tuhnutí kovu sa z neho uvoľňuje. Významnou veličinou pri tavení kovov je

molárne teplo tavenia, je to množstvo tepla, ktoré sa spotrebuje na roztavenie jedného mólu kovu. Ďalšou veličinou je špecifické teplo tavenia, ktoré sa vzťahuje na roztavenie jedného gramu kovu, potom platí:

$$\Delta H^{\circ}_{\text{tav}} = c_{\text{tav}} \cdot M \quad [\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}] \quad (2.1)$$

kde: $\Delta H^{\circ}_{\text{tav}}$ je molárne teplo tavenia
 c_{tav} je špecifické teplo tavenia [$\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$],
 M je atómová hmotnosť [$\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$].

Proces tavenia zliatin sa skladá z nasledujúcich operácií:

1. Určenie vyžadujúceho chemického zloženia vsádzky.
2. Určenie vhodného taviaceho agregátu - pece.
3. Určenie pracovného postupu pri tavení - určenie a realizácia metalurgického procesu.
4. Správna príprava trosky.

Technológia tavenia sa podľa druhu lejacích materiálov delí na:

- *tavenie ocelí,*
- *tavenie liatin,*
- *tavenie neželezných kovov a zliatin.*

Ako zdroj tepla pre tavenie sa používa:

- elektrický prúd - ohrev elektrickým oblúkom,
- indukčný ohrev,
- odporový ohrev,
- spaľovanie palív - tuhých, kvapalných a plynných.

V súčasnosti sa najčastejšie používajú elektrické taviace pece. Rozšírenie elektrických pecí je motivované zvýšenými požiadavkami na kvalitu materiálu, vysokými výkonmi elektrických pecí, prijateľnou ekonomikou tavenia, zvýšenou hygienou práce a požiadavkami na čistotu životného prostredia.

Z pecí využívajúcich teplo vznikajúce spaľovaním tuhých palív sa doposiaľ používajú a perspektívne aj budú používať kuplové pece na tavenie liatin pre dobrú ekonomickosť tavenia. Charakter ohrevu neobmedzuje použitie určitého druhu pecí len na tavenie jedného druhu materiálu. Na tavenie liatin možno použiť pece kuplové, indukčné aj oblúkové, na tavenie ocelí pece indukčné a oblúkové.

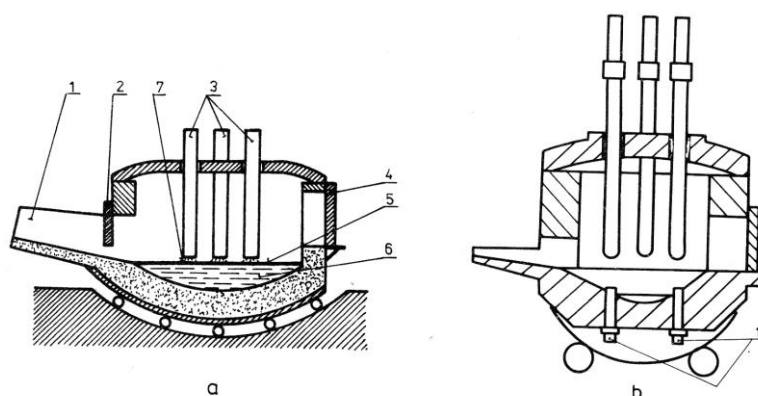
Zliatiny neželezných kovov sa tavia prevažne v peciach indukčných (zliatiny medi a i.) a v peciach indukčných a odporových (tavenie zliatin hliníka a i.).

Elektrické pece

Z elektrických pecí sú najznámejšie pece *oblúkové, indukčné a odporové.*

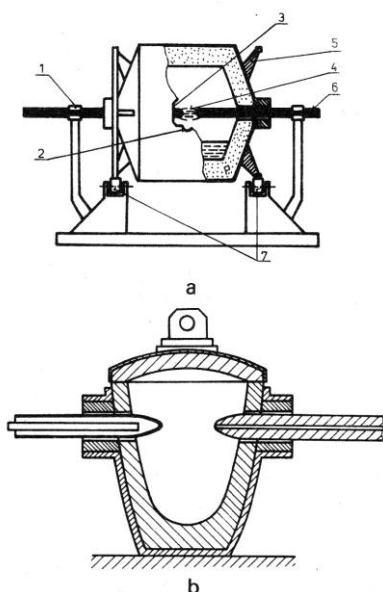
Elektrické oblúkové pece

Podľa spôsobu ohrevu vsádzaného materiálu ich môžeme deliť na pece s priamym pôsobením oblúka a pece s nepriamym pôsobením oblúka. Pri peciach s nepriamo pôsobiacim oblúkom (obr.2.15), horí elektrický oblúk medzi elektródami nad vsádzkou (kúpeľom). Používajú sa len pre malé množstvá natavovaného kovu (laboratórne pece, pece pre sklopné liatie). Pri peciach s priamym pôsobením oblúka (obr.2.16) horí oblúk medzi elektródami cez vsádzku (kúpeľ) a odovzdáva viac tepla ako pri peciach s nepriamo pôsobiacim oblúkom. Elektrický prúd prechádza elektródou a oblúkom cez trosku a vsádzku (kúpeľ) späť cez trosku do druhej elektródy. Najpoužívanejšie sú Heroultove pece s troma elektródami na trojfázový prúd. Elektrické oblúkové pece sa bežne vyrábajú pre množstvá nataveného kovu do 30 t. Používajú sa najmä na tavenie nelegovaných a legovaných ocelí a na výrobu tvárných a vysokoakostných liatin.



Obr. 2.16 Elektrické oblúkové pece Heroultovho typu
a - s nevodivou nistejou, 1 - lejací žľab, 2 - priehradka, 3 - uhlíkové elektródy, 4 - dvere, 5 - vrstva trosky, 6 - kovový kúpeľ, 7 - elektrický oblúk, *b* - s vodivou nistejou, 1 - vodivé elektródy

Obr. 2.15 Elektrická oblúková pec s nepriamym ohrevom; *a* - kolísková, 1 - držiak elektródy, 2 - lejací žľab, 3 - vsádzkový otvor, 4 - elektrický oblúk, 5 - držiak pece, 6 - uhlíková elektróda, 7 - otočné kladky, *b* - Wiliama Siemens



Elektrické indukčné pece

Pri elektrických indukčných peciach sa využíva alebo Jouleovo teplo v sekundáre transformátora spojenom nakrátko (indukčné pece kanálikové so železným jadrom) alebo vírivé prúdy vo vodivej vsádzke (indukčné pece téglikové). Prednosťou indukčných pecí je možnosť nataviť veľmi čistý materiál pri minimálnych stratách oxidáciou (prepalom), intenzívne miešanie nataveného materiálu, veľká rýchlosť tavenia, jednoduchá obsluha a regulácia, možnosť taviť vo vákuu alebo v špeciálnych atmosférach. Hlavnou nevýhodou indukčných pecí je len obmedzená možnosť ovplyvňovať akosť nataveného materiálu metalurgickými procesmi v tom zmysle, ako pri elektrickej oblúkovej peci. Príčinou je predovšetkým nízka teplota trosky.

Indukčné pece sa podľa použitej frekvencie delia na pece:

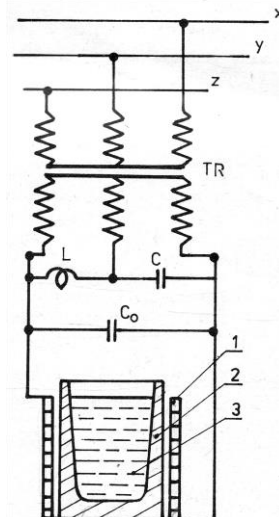
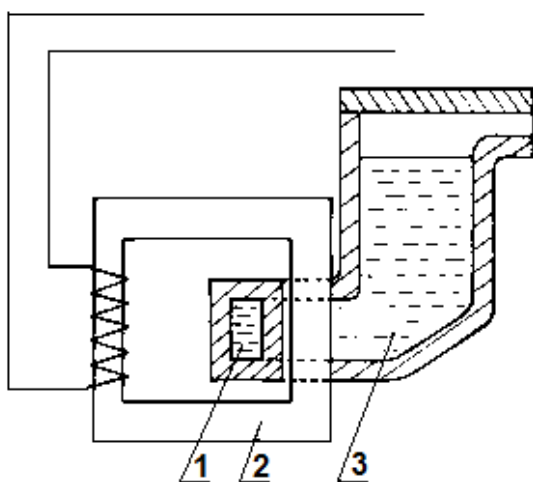
- so sieťovou frekvenciou (nizkofrekvenčné),
- so strednou frekvenciou - 500 až 20 000 Hz (stredofrekvenčné),
- s vysokou frekvenciou - (vysokofrekvenčné).

Podľa konštrukcie môžeme indukčné pece rozdeliť na:

- kanálikové, žliabkové (pracujú len so sieťovou frekvenciou),
- téglikové (pracujú so sieťovou, strednou aj vysokou frekvenciou).

Kanálikové indukčné pece

V podstate je to transformátor so železným jadrom a jedným sekundárnym závitom tvoreným taveným materiálom spojeným nakrátko (obr.2.17). Nevýhodou kanálikových pecí je, že pre začiatok tavenia je potrebné ponechať v peci určité množstvo nataveného materiálu z predchádzajúcej tavby alebo vkladať kovový prstenec ako závit spojený nakrátko. Kanálikové indukčné pece sa používajú predovšetkým na tavenie neželezných kovov s hmotnosťou vsádzky až do 12 t a na tavenie liatin.



Obr. 2.18 Schéma indukčnej téglikovej pece
1 - výmurovka, 2 - cievka, 3 - kúpeľ taveného kovu

Téglikové indukčné pece

Prednosťou téglikových indukčných pecí je možnosť taviť vsádzku bez ponechania zvyšku taveniny z predchádzajúceho tavenia v peci, taviť kusovú vsádzku aj odpad vzniknutý pri mechanickom opracovaní a tvárnení. Pec sa skladá z indukčnej cievky vnútri ktorej je zhotovený téglik zo žiaruvzdornej hmoty s kovovou vsádzkou (obr.2.18). Cievka je zhotovená z medenej profilovanej rúrky, ktorou preteká chladiaca voda. Téglikové indukčné pece sa používajú na tavenie zliatin železa oceli aj liatin a neželezných kovov ako samostatné taviace jednotky, ale aj v duplexe s iným taviacim agregátom (napr. kuplová pec - indukčná pec).

Elektrické odporové pece

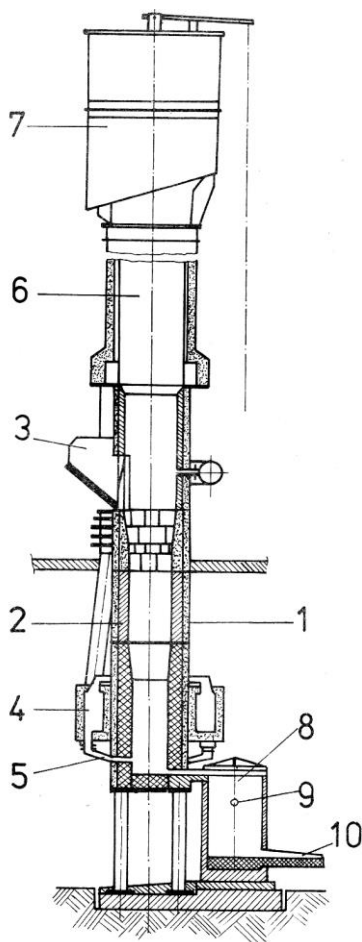
Výhodou elektrických, odporových pecí je pokojný ohrev, možnosť získať vysoké teploty a taviť v rôznych atmosférach a vo vákuu. Nevýhodou sú veľké straty pri ohreve, malá ekonomickosť. Elektrické odporové pece sa používajú na tavenie zliatin s bodom tavenia 180 až 900°C. Liaty alebo lisovaný žiaruvzdorný téglik je obklopený tepelnou izoláciou a vonkajším plechovým obalom. Odporové články sú v blízkosti téglika v keramických vložkách. Sú zo zliatin Cr-Ni a Ni-Cr-Fe do 1000°C; Cr-Fe-Al do 1350°C a silíciu a silíciumkarbidu do 1450°C.

Kuplové pece

Z uvedených taviacich agregátov sú kuplové pece jedinými taviacimi pecami, ktoré umožňujú taviť len jeden druh zlietvárenských zliatin - liatiny. Kuplová pec je valcovitá šachtová pec, ktorá má v hornej časti vsádzací a v spodnej časti výpustný (odpichový) otvor. Liatina sa zhromažďuje pred odpichom v dolnej časti pece v nisteji alebo v predpeči.

Podľa toho rozoznávame:

- *kuplové pece bez predpečia,*



- *kuplovej pece s predpecím.* Základnou časťou kuplovej pece (obr.2.19) je oceľový plášť pece. Vnútrná časť pece je vymurovaná žiaruvzdornou vymurovkou (šamotom). Plášť pece je uložený na základovej doske a stĺpoch. V základovej doske sú dvierka pre vysýpanie zvyšku tuhých látok, predovšetkým zvyškov paliva z pece po skončení tavenia. Zdrojom tepla pri tavení vsádzkových surovín je koks. Vzduch potrebný na spaľovanie sa dodáva okružným vetrovodom a dúchacími hubicami.

Vsádzka sa do pece dáva vsádzacím otvorom pomocou špeciálnych vsádzacích okovov.

Na roztavenej liatine zhromaždenej v nisteji pláva troska. Po natavení dostatočného množstva liatiny sa v kuplovej peči bez predpecia troska vylieva odpichovým otvorom pre trosku a tečie žľabom do troskovej panvy resp. granulátora trosky. Liatina vyteká odpichovým otvorom a lejacím žlabom do panvy alebo predpecia. Plyný vzniknuté po spálení odchádzajú komínom ukončeným lapačom iskier. Predpecie kuplových pecí môže byť stabilné pre jednu pec, alebo mobilné pre niekoľko pecí. Slúži na nahromadenie liatiny, vyrovnanie chemického zloženia, prípadne ak je predpecie vyhrievané, aj na mimopecnú úpravu liatiny a na úpravu teploty liatiny.

Obr. 2.19 Schéma studeno-vzdušnej kuplovej pece

1-plášť pece, 2-vymurovka, 3-vsádzací otvor, 4-okružný rozvod vetra, 5-výfučne, 6-komín, 7-lapač iskier, 8-predpecie, 9-odpichový otvor pre trosku, 10-odpichový otvor a žľab pre liatinu

Tavenie oceli

Na tavenie ocele sa používajú pece s otvorenou atmosférou, ochrannou atmosférou alebo vákuové. Podľa zdroja tepla sa používajú elektrické oblúkové, indukčné, téglkové alebo plazmové pece. Pre špeciálne účely sa používajú elektrónové pece. Na tavenie ocele na odliatky sa používajú najmä elektrické oblúkové pece a elektrické indukčné pece. V hutníckych zlievárňach sa používajú najmä martinské pece alebo konvertory v kombinácii s kuplovňou. Podľa spôsobu vedenia tavby a charakteru vymurovky je možné tavenie v elektrickej oblúkovej peči rozdeliť na tavenie v zásaditej peči a kyslej peči. Elektrické oblúkové so zásaditou vymurovkou patria k najvýhodnejším taviacim agregátom na výrobu akostných ocelí na odliatky. Pri správne volenej technológii tavenia môžeme nataviť oceľ predpísaného chemického zloženia a akosti. Hlavnou výhodou tavenia v zásaditej peči je možnosť hlbokého zníženia fosforu, síry a vtrúsenín.

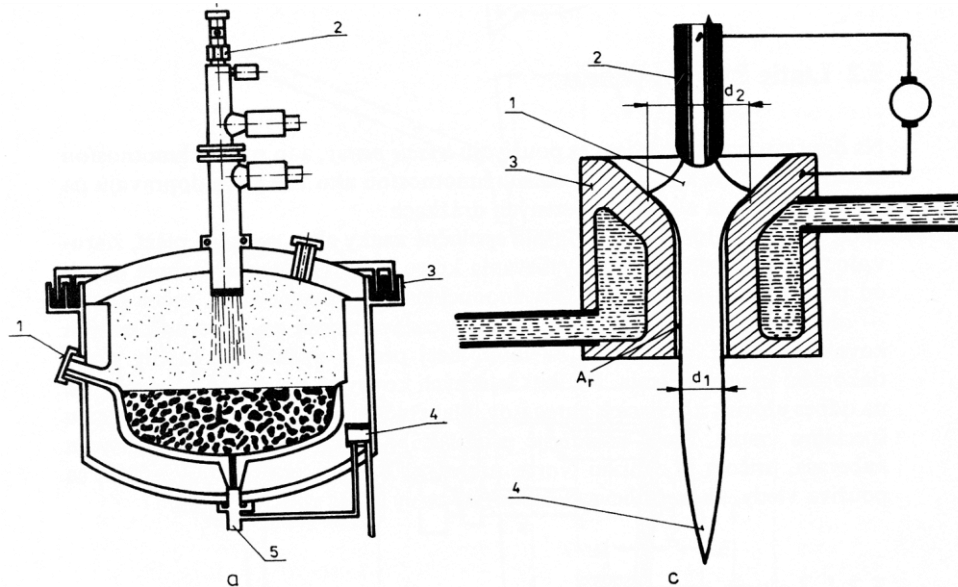
Ako suroviny na tavenie sa používajú:

- *oceľový odpad* - triedený podľa chemického zloženia,
- *oceliarenské surové železo* - chemické zloženie zaručené výrobcom,
- *troskotvorné prísady* - majú zásaditý charakter,

- *dezoxidovadlá* - používajú sa na zníženie obsahu FeO, majú vyššiu zlučivosť s kyslíkom ako železo,
- *legúry* - používajú sa na úpravu chemického zloženia,
- *nauhličovadlá* - upravujú obsah.

Tavenie liatin

Na tavenie liatin sa najčastejšie používajú kuplové pece, potom pece indukčné kanálikové a téglikové so sieťovou frekvenciou aj strednofrekvenčné. Nové akostné liatiny vyžadujú akostný natavený kov vysokej teploty s nízkym obsahom nečistôt, najmä síry. Preto pri tavení akostných liatin sa využívajú elektrické pece a to oblúčkové resp. kuplové pece v duplexe s elektrickými pecami.



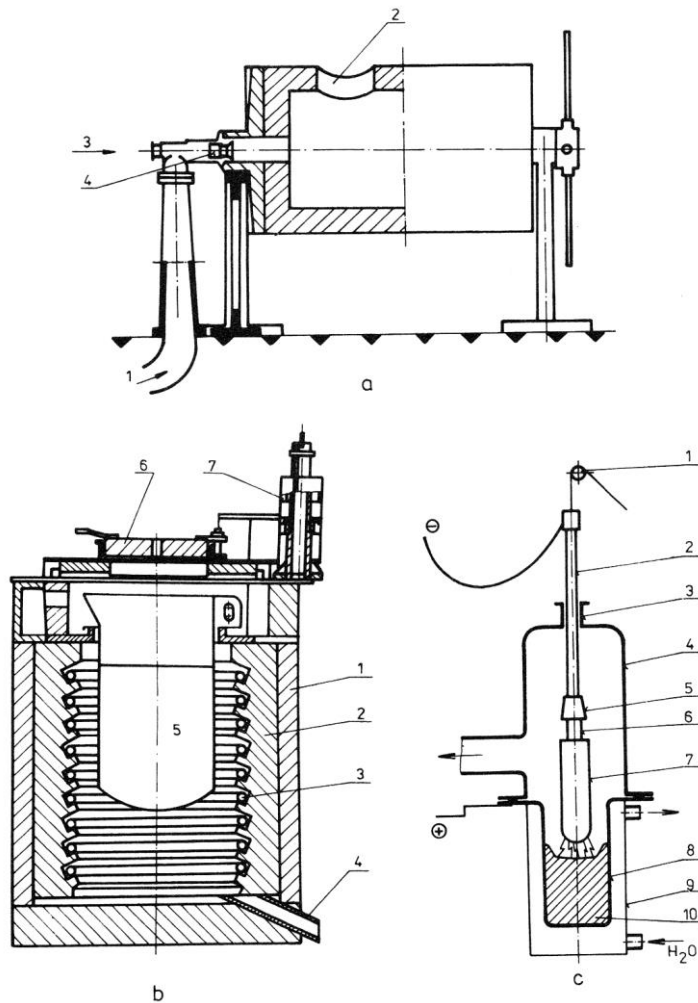
Obr. 2.20 Plazmová pec

- a - pec s keramikovou vymurovkou, 1 - výpustný otvor, 2 - plazmový horák, 3 - upchávkový uzáver, 4 - indukčná cievka na miešanie taveniny, 5 - spodná elektróda, c - princíp plazmového horáka, 1 - elektrický oblúk, 2 - volfrámová katóda, 3 - medená anóda, prehriaty plyn, 4 - štíhly kužeľ prehriateho plynu

Tavenie zliatin neželezných kovov

Roztavené zliatiny je potrebné chrániť pred naplynením, prípadne plyny rozpustené v roztavenom kove odstrániť alebo viazať. V atmosfére taviacej pece sa môžu vyskytovať tieto plynné zložky O₂, H₂, N₂, H₂O, SO₂, CO₂, a i. Pri tavení zliatin neželezných kovov sa preto používajú látky krycie, rafinačné (čistiace) a látky, ktoré ovplyvňujú kryštalizáciu (modifikácia a očkovanie).

Na tavenie neželezných kovov sa najčastejšie používajú plazmová pec, taviaca bubnová, elektrická odporová a elektrická oblúčková, ktorých schémy sú na obr.2.20, 2.21.



Obr. 2.21 Pece na tavenie neželezných kovov

- a - taviaca bubnová pec na tekuté palivo, b - elektrická odporová pec na tavenie horčíka,
 1 - plášť, 2- žiaruvzdorná vymurovka, 3- odporový ohrev, 4 - rúra na vypustenie kovu z pece pri
 havárii, 5 - téglik, 6 - veko, 7 - zdvíhací a otáčací mechanizmus,
 c - schéma elektrickej oblúkovej vákuovej pece na tavenie titánu,
 1 - podávací mechanizmus elektródy, 2- prívod elektrického prúdu, 3- vákuová prechodka,
 4 - recipient, 5 - držiak elektródy, 6 - čap, 7 - elektróda, 8 - kokila, 9 - chladiaci plášť, 10 - ingot

2.3 VÝROBA FORIEM A JADIER

2.3.1 Charakteristika zlievarenských foriem

Na výrobu odliatkov je potrebné pripraviť zlievarenskú formu a zodpovedajúci počet jadier. Forma je v podstate nástroj vyrobený z formovacej zmesi alebo kovu, ktorého dutina svojim tvarom zodpovedá tvaru budúceho odliatku. V tejto dutine tuhne vliaty kov a vytvára odliatok. Súčasťou formy je aj vtoková sústava, náliatky a výfuky potrebné na získanie

kvalitného odliatku. Jadrá zabezpečujú vytvorenie potrebných dutín a otvorov v odliatku alebo uľahčujú formovanie a skladanie formy.

Zlievarenské formy delíme podľa životnosti do troch kategórií: jednorazové formy, polotrvalé a trvalé formy.

Trvalá forma slúži na opakované odlievanie. Vyrába sa z kovu prevažne mechanickým opracovaním a vzhľadom na jej vysokú cenu sa používa vo veľkosériovej a hromadnej výrobe. Polotrvalé formy slúžia na odlievanie až niekoľkých desiatok odliatkov. Vyrábajú sa podobným spôsobom ako jednorazové formy.

Prevažná väčšina foriem a jadier sa použije len na jedno odliatie - hovoríme o netrvalých, resp. jednorazových formách a jadrách. Jednorazové formy a jadrá sa vyrábajú pomocou modelového zariadenia z formovacích zmesí - formovaním. Jednorazové formy a jadrá sa môžu vyrábať ručne alebo strojovo.

Vzhľadom na nízku produktivitu a namáhavú fyzickú prácu sa ručné formovanie v súčasnosti používa už len v obmedzenej miere. Naopak, strojové formovanie sa vyznačuje vysokou produktivitou, vyššou presnosťou a nevyžaduje vysokokvalifikované pracovné sily. Najproduktívnejšie sú automatické formovacie linky, pri ktorých je celý proces výroby odliatkov mechanizovaný a automatizovaný a to nielen samotná operácia výroby formy, ako je to u samostatných formovacích strojov.

Jednotlivé technológie výroby foriem a jadier delíme na štyri generácie a to podľa spôsobu získania pevnosti formovacej zmesi, tzn. podľa spôsobu vytvorenia väzby medzi jednotlivými zrnami ostriva. Metódy formovania jednotlivých generácií využívajú vlastnosti formovacích zmesí, ktoré sú špecifické pre danú generáciu, preto zároveň hovoríme o formovacích zmesiach I. generácie, formovacích zmesiach II., III. a IV. generácie.

Pri metódach formovania I. generácie sa výsledná pevnosť formy či jadra dosahuje mechanickým zhustením formovacej zmesi, buď ručne ubíjaním alebo strojovo. Pevnosť foriem je možné pri zmesiach I. generácie zvýšiť sušením, alebo prisúšaním. Forma pre odliatky z ocele sa suší pri teplotách okolo 600°C, pre odliatky zo sivej liatiny okolo 400°C. Sušením sa pevnosť formovacích zmesí s ílovými spojivami zvýši až desaťnásobne. Ekonomicky je však sušenie veľmi náročné, spotreba tepla je niekoľkonásobne vyššia než na tavenie kovu pre vlastný odliatok. Táto ekonomická náročnosť sušenia foriem a jadier viedla k vývoju metód formovania II. generácie.

Metódy formovania II. generácie sú charakterizované chemizáciou výroby foriem a jadier. Aj v tomto prípade sa formy a jadrá vo väčšine prípadov zhutňujú, avšak konečnú pevnosť (manipulačnú a technologickú) získajú až chemickou reakciou spôsobujúcou vytvrdenie spojiva. Nevýhodou zmesí II. generácie je skutočnosť, že formovacie zmes nemožno bez ďalších úprav použiť opätovne v procese výroby formy či jadra. Ťažkosti sú aj pri dodržiavaní neustále sa zvyšujúcich požiadaviek ekologických a hygienických predpisov.

Metódy formovania III. generácie, tj. fyzikálne metódy výroby foriem a jadier nepoužívajú spojivo, zrná ostriva sú držané v kompaktnom celku následkom fyzikálnych väzieb (magnetické pole, vákuum, nízka teplota). Zhutňovanie je v tomto prípade nahradené vibráciou. Snahou pri vývoji metód formovania III. generácie bolo odstrániť, resp. eliminovať problémy spojené s vytĺkaním odliatkov z formy (jadier z dutín odliatku) spôsobené malou rozpadavosťou zmesi. Po zrušení fyzikálnych väzieb medzi zrnami ostriva

sa forma okamžite rozpadá, čím odliatok nie je potrebné prácne vytĺkať a formovacia zmes je po ochladení okamžite použiteľná na výrobu ďalšej formy.

Podstata metód formovania IV. generácie je biologizácia výroby foriem a jadier. Tieto metódy sú zatiaľ v štádiu základného výskumu. Princíp týchto metód spočíva v tom, že biologická látka vo funkcii spojiva sa rýchlo rozmnoží a pospája všetky ostriva. Po stuhnutí odliatku sú mikroorganizmy usmrtené.

2.3.2 Modelové zariadenia

Modelové zariadenie je súprava špeciálneho náradia, pomocou ktorého sa vyrába zlievarenská forma. Komplexne pod pojmom modelové zariadenie rozumieme vlastný model odliatku, jadrovníky, model vtokovej sústavy a náliatkov, modelové dosky, podložky, šablóny, voľné a vymeniteľné časti modelov, skladacie prípravky, kontrolné meradlá, sušiacie podložky a prípadne ďalšie príslušenstvo.

Základným podkladom pre výrobu modelového zariadenia je zlievarenský postupový výkres a na jeho základe vypracovaný výrobný postup modelu. Samotné výkresy modelov sa zvyčajne nevyhotovujú.

Zhotovenie modelového zariadenia zodpovedajúcej akosti je práca náročná a vyžaduje kvalifikovaných pracovníkov. Vyrába sa v modelárni. Modelové zariadenie je veľmi drahou výrobnou pomôckou, ktorá tvorí významnú položku v kalkulácii ceny odliatku. Modelové zariadenie by preto malo zachovať svoje vlastnosti, predovšetkým rozmery, po celý čas potrebný na výrobu série určitého odliatku.

Akosť modelového zariadenia determinuje výslednú akosť odliatku - najmä jeho rozmerovú presnosť a kvalitu povrchu. Dôležitou vlastnosťou je životnosť modelového zariadenia, udávajúca maximálny počet zhotovených foriem pri zachovaní predpísanej akosti odliatkov. Životnosť modelového zariadenia závisí hlavne od použitého materiálu, konštrukcie modelu a od spôsobu formovania.

2.3.2.1 Materiály pre výrobu modelových zariadení

Materiál na výrobu modelového zariadenia sa volí na základe požadovanej triedy vyhotovenia a požadovaného stupňa presnosti modelového zariadenia. Trieda vyhotovenia znamená súhrn vlastností modelového zariadenia, ktoré sú rozhodujúce pre plnenie jeho funkcie. Stupeň presnosti modelového zariadenia závisí od požadovaného stupňa presnosti hrubého odliatku a ovplyvňuje veľkosť maximálnej povolenej odchýlky od menovitého rozmeru.

Tradičným materiálom na výrobu modelov je drevo vzhľadom na jeho prednosti - ľahká opracovateľnosť, cena, nízka hustota. Drevené modelové zariadenia sa používajú predovšetkým pri kusovej a malosériovej výrobe odliatkov. Z dreva je možné vyrobiť modely značných rozmerov. Nedostatkom dreva je jeho hygroskopickosť, čo má negatívny vplyv na rozmerovú a tvarovú stálosť modelu. Povrch modelu sa preto impregnuje vhodným náterom, ktorý zároveň spevňuje povrch, čím zvyšuje odolnosť povrchu proti opotrebovaniu oterom, zvyšuje hladkosť povrchu a chráni model alebo jadro pred účinkom prípadných agresívnych látok, nachádzajúcich sa vo formovacej zmesi. Okrem ochrannej funkcie majú

nátery aj funkciu informačnú. Farebný odtieň určuje pre aký materiál odliatku sa bude model používať. V modelovom zariadení sa nachádzajú rozličné kovové súčasti, ktoré plnia rôzne funkcie ako fixovanie správnej polohy jednotlivých častí modelového zariadenia, rozklepanie a vyberanie modelov z formy a pod.

Pri sériovej a hromadnej výrobe odliatkov sa formy vyrábajú na formovacích strojoch. Takáto výroba si už vyžaduje kovové modelové zariadenie. Prednosťou týchto modelov je ich dlhá životnosť, rozmerová stálosť a kvalita povrchu. Materiál kovových modelov sa volí predovšetkým s ohľadom na použitú technológiu výroby foriem. Napríklad pri lisovaní je najčastejšie nutné ako materiál modelu voliť oceľ, vzhľadom na vysoké namáhanie tlakom. Modely zo sivej liatiny sú odolné voči oteru a sú rozmerovo stále. Modely z hliníka sú menej odolné voči oteru a majú podstatne nižšiu životnosť. Mosadze majú dobrú odolnosť voči oteru, ale vzhľadom na cenu sa používajú pre menšie odliatky, pri väčších modeloch sa používajú len na presné časti.

Ďalšou možnosťou pri výrobe modelov je aplikácia plastov, čo môže viesť k zhospodárneniu výroby. Modely z plastov sa v mnohých prípadoch svojimi vlastnosťami vyrovnávajú kovovým modelom, navyše majú nižšiu mernú hmotnosť a zvyčajne sa dajú dobre mechanicky opracovať. K výrobe modelov sa najčastejšie používajú epoxidové živice, zvyčajne v kombinácii s plnivom vo forme práškov (napr. kremenná múčka). Modely sa vyrábajú odlievaním. Ďalšími používanými materiálmi sú polyuretán, PVC, polystyrol, silikónový kaučuk a pod.

2.3.2.2 Modelové zariadenie a jeho časti

Súčasťou modelového zariadenia sú okrem šablón, meradiel, prípravkov i formovacie rámy. Zhotovujú sa odlievaním zo zliatin hliníka a liatiny, montážou z oceľových častí a pod. Základnou funkciou formovacích rámov je chrániť formu pred poškodením pri jej výrobe, doprave a skladaní ako aj zaistiť presnú polohu jednotlivých častí formy a tým aj presnosť budúceho odliatku.

Zhotovujú sa odlievaním z liatiny, ocele, zliatin hliníka, prípadne zvaraním alebo montážou z oceľových častí. Rozmery rámov sú normalizované, ale pri veľkých odliatkoch sa niekedy z dôvodu úspory formovacej zmesi prispôsobujú tvaru odliatku.

Formovacie rámy delíme:

- a) podľa tvaru: obdĺžnikové, štvorcové, kruhové a geometricky prispôsobené odliatku,
- b) podľa konštrukcie: liate, montované a zvarané.

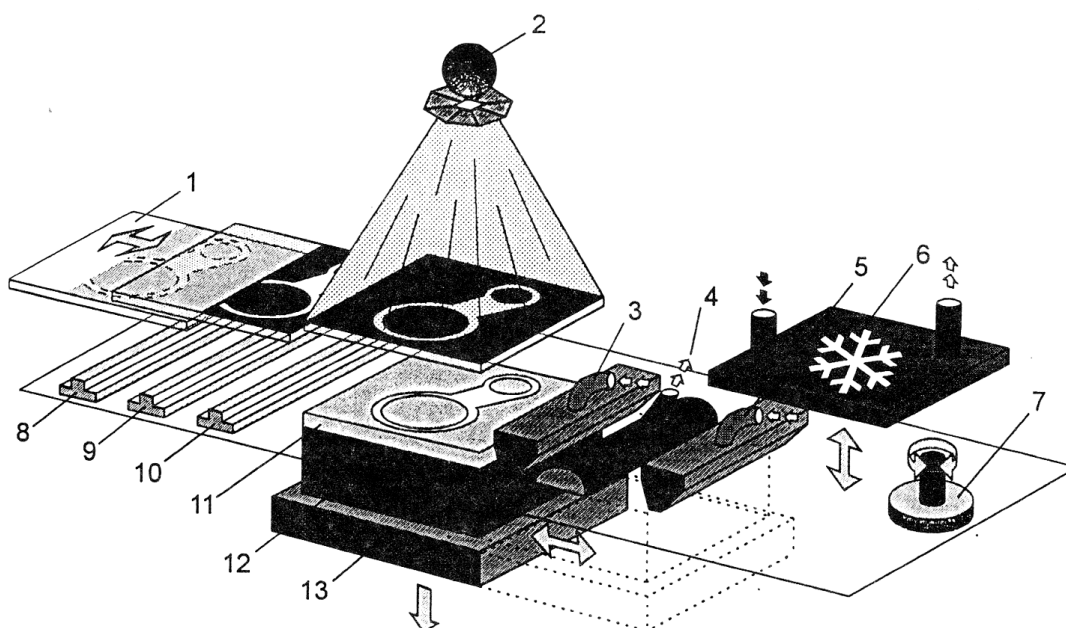
2.3.2.3 Metódy Rapid Prototypingu

Pri tvorbe modelov a prototypov je v súčasnosti využívaná progresívna metóda Rapid Prototypingu. Táto nielenže umožňuje urýchliť cestu od konštrukčného návrhu po prototypový odliatok, ale zároveň poskytuje priamo použiteľné modelové zariadenie pre kusovú a malosériovú výrobu.

Prvou z metód vytvárania priestorových modelov pomocou počítača bola stereolitografia, ktorej počiatky siahajú do osemdesiatych rokov. Najvýznamnejšou aplikačnou oblasťou stereolitografických postupov je výroba vytaviteľných modelov pre keramické škrupinové formy. Stereolitografické postupy dovoľujú vyrobiť modely pre

škrupinové keramické formy s presnosťou $\pm 0,05$ až $\pm 0,2$ mm podľa geometrie a hmotnosti odliatku, čo možno pokladať pre väčšinu aplikácií za úplne uspokojivú presnosť.

Využitie stereolitografie bolo aplikované pri technológii SOLIDER systém, znázornený na obr.2.22, ktorý podobne ako stereolitografia pracuje s fotopolymérom vytvrditeľným UV žiarením, ale samotný proces je diametrálne odlišný. Možno ho zaradiť medzi druhú generáciu technológií výroby presných trvalých modelov označovanú ako „solid ground curing“.



Obr. 2.22 Technologický postup SOLIDER

- 1 - maska, 2 - UV lampa, 3 - nanášač polyméru, 4 - odstraňovanie prebytočného polyméru,
 5 - nanášač vosku, 6 - platňa ochladzujúca vosk, 7 - frézovacia hlava,
 8 - elektrické nabíjanie, 9 - tvorba masky, 10 - mazanie masky, 11 - tekutý polymér
 (vytváraná vrstva), 12 - vosk, 13 - pracovná podložka

Charakteristickým znakom tejto technológie je, že výroba modelov sa uskutočňuje v pevnom prostredí, čím sa eliminuje možnosť ich skrivenia či zdeformovania, geometrický tvar môže byť vytváraný s ľubovoľnou orientáciou v priestore, nie sú potrebné pomocné opory pre prečnievajúce časti, proces výroby modelu môže byť prerušený a chybné vrstvy odstránené a súčasne odpadáva finálne vytvrdzovanie hotového modelu.

Pracovná podložka (13) sa pri technológii SOLIDER pohybuje nielen v smere vertikálnom vymedzujúcom hrúbku vrstvy, ale aj horizontálnom, pri ktorom sa pracovná podložka dostáva do iných pozícií zariadenia, kde prebiehajú ďalšie pracovné operácie. Zdrojom žiarenia je UV lampa (2), ktorá osvetlí tenkú vrstvu fotocitlivého polyméru (11) rovnomerne naneseného v požadovanej hrúbke na pracovnom povrchu. Osvetlením fotopolymér okamžite polymerizuje a úplne vytvrdne. Na ohraničenie plochy profilu v príslušnej vrstve, ktorá má byť vytvrdená pôsobením UV žiarenia, sa používa tzv. maska (14). Maska sa vytvára na sklenej platni elektrostatickým postupom (9) podobným, ako sa využíva pri laserových tlačiarňach. Sklenená platňa s maskou je umiestnená medzi lampou a povrchom pracovnej vrstvy a po použití sa dá zmazať (10). Tekutý polymér, ktorý nebol vystavený pôsobeniu UV žiarenia, sa odstráni (4) a celá plocha vrstvy sa prekryje tekutým

voskom (5), ktorý zaplní dutiny predtým vyplňané zvyšným tekutým polymérom. Pôsobením chladiacej kovovej platne (6) vosk stuhne, čím vznikne vrstva tvorená voskom a vytvrdeným polymérom. Posledným krokom v tejto fáze je ofrézovanie (7) vrstvy na požadovanú hrúbku. Po návrate podložky (13) do pracovnej komory sa aplikuje nová vrstva tekutého polyméru. Celý proces sa opakuje aj v nasledujúcich vrstvách, pričom každá vrstva sa dokonale spája s predchádzajúcou, až kým nie je model dokončený.

Vývoj metód Rapid Prototypingu sa samozrejme orientoval aj na postupy, ktoré by zaistili výrobu modelov s podstatne lepšími mechanickými vlastnosťami. Tieto požiadavky spĺňajú technológie označované SLS (Selective Laser Sintering) a sú určené na tvorbu trojrozmerných objektov z plastových, kovových alebo keramických práškov, ktoré sú sintrované (spekané) selektívnym natavovaním energiou lúča CO₂ lasera, ktorého pohyb je riadený počítačom. Táto technológia môže byť úspešne použitá v oblasti výroby jadier a škrupinových foriem, ak sa použije kremičitý alebo zirkónový zlievarenský piesok obalený fenolom. Jadrá a formy je možné využiť na výrobu prototypov pre automobilový a letecký priemysel, alebo s ohľadom na cenové relácie aj na výrobu odliatkov, ktoré by z tvarových dôvodov nebolo možné vyrobiť inými klasickými technológiami. Modely sú vhodné pre tvarovo zvlášť náročných presných odliatkov.

2.3.3 Zlievarenské formovacie látky

Pod pojmom *zlievarenské formovacie látky* sa súhrnne rozumejú suroviny, z ktorých sa pripravujú *formovacie zmesi* pre výrobu jednorazových a polotrvalých zlievarenských foriem a jadier. Formovacie látky musia odolávať pôsobeniu tepla, plynov, síl a ďalších vplyvov, ktoré na ne pôsobia v priebehu plnenia dutiny formy tekutým kovom, ako aj pri tuhnutí a ochladzovaní odliatku vo forme.

Podľa pôvodu sa formovacie látky rozdeľujú na prírodné a umelé (priemyselne vyrobené). Najstaršou formovacou zmesou, ktorá sa na výrobu zlievarenských foriem používala, a stále sa používa, sú *prírodné piesky*. Používajú sa piesky z vhodných nálezísk po preosiatí, homogenizácii a úprave vlhkosti. Nevýhodou je, že formy vyrobené z prírodných pieskov sa musia sušiť, čo predstavuje zvýšenie nákladov na ich výrobu. Sušenie nie je nevyhnutné v prípade formovacích zmesí pripravených z jednotlivých formovacích látok. Takto pripravené formovacie zmesi nazývame *syntetické zmesi*.

Základné komponenty formovacej zmesi sú *ostrivo* a *spojivo*. Formovacia zmes obsahuje aj vodu a látky zlepšujúce vlastnosti zmesi, ktoré sa nazývajú *prísady* (pomocné formovacie látky). Ostrivo je žiaruvzdorný zrnitý materiál, ktorý vytvára materiálový skelet foriem. Suché ostrivo je sypké, nemá nijakú väznosť. Táto vzniká až po pridaní spojiva, ktoré vytvorí obal na povrchu zrna ostriva v priebehu prípravy formovacej zmesi. Spojivový obal tak vytvára silovú väzbu medzi zrnami ostriva - určuje vzájomnú súdržnosť jednotlivých zrn ostriva.

Najrozšírenejším zlievarenským spojivom sú stále íly. Formovacie zmesi na báze ílovitých spojív tvoria kategóriu formovacích zmesí I. generácie. Pevnosť foriem a jadier sa dosahuje mechanickým zhustením formovacej zmesi. Do kategórie formovacích zmesí II. generácie patria formovacie zmesi, pri ktorých požadované pevnostné vlastnosti sa dosahujú

chemickými zmenami spojiva pri vytvrdzovaní foriem a jadier. Pre formovacie zmesi III. generácie je charakteristické, že neobsahujú spojivo.

2.3.3.1 Ostrivá formovacích a jadrových zmesí

Ostrivo je zrnitý žiaruvzdorný materiál s veľkosťou častíc nad 0,02mm, ktorý vytvára materiálový skelet foriem a jadier. Tvorí podstatnú časť objemového a hmotnostného zastúpenia vo formovacej zmesi (86 až 96 %).

Častice, ktoré sa nachádzajú v ostrive a sú $\leq 0,02$ mm bez ohľadu na ich mineralogické a chemické zloženie, sa nazývajú *vyplaviteľné látky*.

Technologické vlastnosti ostriva determinujú jeho tepelné a chemické vlastnosti (žiaruvzdornosť, tepelná rozťažnosť, chemický charakter), charakter zŕn (granulometria, hranatosť, aktivita povrchu) ako aj množstvo vyplaviteľných látok a škodlivín.

Ostrivá formovacích zmesí rozdeľujeme podľa chemického charakteru na:

- kyslé ostrivá (kremenné piesky),
- neutrálne ostrivá (šamot, chromit, korund),
- zásadité ostrivá (magnezit, chrómmagnezit).

Podľa pôvodu rozdeľujeme ostrivá formovacích zmesí na:

- prírodné ostrivá (kremenné piesky, olivínové piesky, zirkónové piesky),
- umelé ostrivá (šamot, magnezit, chrómmagnezit, korund).

Kremenný piesok - je to najrozšírenejší minerál vyskytujúci sa v prírode. Hlavným minerálom kremenných pieskov je kremeň. Teplota tavenia kremenného piesku je 1700°C. Zrná kremenného piesku sú ostrohranné. Kremenné piesky sa pre zlievarenské účely upravujú praním, odkal'ovaním, preosievaním a sušením. Nevýhodou kremenného ostrivá je jeho tepelná rozťažnosť. Pri ohreve prebiehajú polymorfne premeny, ktoré sa prejavujú objemovými zmenami a z toho vyplývajúcimi poruchami formy a vznikom zlievarenských chýb, ako sú zálupy a výronky.

Šamot - vzniká pálením žiaruvzdorných ílov alebo lupkov. Chemické zloženie a vlastnosti šamotu sa menia v závislosti od pomeru SiO_2 a Al_2O_3 . So zvyšovaním množstva oxidu hlinitého v šamote sa zvyšuje jeho žiaruvzdornosť. Korund - čistý Al_2O_3 má žiaruvzdornosť asi 2050°C. Ako ostrivo sa používa drvina z vypáleného šamotu. Výhodou šamotu je malá a rovnomerná rozťažnosť, ktorá znižuje zlievarenské chyby odliatkov spôsobené zálupmi.

Magnezit - sa vyrába pálením surového magnezitu - horniny MgCO_3 . Čistý MgO má žiaruvzdornosť 2800°C. Magnezitové výrobky majú žiaruvzdornosť nad 2000°C a sú veľmi odolné voči pôsobeniu zásaditých trosiek. Používa sa na výrobu ťažkých odliatkov z mangánových ocelí obsahujúcich vysoký podiel MnO , ktorý môže chemicky reagovať s ostrivom kyslého charakteru. Jemne mletý magnezit sa používa ako plnivo pre nátery zlievarenských foriem.

Chrómmagnezit - vyrába sa spekaním magnezitu s chrómovou rudou. Používa sa pri odlievaní hrubostenných a ťažkých ocel'ových odliatkov. V zlievaňach sa používa iba drvina z chrómmagnezitových tehál a tvaroviek.

Nekremenné piesky

Chromitový piesok - má žiaruvzdornosť do 1 600°C. Výhodami chromitového ostriva je nízka tepelná rozťažnosť, vysoká tepelná vodivosť, dobrá tepelná stálosť a nezmáčanlivosť. Preto má uplatnenie pri výrobe odliatkov z uhlíkových a vysokolegovaných ocelí. K nevýhodám chromitového ostriva patria chyby povrchu odliatkov, vznikajúce reakciou zrn chromitu so železom - chromitová glazúra.

Zirkónové piesky - hlavným minerálom je $ZrSiO_4$, alebo ZrO_2 . Používajú sa predovšetkým na prípravu modelových zmesí pre výrobu tepelne namáhaných foriem a na výrobu jadier.

Olivínové piesky - sú pomerne rozšíreným nekremenným ostrivom v zahraničí. Sú žiaruvzdornejšie ako kremenné piesky, sú menej zlučiteľné s oxidmi kovov a vyznačujú sa dobrou stálosťou v obehu. Zrná piesku sú okrúhle s nerovným povrchom. Odliatky z nich majú čistý povrch.

2.3.3.2 Spojivá formovacích a jadrových zmesí

Spojivá obalujú povrch zrn ostriva tenkou vrstvou, čím tieto zrná spájajú do kompaktného celku - vytvárajú silovú väzbu medzi zrnami ostriva. Vlastnosti spojiva tak determinujú výsledné pevnostné charakteristiky foriem a jadier. Podiel množstva spojiva v objeme formovacej alebo jadrovej zmesi je zvyčajne 2 až 12 %.

Podľa spôsobu vyvolania spojivových vlastností rozdeľujeme spojivá na nasledovné kategórie:

- pridaním riedidla (íly),
- odparením riedidla (sulfitový výluh, dextrín, melasa),
- chemickými reakciami spojiva (oleje, živice, cement,...).

Základným rozdelením spojív je rozdelenie podľa pôvodu na anorganické a organické. Anorganické spojivá sú spojivá minerálneho pôvodu, ktoré dávajú formovacej zmesi väznosť už v surovom stave, alebo následkom chemických zmien pri vytvrdzovaní. Patria sem íly, vodné sklo, cement, sadra, estery kyseliny kremičitej a pod. Výhodou anorganických spojív je ich dostupnosť a cena.

Organické spojivá delíme na sacharidy, oleje a syntetické živice. Typickou vlastnosťou organických spojív je ich tepelná deštrukcia a vyhorevanie pri liatí, následkom čoho je dobrá rozpadavosť po odliatí, čo uľahčuje čistenie odliatkov. Používajú sa predovšetkým na výrobu jadier. Staršie druhy organických spojív, ako sú sacharidy, živočíšne a rastlinné oleje, sú dnes nahradzované syntetickými živcami.

Podľa vzťahu k vode delíme organické spojivá do dvoch skupín:

- **hydrofilné** - rozpustné vo vode a vodou zmáčateľné - patria sem sacharidy, sulfitové výluhy, fenolové živice, furánové živice a ďalšie.
- **hydrofóbné** - nerozpustné vo vode a vodou nezmáčateľné - patria k nim oleje, bitúmeny, kamennouhoľná smola, dechtové oleje a ďalšie.

Spojivá oboch skupín sa navzájom nemiešajú, pretože by sa tým znížili pevnostné vlastnosti zmesi v surovom aj vo vytvrdenom stave.

2.3.3.3 Prísady a pomocné formovacie látky

Formovacie zmesi môžu obsahovať ďalšie zložky - prísady, ktoré prispievajú k zlepšeniu špeciálnych vlastností zmesí, alebo ktoré bránia vzniku špecifických chýb odliatkov.

Pri vzájomnom pôsobení taveniny s formou môže vzniknúť na povrchu odliatku v dôsledku chemických a fyzikálnych procesov pevná nekovová vrstva - spečenina, ktorá potom spôsobuje dodatočné problémy pri čistení odliatku a zhoršuje jeho kvalitu. Najdôležitejšou prísadou do formovacích zmesí s bentonitom sú tzv. nosiči lesklého uhlíka, ktorí sú dôležití pri výrobe odliatkov z liatin. Zabraňujú pripekaniu formovacej zmesi, čím zlepšujú povrch odliatkov a okrem toho prispievajú k lepšiemu oddeľovaniu stuhnutého odliatku od formovacej zmesi. Sú to ľahko splyňujúce látky obsahujúce uhlík (čiernouhoľná múčka, oleje, polystyrén, bitumíny, živice a pod.)

Ďalšiu skupinu technologických prísad tvoria látky zlepšujúce rozpadavosť formy, znižujúce citlivosť na vodu a sklon k vysychaniu, napr. prísadou drevnej múčky, rašeliny, škrobu, dextrínu, kaolínu. Priedušnosť sa môže zlepšiť pilinami, drevnou múčkou alebo rozomletým koksom. Grafit a škrob zlepšujú technologické vlastnosti ako tekutosť, vyberanie modelu, zlepšujú pevnosť hrán a schopnosť presne kopírovať tvary.

K pomocným formovacím látkam patria látky na povrchovú ochranu foriem a jadier, deliace prostriedky uľahčujúce oddeľovanie modelového zariadenia a časti formy, látky zvyšujúce poddajnosť jadier (vyplňujúce vnútorné dutiny veľkých jadier), tepelnoizolačné keramické materiály, špeciálne exotermické zmesi, ktoré pri ohrievaní uvoľňujú teplo a používajú sa ako obklady exotermických náliatkov atď.

2.3.3.4 Vlastnosti formovacích a jadrových zmesí

Na vlastnosti formovacích zmesí sa kladú vysoké nároky. Akosť formovacej zmesi určuje komplex jej fyzikálnych, chemických a technologických charakteristík. Základnou požiadavkou na formovacie zmesi je žiaruvzdornosť, tj. schopnosť nemäknúť a zachovať tvar za pôsobenia vysokých teplôt. Z fyzikálnych vlastností sú ďalej rozhodujúce vlastnosti tepelné, predovšetkým tepelná vodivosť a tepelná rozťažnosť. Tepelná vodivosť ovplyvňuje odvod tepla formou, a tým aj priebeh kryštalizácie. Od tepelnej rozťažnosti závisia rozmerové zmeny formy a prípadné následné poruchy formy. Z chemických vlastností je to predovšetkým nízka reaktivnosť s odlievaným materiálom. Odlievaný materiál viac alebo menej reaguje s formovacou zmesou. Produkty reakcie s nízkou teplotou tavenia prenikajú medzi zrná formovacej zmesi a znižujú akosť povrchu odliatku.

Technologické vlastnosti

Sú to vlastnosti, ktoré sa uplatňujú v procese výroby odliatku. Výrobný proces odliatku z hľadiska formovacej zmesi pozostáva z niekoľkých etáp: úprava formovacej zmesi, výroba foriem vrátane manipulácie s nimi, odlievanie foriem, uvoľňovanie odliatkov z foriem a regenerácia formovacej zmesi. V každom kroku technologického procesu výroby odliatku sú na formovacie zmesi kladené odlišné požiadavky.

Technologicky dôležitými vlastnosťami upravenej formovacej zmesi je homogenita a životnosť zmesi.

Homogenita zmesi charakterizuje rovnorodosť jednotlivých technologických vlastností pripravenej formovacej zmesi v celom jej objeme. Závisí predovšetkým od rovnomernosti rozdelenia častí spojiva v celom objeme zmesi.

Životnosť zmesi udáva dobu použiteľnosti formovacej zmesi po jej príprave bez straty technologických vlastností.

Technologické vlastnosti formovacej zmesi súvisiace so samotným formovaním sa týkajú troch krokov pri výrobe formy: naplnenie formovacej zmesi do formovacieho rámu, resp. formovacej komory, zhutňovania a oddelenia zhutnenej formy od modelu.

Sypkosť je charakterizovaná sypnou mernou hmotnosťou.

Tekutosť formovacej zmesi je definovaná ako schopnosť pohybu zmesi v smere kolmom na smer pôsobiacej sily pri zhutňovaní. Tekutosť charakterizuje schopnosť formovacej zmesi vyplňať dutiny formy v iných smeroch ako v smere ubíjania.

Ubíjateľnosť je schopnosť pohybu formovacej zmesi v smere pôsobiacej vonkajšej sily. Ide teda o schopnosť formovacej zmesi zmenšovať svoj objem účinkom vonkajších síl.

Formovateľnosť je vlastnosť formovacej zmesi hodnotiaca schopnosť zmesi vyplňať v ráme priestor okolo modelu a zhutňovať sa v celom objeme. Táto vlastnosť teda komplexne zohľadňuje predošlé vlastnosti, tj. tekutosť aj ubíjateľnosť.

Lepivosť je mierou adhézie spojiva k povrchu modelov a jadrovníkov. S lepivosťou súvisí chovanie formovacej zmesi pri vyberaní modelu. Zhutnená zmes musí odolať statickému a dynamickému zaťaženiu vznikajúcemu pri oddeľovaní modelu od formy bez toho, aby došlo k porušeniu formy.

Chovanie zhutnenej formovacej zmesi po výrobe formy alebo jadra determinujú nasledovné technologické vlastnosti:

Väznosť je pevnosť formovacej zmesi za surova, tj. pred prípadným sušením alebo pred chemickým vytvrdzovaním spojiva. Väznosť formovacej zmesi je dôležitá pri manipulácii s formou alebo jadrom.

Oteruvzdornosť a drobitosť charakterizujú odolnosť povrchu foriem a jadier pri manipulácii s formou, zakladaní jadier, ale aj eróznou odolnosť pri plnení formy tekutým kovom.

Navlhavosť spôsobuje pohlcovanie vlhkosti zo vzduchu alebo susedných častí formy vplyvom hygroskopickosti zmesi. Navlhavosť zmesi pôsobí negatívne na skladovateľnosť vyrobených foriem a jadier.

Mechanická pevnosť formy a jadra určuje odolnosť voči dynamickému a statickému namáhaniu tekutým kovom pri plnení formy, ale aj pri kryštalizácii kovu. Je dôležité, aby pevnosť formy bola taká, aby sa zabránilo sekundárnemu zhutneniu zmesi, a tým aj zníženiu rozmerovej a tvarovej presnosti odliatku.

Priedušnosť je schopnosť zhutnenej formovacej zmesi prepúšťať plyny a pary, ktoré vznikajú pri liatí.

Rozpadavosť charakterizuje zvyšková pevnosť formovacej zmesi po odliatí.

Vytíkatelnosť je úmerná práci potrebnej na oddelenie stuhnutého odliatku od formy, odstránenie jadier a prilepenej formovacej zmesi. Zlá vytíkatelnosť zapríčiňuje výrazné zvýšenie nákladov na výrobu odliatku.

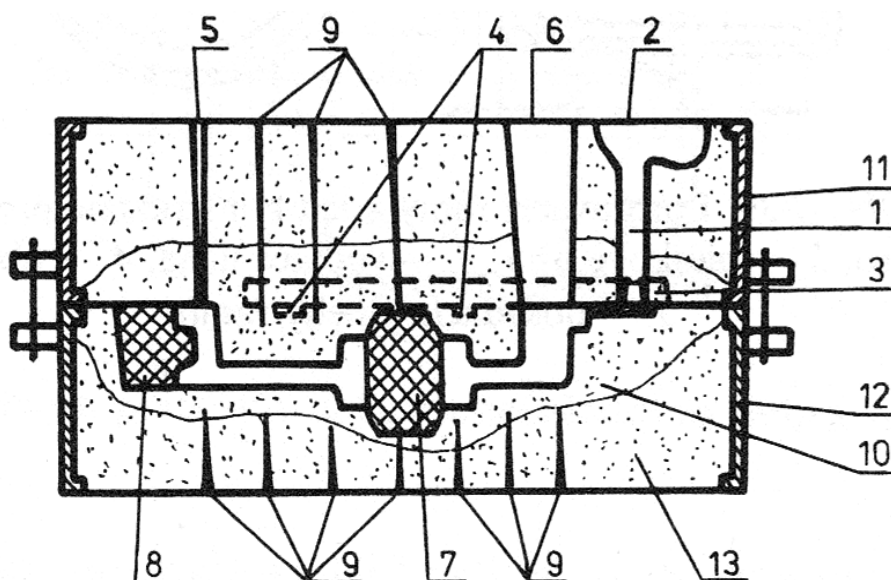
Regenerovateľnosť formovacích zmesí sa hodnotí podľa zložitosti recyklácie zmesi a na základe toho sa použité zmesi rozdeľujú do piatich skupín od najľahšej po najzložitejšiu recykláciu.

2.3.4 Technológia výroby foriem a jadier

Na zhotovenie odliatku je potrebné urobiť formu a zodpovedajúci počet jadier.

Forma je v podstate dutina vytvorená vo formovacej zmesi, zodpovedajúca svojím tvarom budúcemu odliatku. Tekutý kov vo forme tuhne a vytvára odliatok. Súčasťou formy je vtoková sústava, ktorá zabezpečuje zaplnenie dutiny formy tekutým kovom a prípadné dutiny pre náliatky a pre výfuky potrebné pre výrobu kvalitného odliatku.

Jadrá zabezpečujú vytvorenie potrebných dutín a otvorov v odliatku (tzv. jadrá pravé) alebo uľahčujúce formovanie tzv. jadrá nepravé).



Obr. 2.23 Netrvalá forma 1 - vtokový kanál, 2 - vtoková jamka, 3 - troskový kanál, 4 - zářezy, 5 - výfuk, 6 - náliatok, 7 - pravé jadro, 8 - nepravé jadro, 9 - prieduchy, 10 - modelová zmes, 11, 12 - formovacie rámy vrchnej a spodnej časti formy, 13 - výplňová zmes

alebo strojovo na formovacích strojoch za pomoci modelov a jadrovníkov. Odliatok ide na ďalšie spracovanie. Schematické znázornenie zloženej netrvalej formy je na obr.2.23.

Trvalé formy a niekedy aj jadrá sú vyrobené obvykle zo zliatin kovov. Formy sa používajú až na niekoľko tisíc odliatkov.

2.3.4.1 Spôsoby zhutňovania formovacích zmesí

Formovacia zmes sa pri výrobe formy zhutňuje, čím sa získa väznosť a pevnosť potrebná na odolávanie voči mechanickému a tepelnému namáhaniu, pri manipulácii, odlievaní, tuhnutí a chladnutí kovu (odliatku).

Pri výrobe foriem a jadier metódami I. generácie sa pripravená a nakyprená formovacia zmes zhutňuje použitím vonkajších síl. Pri výrobe foriem a jadier metódami II.

generácie sa formovacia zmes tiež zhustuje, ale podstatne menšou intenzitou, pričom výsledná pevnosť foriem a jadier sa dosahuje chemickými zmenami spojiva pri vytvrdzovaní. Pri metódach formovania III. generácie sa za účelom dokonalého vyplnenia formovacieho rámu ostrivom zvyčajne používa vibrácia.

Rozlišujeme nasledovné spôsoby zhustovania formovacej zmesi:

- a) **Ručné zhustovanie** – ubíjanie,
- b) **Strojové metódy zhustovania** - striasanie, lisovanie, metanie, zhustovanie stlačeným vzduchom, zhustovanie za pomoci podtlaku, impulzné zhustovanie, dynamické lisovanie, kombinované spôsoby zhustovania.

Rozdiely medzi týmito metódami sú v dosiahnuteľnom stupni zhustenia a v rovnomernosti zhustenia v celom objeme formy. Použitie konkrétneho spôsobu zhustovania závisí od druhu odliatku.

Ručné zhustovanie - ubíjanie

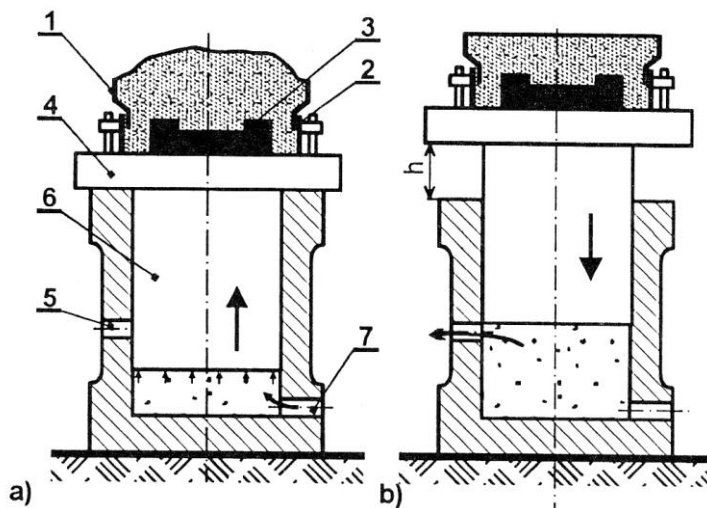
Na ubíjanie foriem sa používajú ručné alebo pneumatické ubíjačky. Ručná ubíjačka sa používa na ubíjanie formovacej zmesi pri okrajoch formovacieho rámu, v úzkych medzerách medzi modelmi a pri stenách vysokých modelov. Druhý koniec ručnej ubíjačky sa používa na ubíjanie plochých miest a vrchných vrstiev formovacej zmesi. Pneumatickými ubíjačkami sa ubíjajú formy veľkých rozmerov a dosahuje sa nimi podstatne vyššia produktivita práce.

Pri ubíjaní formovacej zmesi nastáva zhustenie len v okolí úderu ubíjačky. Preto sa jednotlivé úderý musia viesť postupne na všetky miesta formy. Stupeň zhustenia a tvrdosť formy sa reguluje hmotnosťou ubíjačky a mohutnosťou úderov.

Strojové metódy zhustovania

Zhustovanie striasaním

Princíp tejto metódy je uvedený na obr.2.24. Modelová doska s modelom (3) je upevnená k stolu striasacieho zariadenia (4). Na kolíky modelovej dosky je nasadený formovací rám (2) s plniacim rámom (1), ktoré sú naplnené formovacou zmesou. Formovací rám s formovacou zmesou sa dvíha spolu so stolom pôsobením stlačeného vzduchu, ktorý sa privádza pod piest stroja. Po zdvihu, keď piest (6) dosiahne polohu h, stlačený vzduch uniká cez výfuk (5) a piest spoločne s formou a modelovým zariadením padá vlastnou tiažou na zarážku stojana. Tento cyklus sa opakuje.



Obr. 2.24 Zhust'ovanie striasaním a) dolná poloha stroja b) horná poloha stroja
 1 - násypný rám, 2 - formovací rám, 3 - model, 4 - stôl stroja, 5 - výfuk, 6 - piest,
 7 - prívod vzduchu

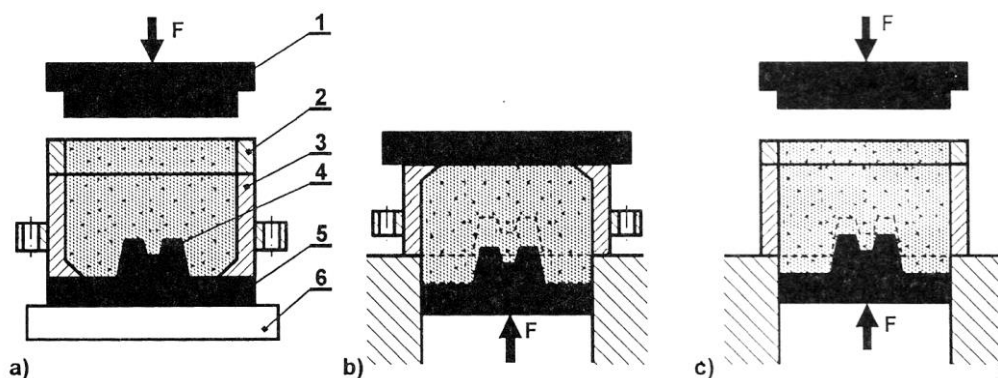
Zhust'ovanie lisovaním

Pri zhust'ovaní lisovaním je voľne nasýpaná formovacia zmes zhust'ovaná lisovacou hlavou počas jedného pracovného taktu. Lisovanie sa robí na lisovacích formovacích strojoch. Podľa smeru pohybu formovacej zmesi k modelu rozoznávame:

- lisovanie zhora (od chrbta formy) (obr.2.25a),
- lisovanie zdola (od deliacej roviny) (obr.2.25b),
- obojstranné lisovanie (obr.2.25c).

Základným spôsobom lisovania je lisovanie zhora. Na lisovací rám, uložený na modelovej doske, sa nasadí plniaci formovací rám. Po naplnení oboidvoch rámov formovacou zmesou sa zmes tlakom lisovacej dosky (1) zhustí a vyplní formu až po rovinu horného okraja formovacieho rámu (3). Pri stláčaní zmesi nastáva trenie medzi jednotlivými časticami ostriva a medzi zmesou a rámom. Tým nastáva aj zmenšenie účinného tlaku, čo vedie k poklesu stupňa zhustenia s rastúcou vzdialenosťou od lisovacej dosky. Druhé maximum zhustenia sa objaví v okolí modelu a modelovej dosky, ktorá kladie odpor proti posúvaniu zmesi.

Pri lisovaní zdola vtláča modelová doska(5) s modelom formováciu zmes do rámu (3) zdola (od deliacej plochy formy). Zdvih stroja sa rovná výške plniaceho rámu (2). Charakter zhustenia po výške rámu je opačný ako pri zhust'ovaní zhora, tj. najväčší stupeň zhustenia je v okolí modelu. To je veľká výhoda oproti lisovaniu zhora. Kombináciou uvedených spôsobov lisovania je obojstranné lisovanie.



Obr. 2.25 Zhust'ovanie lisovaním a) lisovanie zhora b) lisovanie zdola c) obojstranné
 1 - lisovacia doska, 2 - plniaci rám, 3 - formovací rám, 4 - model, 5 - modelová doska,
 6 - stôl stroja

Strojová výroba foriem lisovaním má v porovnaní so striasaním množstvo výhod: skrátenie výrobného cyklu, zvýšenie produktivity, nižšia spotreba energie, zjednodušenie výrobných zariadení, zlepšenie hygieny práce, možnosť automatizácie a predovšetkým zlepšenie kvality odliatkov (rozmerná tolerancia, povrch). Na druhej strane lisovanie prináša zvýšené opotrebovanie modelového zariadenia.

Vysokotlakové lisovanie - používajú sa rádovo vyššie tlaky ako pri klasickom lisovaní, kde je tlak do 0,5MPa. Použitím vyšších merných tlakov pri lisovaní sa dosahuje rovnomernejšie zhustenie zmesi a vyrobené odliatky sú presnejšie, preto je možné zredukovať prídavky na obrábanie.

Zhust'ovanie metaním - princíp je založený na zapĺňaní formovacieho rámu postupne určitým množstvom formovacej zmesi, ktorej sa udelí vysoká rýchlosť a po dopade do formy sa zhustí svojou vlastnou kinetickou energiou. Nevýhodou formovania pieskometom je, že priečky formovacích rámov zapríčiňujú nedostatočne zhustené miesta - tiene a opotrebovanie modelov je oveľa väčšie ako pri ostatných spôsoboch formovania.

Zhust'ovanie fúkaním - princíp je založený na zhust'ovaní formovacej zmesi stlačeným vzduchom. Formovacej zmesi, umiestnenej nad formou (jadrovníkom), je udelená prúdiacim vzduchom kinetická energia a zmes je zhustená až nárazom na steny modelu.

Zhust'ovanie vstreľovaním - jadrovník (resp. forma) je zaplnený naraz prudkou expanziou stlačeného vzduchu, ktorý tlačí kompaktný objem formovacej zmesi pred sebou. Vstreľovanie je dej veľmi krátky, celý objem formovacej zmesi sa premiestni z tlakovej komory vstreľovacieho stroja do jadrovníka za zlomok sekundy.

Zhust'ovanie podtlakom - vákuové vstreľovanie - najväčšou výhodou tejto metódy je, že sa odstraňuje pruženie formovacej zmesi pri zhust'ovaní, spôsobené stláčaním atmosférického vzduchu, nachádzajúceho sa v ráme a vo formovacej zmesi. Odstránenie tohto pruženia prispieva k formovaniu jemných obrysov, čo umožňuje zaformovať najzložitejšie modely.

Impulzné zhust'ovanie - metóda vhodná aj pre vysoké formy a komplikované modely s extrémnymi výškovými rozdielmi. Výhodou je, že sa nevyžaduje odvzdušnenie modelu.

Kombinované spôsoby zhustenia - vyznačujú sa použitím po sebe nasledujúcich samostatných spôsobov zhust'ovania, pričom sa odstraňujú nevýhody týchto spôsobov, vyskytujúce sa pri ich samostatnom použití. Najznámejšou je kombinácia striasania s

následným dolisovávaním formovacej zmesi, ktorá sa používa pri výrobe nízkych foriem. Zhust'ovanie foriem vstreľovaním s následným vysokotlakovým lisovaním sa často využíva aj pri bezrámovom formovaní - napr. stroje DISAMATIC s vertikálnou deliacou rovinou. Vákuové vstreľovanie sa zvyčajne kombinuje s dolisovaním. Využíva sa tiež zhustenie za pomoci podtlaku s následným dohustením formy impulzným zhust'ovaním pomocou stlačeného vzduchu.

2.3.4.2 Ručná výroba foriem a jadier

Ručne sa formujú odliatky veľkých rozmerov alebo odliatky v kusovej a malosériovej výrobe. Formuje sa podľa modelov buď do rámov alebo do pôdy.

Na výrobu foriem sa najčastejšie používa model, ktorý môže byť nedelený, delený a delený uložený na modelových doskách. Nedelený model sa používa zriedka, a to len pre kusovú výrobu. Väčšina foriem sa zhotovuje pomocou delených modelov uložených na modelových doskách. Porovnanie postupu ručného formovania na nedelený model a delený model je na obr.2.26.

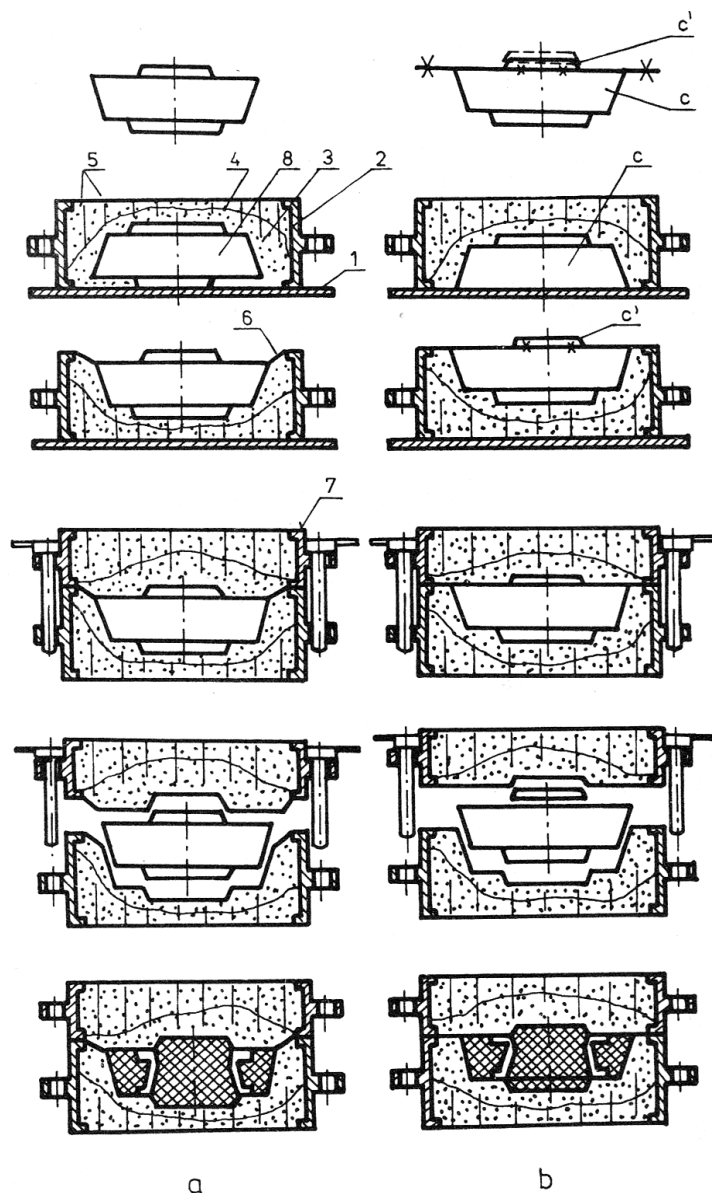
Podľa spôsobu zhotovenia dutiny formy rozlišujeme tieto spôsoby výroby foriem:

- formovanie na nedelený a delený model, resp. modelovú dosku,
- formovanie s vyrezávaním,
- formovanie šablónovaním,
- formovanie pomocou kostrového modelu,
- formovanie pomocou jadier.

Formovanie na nedelený model - na pracovnú platňu, (obr.2.26a) sa uloží model (8) a formovací rám (2). Model sa posype deliacim prostriedkom (napr. grafit), zasype modelovou formovacou zmesou a zhutní. Postupne sa dopĺňa formovacia zmes výplňová (4) a po vrstvách sa natláča do hornej roviny formovacieho rámu. Na uľahčenie odvodu plynov sa napichajú priechody.

Prebytočný piesok sa zreže do roviny rámu. Rám sa otočí o 180°. Pracovná doska sa odloží. Zrezaním prebytočnej zmesi a uhladením sa upraví deliaca rovina (6) medzi spodkom a výškou formy. Na deliacu rovinu sa uloží model vtokovej sústavy {resp. aj náliatkov) a na spodný formovací rám sa položí rám pre výšku formy (7). Deliaca rovina sa posype deliacim prostriedkom, aby sa uľahčilo rozoberanie hotovej formy. Ďalší postup je rovnaký ako pri zhutňovaní spodku. Po zhutnení sa forma rozoberie, t.j. výška formy sa dá dole, model sa rozklepaním uvoľní a vyberie z formy. Do spodnej časti formy sa vložia jadrá. Po založení vrchu je forma pripravená na odlievanie.

Formovanie na delený model - postup formovania je rovnaký ako pri nedelenom modeli, s tým rozdielom, že delenie modelu (obr.2.26b) nevyžaduje zrezanie a úpravu deliacej roviny. Formovanie je jednoduchšie, kvalitnejšie, pri kratšom čase potrebnom na výrobu formy a znížení výskytu chýb.



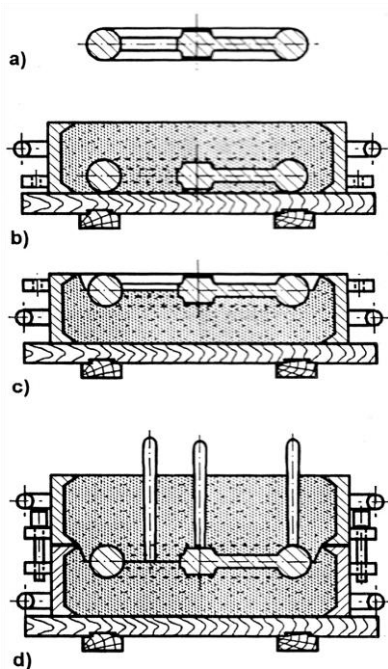
Obr. 2.26 Formovanie na nedelený a delený model
 a - nedelený model, 1 - pracovná doska, 2 - formovací rám, 3 - modelová zmes,
 4 - výplňová zmes, 5 - prieduchy, 6 - deliaca rovina, 7 - rám pre vrchnú časť formy,
 8 - model, b - delený model, c - model, c' - časť modelu na rozoberanie

Formovanie na modelovú dosku - na modelovú dosku sa pomocou zavádzacích kolíkov uloží formovací rám. Ďalší postup formovania je rovnaký ako pri formovaní na delený model. Forma je presnejšia, postup pri formovaní jednoduchší. Modelová doska umožňuje samostatne vyrábať formy spodku aj vršku. Modelové dosky sú základným faktorom pre zracionalizovanie výroby o strojovú výrobu foriem.

Formovanie s vyrezávaním - je vhodné použiť v prípadoch, keď sa vzhľadom na zložitosť alebo tvar modelu tento nedá po zaformovaní z formy vybrať bez jej poškodenia. Postup je zrejmý z obr.2.27. Po zaformovaní spodnej časti formy sa táto otočí o 180° a ubitá formovacia zmes sa vyreže okolo celého modelu tak, aby sa model dal vytiahnuť (v mieste jeho najväčšieho obrysu). Takto vzniknutá deliaca plocha sa uhladí, popráša deliacim

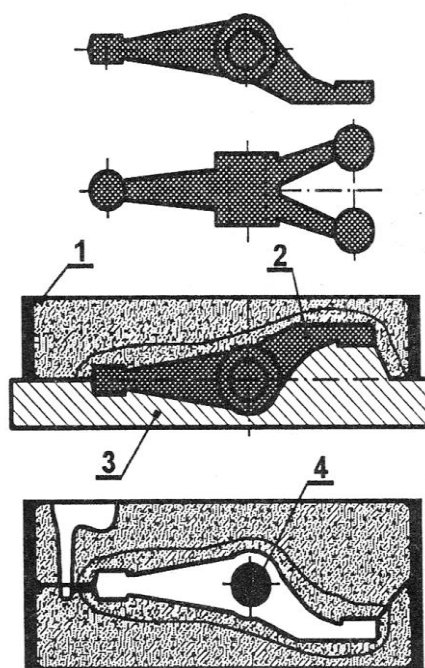
prostriedkom, založí sa vrchný formovací rám a zhotoví sa vrchná časť formy. Po rozobratí formy sa model vyberie, opraví sa dutina formy a po opätovnom zložení sa forma pripraví sa na odlievanie.

V prípade odliatkov s priestorovo členitým tvarom, pri ktorých nie je najväčší obrys modelu v rovine, je vhodné namiesto vyrezávania použiť formovanie na šnurovačku, čo značne uľahčí prácu formovača. Šnurovačka slúži ako pomocná podložka na umiestnenie modelu a určuje tvar deliacej plochy. Príklad použitia šnurovačky pri výrobe formy je na obr.2.28. Do dutiny šnurovačky (3) sa uloží model (2), nasadí sa spodný formovací rám (1) a vyrobí sa spodná polforma. Po otočení formy o 180° a odobratí šnurovačky, zostáva model v spodnej polovici formy, na ktorú sa potom nasadí formovací rám a vyrobí vrchná polovica formy.



Obr. 2.27 Formovanie s vyrezávaním

- a) model odliatku
- b) uloženie modelu a zhotovenie formy
- c) otočenie polformy a vyrezanie zmesi okolo modelu
- d) zaformovanie vršku formy



Obr. 2.28 Formovanie na šnurovačku

- 1 - spodný rám, 2 - model,
- 3 - šnurovačka,
- 4 - horizontálne jadro

Šablónovanie - používa sa len pri kusovej a malosériovej výrobe odliatkov veľkej hmotnosti s menšími požiadavkami na presnosť odliatku, nakoľko je modelové zariadenie veľmi drahou výrobnou pomôckou.

Principiálne (podľa pohybu šablóny) rozoznávame šablónovanie rotačné a rovinné, ktoré môže byť pozdĺžne a priečne.

Formovanie pomocou kostrového modelu - veľké a ťažké odliatky sa spravidla vyrábajú v malých množstvách. Aby sa zmenšili náklady na výrobu modelového zariadenia,

používajú sa na ich výrobu kostrové modely. Pri tomto spôsobe formovania sa spájajú osobitosti formovania podľa modelu a priečného šablónovania Model sa zhotovuje z drevených líšt, ktorých hrúbka zodpovedá približne hrúbke steny odliatku.

2.3.4.3 Strojová výroba foriem a jadier

Požiadavky vysokej produktivity práce si vyžadujú v čoraz väčšej miere používať strojové spôsoby výroby foriem a jadier. Strojovou výrobou je možné vyrábať odliatky všetkých hmotností v sériovej aj hromadnej výrobe a to lisovaním, striasaním, metaním, fúkaním alebo vstreľovaním.

Používajú sa alebo osobitne alebo v kombináciách podľa typu odliatku, zložitosti tvaru odliatku, sériovosti a použitej formovacej zmesi. Základné spôsoby strojovej výroby netrvalých foriem sú odvodené od spôsobov zhutňovania formovacej zmesi, princíp ktorých bol vysvetlený v kap. 2.3.4.1.

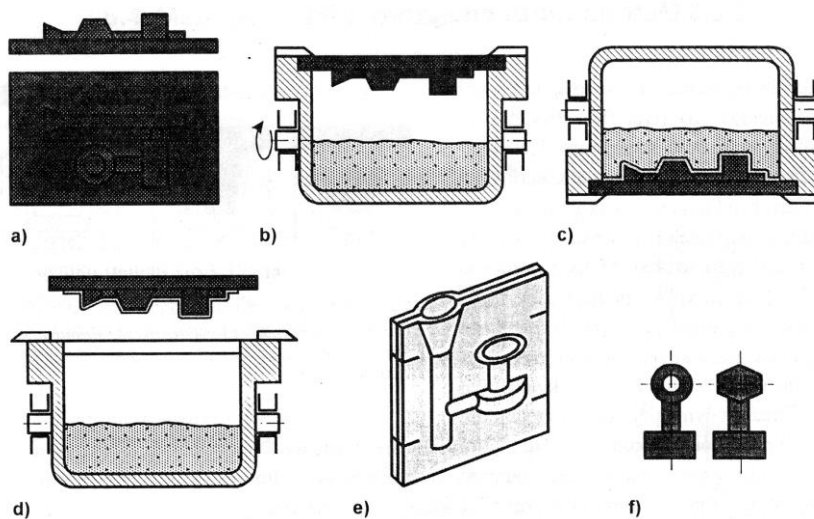
2.3.4.4 Metódy formovania II. generácie

Spoločným charakteristickým znakom metód výroby foriem a jadier II. generácie je využívanie chemických zmien spojiva k získaniu požadovanej pevnosti formy, tj. vytvrdzovania.

Metódy chemického vytvrdzovania delíme na teplé a studené procesy podľa toho, či vytvrdzovanie prebieha pri zvýšenej teplote alebo pri teplote okolia. Teplé procesy možno rozdeliť na metódy, pri ktorých sa formy a jadrá spevňujú *ohrevom v peci*, a na metódy, pri ktorých spevňovanie prebieha *ohrevom od teplého modelového zariadenia*. Pri studených procesoch sa používajú samovoľne tuhnúce formovacie zmesi alebo zmesi s ovládaným vytvrdzovaním, tj. zmesi vytvrdzované zásahom zvonku, zvyčajne preniknutím plynným médiom.

Metóda CO₂ - vytvrdzovanie zmesí prebieha riadene, a to zavedením plynného oxidu uhličitého do mierne zhustenej zmesi kremenného piesku a vodného skla, ktorý chemicky reaguje so spojivom a nastáva rýchle stvrdnutie formy alebo jadra. Prednosťou je dostupnosť surovín, priaznivá cena a jednoduchá príprava formovacej zmesi. Dostatočne vysoké mechanické vlastnosti vytvrdenej zmesi umožňujú výrobu aj ťažkých a masívnych odliatkov bez zdĺhavého sušenia alebo použitie bezrámového formovania (buchty), čo po zavedení tejto technológie malo za následok podstatné zvýšenie výrobnosti zlievarní. Nedostatkom zmesí je ich veľmi zlá rozpadavosť po odliatí, čo značne komplikuje proces vytýkania odliatkov.

Croningova metóda výroby škrupinových foriem - metóda sa nazýva aj *metóda C* (obr.2.29). Zohriata modelová doska (~250°C) je pripevnená na sklopný zásobník, ktorý obsahuje formováciu zmes tvorenú ostrivom a tuhým živicovým spojivom. Po preklopení zásobníka sa formovacia zmes nasype na modelovú dosku. Pôsobením tepla sa živica natavuje a vytvrdne. Sklopný zásobník sa po stanovenom čase preklopí a nenatavená formovacia zmes sa z modelovej dosky nasype späť do zásobníka. Vzniknutá polotuhá škrupina sa vytvrdí v peci na konečnú pevnosť počas niekoľkých minút. Po vytvrdení je škrupina oddelená od modelovej dosky pomocou vyhadzovacieho mechanizmu.



- Obr. 2.29 Croningova metóda výroby škrupinových foriem
- modelová doska s modelom odliatku a vtokovej sústavy,
 - teplá modelová doska nad zásobníkom s formovacou zmesou,
 - sklopenie zásobníka a natavenie zmesi,
 - otočenie zásobníka a sňatie modelovej dosky s natavenou škrupinou,
 - spojenie vytvrdených škrupín,
 - odliatok.

Metóda horúceho jadrovníka - nazýva sa metóda HB (Hot Box Process). Je veľmi podobná metóde C. Podstatný rozdiel je v tom, že namiesto sypkých obalovaných zmesí používa oveľa lacnejšie väzné zmesi s kvapalným termoreaktívnym spojivom, pretože tieto zmesi majú horšiu tekutosť, vyžadujú dôkladnejšie zhustenie. Ďalší rozdiel je v tom, že nestačí jednostranný ohrev líca škrupiny od modelovej dosky, ale jadro musí byť vyhrievané zo všetkých strán v úplne uzavretom jadrovníku počas celého výrobného cyklu.

Metóda studeného jadrovníka - metóda sa nazýva aj Cold-Box, jadrá sú zo živicových zmesí vytvrdzované bez použitia ohrevu - v studenom jadrovníku. Táto metóda spája v sebe výhody metódy CO₂ a metódy horúceho jadrovníka (HB). Z metódy CO₂ preberá prefukovanie zmesi plynným katalyzátorom (ovládané vytvrdzovanie), ktorý spôsobuje takmer okamžité vytvrdzenie formovacej zmesi a z metódy Hot-Box zasa využíva výhody organických spojív, najmä dobrú rozpadavosť po odliatí.

Metódy samotuhnúcich zmesí - vytvrdzovanie spojivového systému prebieha za studena od okamžiku zmiešania spojiva s tvrdidlom, príp. katalyzátorom. Boli vyvíjané ako náhrada formovania na sušenie s cieľom zníženia energetickej náročnosti výroby, zvýšenia produktivity práce a kvality foriem. Metódy ST-zmesí sú vhodnou alternatívou pri výrobe odliatkov v menších sériách a v kusovej výrobe predovšetkým rozmerných odliatkov. Využitie našli aj v oblasti sériovej a hromadnej výroby v súvislosti s vývojom materiálov s krátkymi vytvrdzovacími časmi.

Keramické formy a jadrá pre presné liatie - v určitých prípadoch výroby odliatkov s vysokým nárokom na tvarovú a rozmerovú presnosť malých alebo aj veľkých odliatkov,

kde nestačí formovanie do pieskových alebo kovových foriem, používajú sa špeciálne pracovné postupy na odlievanie do keramických foriem a to:

- metóda vytaviteľného modelu - model je z vosku,
- metóda spáľiteľného modelu - modely sa vyrábajú väčšinou z polystyrénu na vstrekovacích lisoch pre plastické látky,
- metódy trvalého modelu - používa sa delená keramická forma, zhotovená pomocou trvalého modelu.

2.3.4.5 Metódy formovania III. generácie

Metódy výroby foriem a jadier tretej generácie sú charakterizované fyzikálnymi väzbami medzi zrnami ostriva, klasické spojivo známe z metód I. a II. generácie tu neexistuje. V tom zároveň spočíva aj výhoda týchto metód, pretože formovacia zmes neobsahuje zložku, ktorá je väčšinou nositeľom hygienických problémov zmesi a sťažuje vytĺkanie odliatkov po odliatí. Odpadajú tým aj problémy spojené s náročnou úpravou a regeneráciou formovacej zmesi ako aj nákladné opatrenia na ochranu pracovného a životného prostredia. Používa sa vibračné zhusťovanie, ktorého cieľom je len dokonalé vyplnenie formy ostrivom.

Bez dutinové formovanie - tekutý kov sa leje do formy na vypariteľný model (napr. polystyrén), ktorý sa teplom roztaveného kovu okamžite vyparuje. Formováciu zmes tvorí suchý kremenný piesok zhustený vibráciou.

Formovanie v magnetickom poli - ak zasypeme model ostrivom z magneticky mäkkých materiálov (ocelová, liatinová drvína) a vložíme do magnetického poľa, potom magnetické sily zabezpečia súdržnosť ostriva. Zvyčajne sa používa netrvalý spáľiteľný model zo speneného polystyrénu (vrátane modelov vtokovej sústavy).

Vákuová metóda výroby foriem - metóda je známa ako *V-proces* a do dnešných dní zaznamenala vysoké rozšírenie pre odliatky rôzneho sortimentu. Formy sú vyrobené z čistého kremenného piesku, pričom silová väzba medzi jednotlivými zrnami ostriva je vyvolaná pomocou podtlaku.

Výroba foriem zmrazovaním - princípom je zmrazovanie vlhkej formovacej zmesi, pričom funkciu spojiva zastáva zmrznutá voda. Formy a jadrá majú veľmi krátku životnosť, preto sa musia po zmrazení čo najrýchlejšie odliat' Zlievarenským problémom je erózia formy v dôsledku jej mechanického a tepelného namáhania, čo sa rieši pridávaním bentonitu a kremennej múčky do formovacej zmesi.

2.3.4.6 Formy pre opakované použitie

Snaha o zvýšenie efektívnosti zlievarenskej výroby viedla k zavedeniu **polotrvalých foriem**, ktoré sa vyrábajú formovaním zo žiaruvzdorných zmesí. Používajú sa objemovo stabilizované keramické materiály, ako sú napríklad vypálené šamotové alebo keramické

drviny, drviny zo starých téglikov a elektród atď. Najpoužívanejšími spojivami bývajú žiaruvzdorné íly, kaolín a vodné sklo. Ďalej sú prítomné prísady väčšinou podporujúce zvýšenie pružnosti zmesi (drevené piliny a pod.) a zvýšenie priedušnosti (koks). Na veľké liatinové odliatky sa niekedy používajú cementové formy s riečnym pieskom ako ostrivom. **Trvalými formami** sa nazývajú tie formy, v ktorých je možné vyrobiť väčšie série (až státisíce) odliatkov. V technickej praxi sa dajú použiť formy grafitové, prípadne kovové, pričom najväčšie uplatnenie našli kovové formy. Odlievanie do kovových foriem má svoje nesporné prednosti, ktoré prinášajú zvýšenie produktivity (1,5 až 6 krát), zvýšenie tvarovej a rozmerovej presnosti odliatku, zlepšenie kvality povrchu, zníženie prídavkov na opracovanie, priaznivejšiu štruktúru odliatkov, ako aj zlepšenie pracovných a hygienických podmienok na pracovisku.

Grafitové formy sú vyrábané lisovaním grafitu, prípadne sa zhotovujú mechanickým opracovaním grafitových blokov (obrábateľnosť je dobrá, až na vysokú prašnosť). Výhoda oproti kovovým formám je predovšetkým v možnosti regulácie ochladzovacej rýchlosti, nevýhodou je ich nízka životnosť.

2.4 SPÔSOBY VÝROBY ODLIATKOV

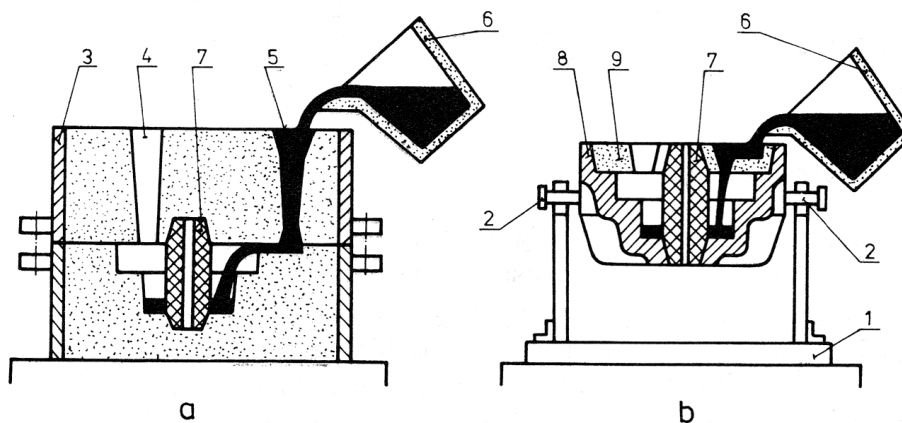
2.4.1 Gravitačné liatie

Tento spôsob odlievania sa nazýva *gravitačné liatie* preto, že na kov naliaty do formy pôsobí iba zemská príťažlivosť - gravitácia. Hospodárnosť tohto procesu podmieňuje využívanie kovových foriem, väčšinou delených. Kovová forma sa upne do odlievacieho stroja na nosič formy, ktorá má pevnú a pohyblivú časť. Nosiče majú vyhadzovače, zväčša hydraulické. Pracovný cyklus je poloautomatický alebo automatický. Skladá sa z nasledujúcich operácií: ošetrovanie formy v otvorenej polohe, uzavretie formy, odliatie, zrušenie uzatváracej sily, otvorenie formy, vyhodenie odliatku z formy a presunutie odliatku do zbernej nádoby.

Pri uvedenom spôsobe odlievania sa uplatní v plnej miere automatický spôsob odlievania. Z toho vyplýva konštrukcia zariadenia na odlievanie. Najvhodnejšou konštrukciou zariadenia na gravitačné odlievanie sa v súčasnosti javí karuselové usporiadanie. Gravitačné odlievanie sa používa v otvorenej atmosfére, vo vákuu alebo v pretlakovej atmosfére.

2.4.1.1 Stacionárne liatie na vzduchu

Tento spôsob patrí k najstarším metódam odlievania. Tekutý kov sa dopravuje pomocou lepacej panvy k pripravenej forme, ktorá sa vyplní tekutým kovom cez sústavu kanálikov nazývaných vtoková sústava (obr.2.30).



Obr.2.30 Gravitačné odlievanie v otvorenej atmosfére;

- a) do jednorázovej pieskovej formy, 3 - rám, 4 - náliatok, 5 - vtokový kôl, 6 - lejacia panva, 7 - jadro,
 b) do trvalej kombinovanej kokily, 1 - základová platňa, 2 - otočné čapy, 8 - kokila, P - jadro

2.4.1.2 Odlievanie vo vákuu

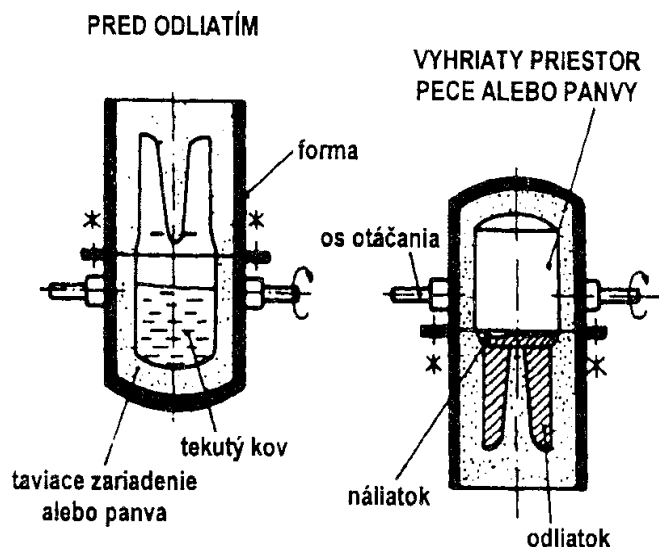
Pri tomto spôsobe odlievania nedochádza ku reakcii okolitej atmosféry s taveninou čím sa zabráni naplyneniu, množstvo plynov rozpustených sa počas tavenia zníži na minimum, dochádza k disociácii niektorých zlúčením kovov s plynmi a odparujú sa prvky s vysokým napätím pár. Tento postup sa využíva hlavne vtedy, ak je prioritné zníženie obsahu dusíka, vodíka a kyslíka. Priebeh odplynenia závisí od rozpustnosti plynov v kove, styčnej plochy roztaveného kovu a difúzii plynov v kove.

2.4.1.3 Odlievanie v pretlakovej atmosfére

Postup sa pomerne málo využíva, ale uplatňuje hlavne vtedy, keď sú problémy s odplynením zliatin (napr. zliatiny Al). Používa sa pretlak 400 až 500 kPa a odlieva sa v autokláve. Pôsobenie pretlaku zvyšuje sa rozpustnosť plynov v tekutom kove a tým nedochádza k ich vylučovaniu v tuhúcom odliatku vo forme bublín, nedochádza k reakciám, ktoré prebiehajú za normálneho tlaku, spomaľuje sa priebeh reakcií, ktorých produktom sú plynné splodiny a znižujú sa straty prvkov náchylných na odparovanie.

2.4.1.4 Sklopné liatie

Princíp postupu spočíva v tom, že forma a zariadenie, v ktorom je tekutý kov (taviaca pec prípadne prípravok), tvoria jeden celok (obr.2.31). Odlieva sa otočením zariadenia o 180°C. Vtoková sústava obyčajne nie je potrebná a leje sa priamo do náliatku. Môže sa postupovať pomocou jednoúčelovej taviacej pece alebo pomocou sklopného prípravku.



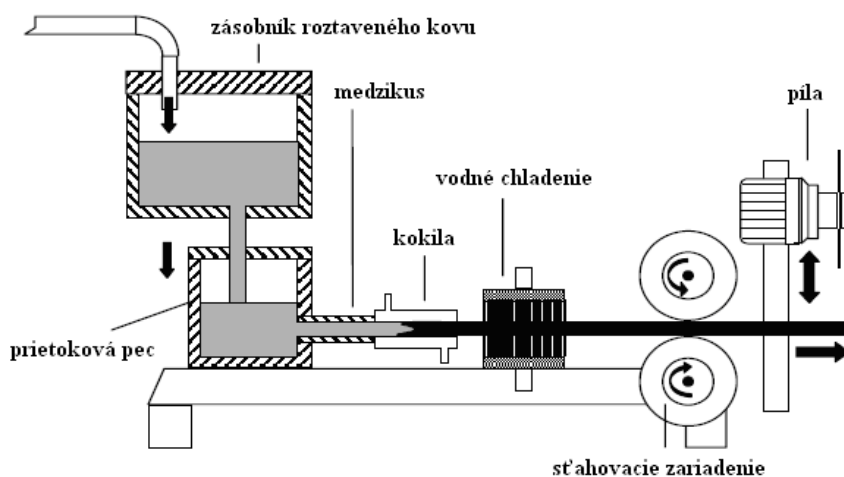
Obr. 2.31 Sklopné liatie

2.4.1.5 Plynulé (kontinuálne) odlievanie

Spočíva v nepretržitom prívode roztaveného kovu do priebežnej formy (kryštalizátora), v ktorom dochádza k rýchlemu tuhnutiu taveniny (obr.2.32). Stuhnutý materiál je z formy odťahovaný a pre plynulosť postupu musí byť splnená základná podmienka, ktorá predpokladá zhodnosť množstva (rýchlosti) odsúvaného stuhnutého materiálu a privádzanej taveniny.

Rozdelenie plynulého odlievania:

- podľa polohy formy a pohybu stuhnutého materiálu:
 - vertikálne plynulé odlievanie,
 - horizontálne plynulé odlievanie.
- podľa spôsobu prívodu tekutého kovu do formy:
 - systémy s otvoreným vtokom,
 - systémy s uzavretým vtokom.
- podľa pohybu formy:
 - systém s pohyblivým kryštalizátorom,
 - systém s vibrujúcim kryštalizátorom,
 - pevným kryštalizátorom.



Obr. 2.32 Princíp horizontálneho kontinuálneho liatia

2.4.1.6 Poloplynulé (polokontinuálne) odlievanie

Napriek mnohým výhodám horizontálneho usporiadania plynulého liatia tento spôsob neumožňuje vyrobiť veľkorozmerové duté profily. Hlavnou príčinou je samotné konštrukčné riešenie, a to problém veľkosti tégliku, rozdielne tlaky, problém odťahovania odliatku z kryštalizátora. U vertikálneho usporiadania tieto problémy odpadajú. Väčšinou sa však odlieva len určitá dávka tekutého kovu, čiže sa pracuje poloplynulým spôsobom.

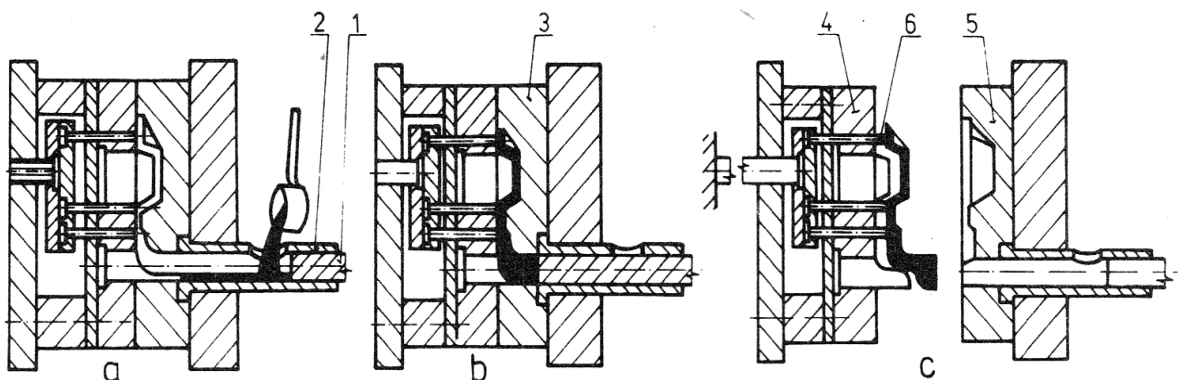
2.4.2 Tlakové liatie

Snaha o čo najdokonalejšie vyplnenie dutiny formy bez výskytu bublín, riedín, mikropórovitosti atď, viedla k vývoju a zavedeniu postupov odlievania, pri ktorých na taveninu pôsobia sily väčšie, ako je len sila zemskej tiaže. Vzhľadom na zvýšené požiadavky na formu z hľadiska metalodynamického namáhania v priebehu plnenia u týchto postupov odlievania väčšinou ide o formy trvalé - kokily.

2.4.2.1 Vysokotlakové liatie

Pri tomto spôsobe liatia používame kovovú formu, do ktorej je tekutý kov vtlačovaný piestom odlievacieho stroja cez vtokovú sústavu vysokým tlakom, čo umožňuje odlievať odliatky s presnými tvarmi a rozmermi. Práca je rýchla, produktívna a dá sa na vysokej úrovni mechanizovať. Podľa typického znaku konštrukčného riešenia možno technologické zariadenia pre tlakové liatie rozdeliť do dvoch základných skupín podľa umiestnenia taviaceho agregátu s odlievaným tekutým kovom:

- ak pec tvorí súčasť odlievacieho zariadenia, hovoríme o tlakových odlievacích strojoch s teplou komorou,
- ak pec je umiestnená mimo odlievacieho zariadenia a konštrukčne s ním priamo nesúvisí, hovoríme o tlakových odlievacích strojoch so studenou komorou.



Obr.2.33 Tlakové liatie so studenou komorou s horizontálnou piestovou komorou; a - plnenie piestovej komory kovom, b - plnenie formy kovom, c - vyhodenie odliatku z formy, 1 - piest, 2 - tlaková komora, 3 - teleso formy, 4 - nepohyblivá časť formy, 5 - pohyblivá časť formy, 6 - vyhazovač odliatkov

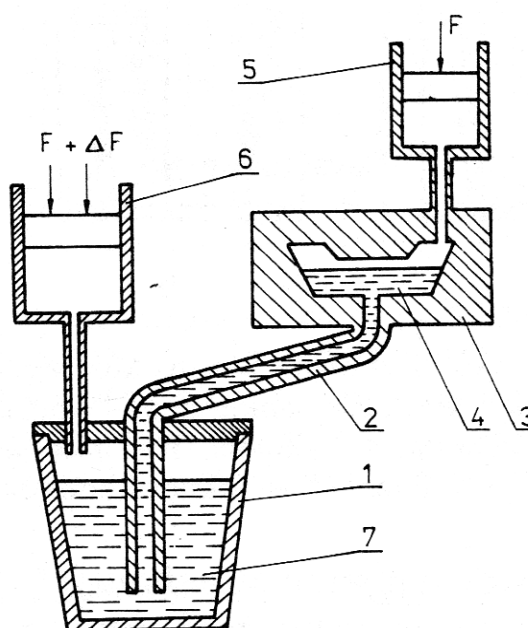
Druhým základným prístupom konštrukčného riešenia je poloha vstrekovacej časti, ktorá môže byť orientovaná buď vertikálne alebo horizontálne (obr.2.33). Ďalšími hľadiskami, ktoré sa berú do úvahy, sú potom poloha deliacej roviny (horizontálne a vertikálne delená), spôsob uzatvárania formy (mechanický alebo hydraulický).

2.4.2.2 Nízkotlakové liatie

Princíp postupu nízkotlakového liatia spočíva vo vytlačení tekutého kovu z udržiavacej pece do dutiny formy pôsobením pomerne nízkeho pretlaku na hladinu taveniny v peci. Plnenie formy je možné ovládať zmenou tlaku a preto je pri tomto spôsobe plnenia foriem možné dosiahnuť pokojné stúpanie hladiny. Po zaplnení dutiny formy tlak na hladinu kovu v tégliku pece neustále rastie a za pôsobenia konečnej veľkosti pretlaku prebieha tuhnutie odliatku. Tuhnutie odliatku vo forme za pretlaku umožňuje medzidendritické dosadzovanie v dvojfázovom pásme a dovoľuje dosiahnuť "hutné" usporiadanie štruktúry zliatiny sprevádzané zvýšenými mechanickými vlastnosťami materiálu odliatku.

2.4.2.3 Odlievanie do protitlaku

V dutine formy je protitlak, takže plnenie formy prebieha len za mierneho pretlaku, ktorého veľkosť je možné veľmi presne nastaviť. Možnosť nastavenia pretlaku znamená ovládanie rýchlosti zaplňovania dutiny formy tekutým kovom, čo prináša vysokú vnútornú kvalitu odliatku. Ďalšou výhodou metódy je to, že odliatok tuhne celú dobu pod tlakom, čo má priaznivý vplyv nielen na vnútornú homogenitu odliatku, mechanické vlastnosti a zníženie výskytu mikropórovitosti, ale aj na obsah plynov a vmestkov v odliatku. Zariadenie pre odlievanie do protitlaku je podobné zariadeniu pre nízkotlakové odlievanie, ale pracuje pri tlaku 30 - 50 krát vyššom (obr.2.34).



Obr. 2.34 Protitlakové liatie

- 1 - zásobník kovu, 2 - kovovod, 3 - kokilová komora, 4 - forma, 5 - pneumatiký piest, 6 - pneumatiký piest, 7 - zásobník kovu

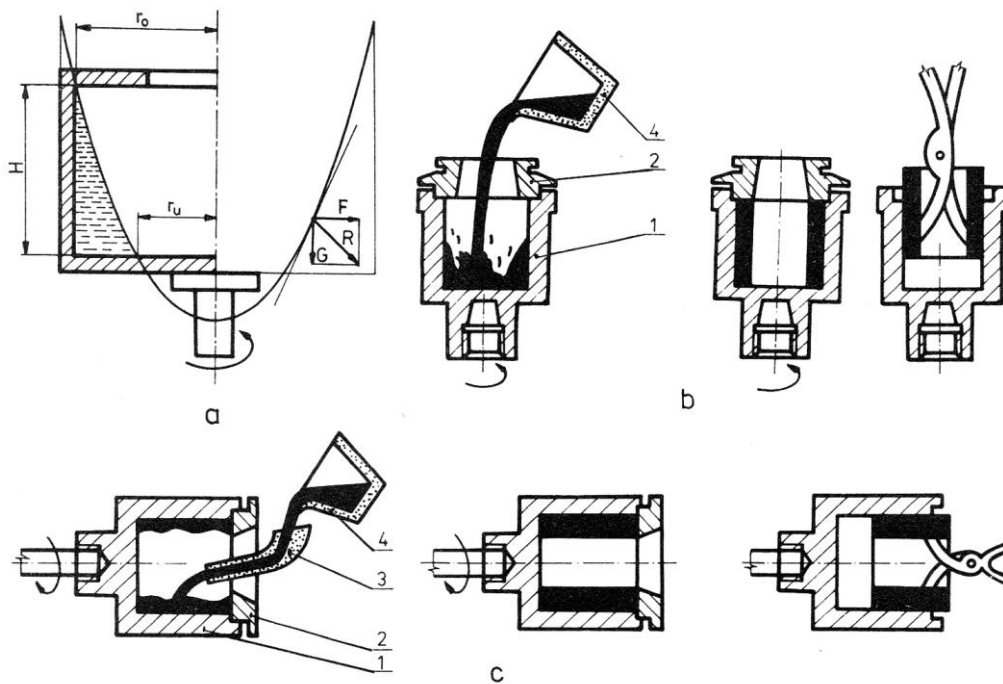
2.4.2.4 Liatie vákuovým nasávaním

Technológia sa vyznačuje vysokým využitím tekutého kovu s možnosťou automatizácie celého pochodu. Po natretí kryštalizátora ochranným náterom tento sa ponorí pod hladinu tekutého kovu v tégliku. Uzavretím kryštalizátora tekutým kovom a jeho pripojením na vákuovací systém sa začína nasávať tekutý kov. Tuhnutie odliatku prebieha za pôsobenia vákua až dovtedy, kým hrúbka stuhnutej vrstvy kovu dosiahne hrúbku odliatku. Potom sa vákuum zruší a tekutý kov zo strednej časti vytečie späť do téglika.

Pokiaľ je potrebné dodržať vnútorný priemer odliatkov, prípadne ak je vnútorná dutina tvarovaná, musíme použiť zakladané jadro. Potom nasleduje vyťahnutie odliatku z formy a postup sa môže opakovať. Pri výrobe plnostenných odliatkov pôsobí vákuum do úplného stuhnutia odliatku v celom priereze.

2.4.2.5 Odstredivé odlievanie

Odliatky sa vyrábajú liatím kovu do otáčajúcej sa formy alebo do formy, ktorá začne rotovať pri liatí, takže kov je nútený konať rotačný pohyb. Odstredivá sila pôsobí tak, že kov sa pohybuje proti stene formy a pozdĺžne, a jeho tlakom sa dosahuje tesný kontakt medzi kovom a formou. Pretože odliatok tuhne postupne od vonkajšieho povrchu smerom dovnútra, odstredivý tlak má ten význam, že roztavená zliatina nachádzajúca sa vo vnútri, vyplní medzidendritické priestory, a tým zabezpečí väčšiu hutnosť (mernú hmotnosť) odliatku. Rotácia preto musí pokračovať tak dlho, kým kov nestuhne v celom priereze odliatku (obr.2.35a). Odstredivé liatie delíme na *horizontálne* a *vertikálne* (obr.2.35b,c). Oba spôsoby sa používajú prevažne pri výrobe rotačných odliatkov, ale stále viac sa uplatňujú pri liatí odliatkov s nepravidelnými tvarmi.



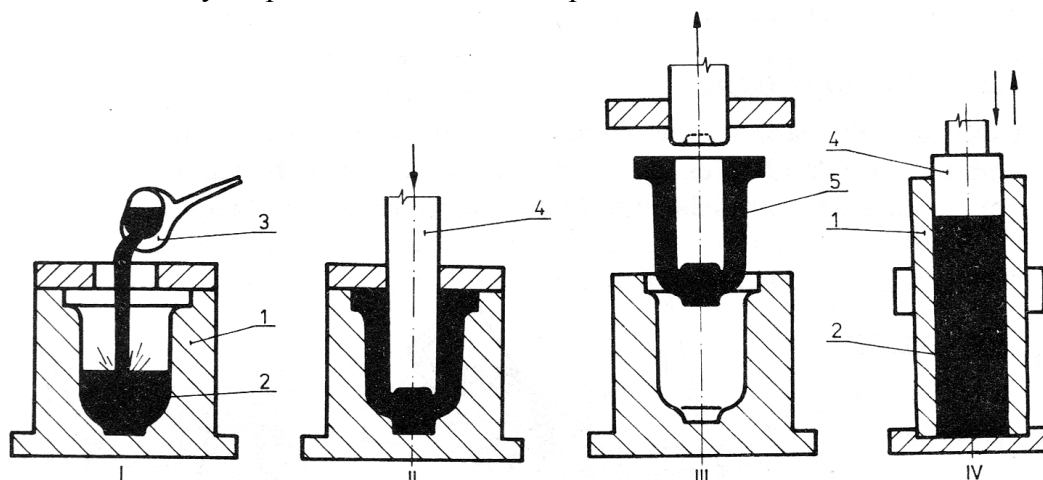
Obr. 2.35 Princíp odstredivého liatia; a - účinok síl na tekutý kov pri odstredivom liatí s vertikálnou osou otáčania, b - princíp odstredivého liatia s vertikálnou osou otáčania, 1 - kokila, 2 - veko, 3 - kovovod, 4 - lejacia panva, c - princíp odstredivého liatia s vodorovnou osou otáčania

2.4.3 Nekonvenčné postupy výroby odliatkov

2.4.3.1 Výroba odliatkov lisovaním tekutého kovu

Princíp využíva poznatky a prednosti technológií kovania za tepla a odlievania pod tlakom. Technologický postup je na obr.2.36 znázornený v dvoch polohách: na začiatku lisovania a po lisovaní kovu.

Do nepohyblivej kovovej poloformy - matrice 1 sa gravitačne zhora naleje príslušný objem tekutého kovu. Pri odlievaní v hornej polohe mimo dutiny matrice sa nachádza pohyblivá časť - razník 2. Po odliatí sa razník pohybuje smerom dolu k matrici. Po dotyku s tekutým kovom sa začína tavenina vytlačovať smerom hore a vyplňuje medzeru kovu medzi matricou a razníkom. Po vyplnení celého objemu dutiny sa lisovací tlak razníka prenáša na celý objem kovu. Kryštalizácia odliatku prebieha pod tlakom, v dôsledku ktorého dochádza k zhutneniu kovu. Výdrž pod tlakom trvá až do úplného stuhnutia odliatku.



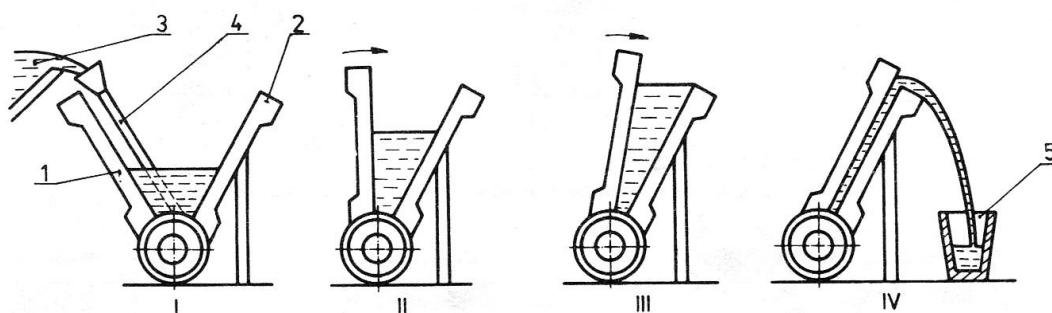
Obr. 2.36 Schéma výroby odliatkov lisovaním z tekutej fázy
I - plnenie formy kovom, II - tvarovanie odliatkov pôsobením lisovníka,
III - vyhodenie odliatku z formy, IV - odlievanie čapov,

2.4.3.2 Výroba odliatkov vytlačovaním taveniny

Použitie danej technológie je pri výrobe tenkostenných veľkorozmerových odliatkov s hrúbkou steny do 1,0 mm. Založený je na princípe postupného približovania sa častí kovovej formy po jej čiastočnom naplnení tekutým kovom. Pohyb častí formy sa môže udiat paralelne, prípadne pod uhlom.

Fázy zhotovenia odliatku týmto postupom sú schematicky zachytené na obr.2.37:

1. fáza - matrica je v krajnej polohe. Do dolnej časti sa z liacej panvy naleje tekutý kov cez vtokovú trubicu zabezpečujúcu kľudné plnenie,
2. fáza - pohyblivá časť matrice sa začína postupne približovať k nepohyblivej, tekutý kov sa plynulé vytlačá do hornej časti formy (odtiaľ názov technológie),
3. fáza - približovanie matric je ukončené, tekutý kov vyplní celú dutinu,
4. fáza - prebytok tekutého kovu sa vytlačí z formy von do panvy.



Obr. 2.37 Schéma procesu liatia vytlačaním kovu z formy

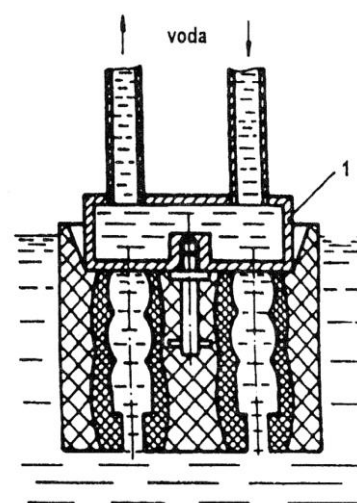
I - plnenie formy kovom, II - tvarovanie odliatkov pôsobením lisovníka, III - vyhodenie odliatku z formy, IV - odlievanie čapov,

2.4.3.3 Výroba odliatkov ponorením

Postup výroby tvarových odliatkov ponorením formy do roztaveného kovu sa vyznačuje určitým stupňom jednoduchosti a pomerne veľkými technologickými možnosťami.

Používajú sa jedno prípadne viacmiestne formy pri menších rozmeroch odliatkov. Formy sa používajú škrupinové, ale z vonkajšej časti sú vystužené keramikou podľa metódy Shaw.

Teplota foriem pred odlievaním sa pohybuje v rozpätí 500 až 800°C. Horná časť je tvorená kryštalizátorom chladeným vodou (obr.2.38). Ponorenie formy do taveniny spôsobuje intenzívne ochladzovanie kovu a dobre dosadzovanie zdola. Výsledkom je hutná a jemnozrná štruktúra odliatku.



Obr. 2.38 Výroba odliatkov ponorením do taveniny 1-vodou chladený kryštalizátor

2.5 SIMULAČNÉ POSTUPY V ZLIEVARENSTVE

Počítačová simulácia v zlievarenských technologických a metalurgických procesoch v posledných rokoch veľmi pozitívne ovplyvnila rozvoj zlievarenstva. Možnosť predchádzať technologickým vadám sa prejavila na výslednej kvalite odliatkov.

Pod pojmom simulácia sa rozumie chovanie fyzikálneho alebo abstraktného systému pomocou modelového systému. Rozhodujúci význam pre procesy so zmenami teplôt, respektíve pre výpočty prenosu tepla počas zlievarenského procesu majú predovšetkým termofyzikálne dáta. Ďalším predpokladom pre vyšetrenie priebehu teplôt je znalosť špecifických vlastností daných materiálov, platných z hľadiska noriem.

Počítačová simulácia liatia pomocou overených simulačných programov dáva už dnes technologom takmer všetky potrebné údaje na optimalizáciu vtokových sústav a celého procesu liatia a tuhnutia odliatkov.

Simulačné programy sa dnes orientujú hlavne na riešenie týchto hlavných skupín problémov:

- plnenie foriem;
- tuhnutie a chladnutie odliatkov (vo forme aj po vybratí z formy);
- vznik štruktúry a vytváranie vlastností odliatku;
- vznik vnútorných pnutí a deformácií.

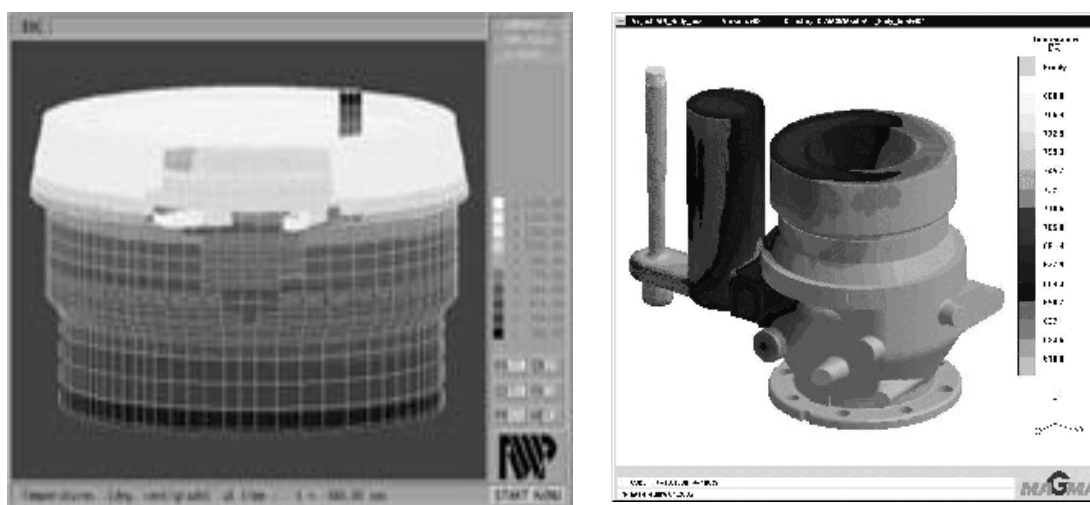
Kvalita simulačných programov, ich vypovedajúca hodnota a miera zhody výsledkov simulácie s realitou sú dané najmä týmito okolnosťami:

- kvalitou matematického popisu dielčích dejov - tj. rozpracovaním Fourierovej diferenciálnej rovnice vedenia tepla, vrátane správnej voľby počiatkových a okrajových podmienok;
- zahrnutím odchýlky chovania sa a stavu odlievaného materiálu od ideálneho predpokladu jednofázového stavu taveniny (napr. teplotná závislosť postupného uvoľňovania latentného tepla pri tuhnutí taveniny atd.);
- tepelno-fyzikálnym definovaním vlastností foriem i odlievaného materiálu v závislosti na teplote v celej potrebnej šírke teplotného intervalu.

Počítačová simulácia liatia robí viditeľnými zlievarenské javy, ktoré prebiehajú vo vtokovej sústave a odliatku pri plnení formy tekutým kovom a pri jeho tuhnutí. Výhody zo zavedenia počítačovej simulácie sú nasledovné:

- podstatné skrátenie času a finančných nákladov na vývoj technológie nového výrobku,
- zvýšenie technických, akostných a cenových parametrov zlievarenskej výroby, s možnosťou podstatného znižovania rezerv,
- poskytnutie technických a cenových podkladov,
- výchova zlievarenských pracovníkov k hlbšiemu chápaniu javov, ktoré vo forme pri liatí a tuhnutí prebiehajú.

Niektoré príklady využitia simulácií v zlievarenstve sú uvedené na obr.2.39.



Obr. 2.39 Príklady využitia simulácií v zlievarenstve

Optimalizácia vtokovej sústavy pomocou počítačovej simulácie je založená na porovnávaní rôznych variantov vtokových sústav z hľadiska požadovaného parametra alebo

skupiny parametrov. Týmto parametrom môže byť napr. cena odliatku, chyby odliatku, napätia v odliatku, štruktúra materiálu a technológičnosť výroby odliatku.

Pri optimalizácii vtokovej sústavy sa postupuje nasledovne:

1. Technológ navrhne prídavky, vtokovú sústavu, formu a jej časti, vrátane použitých materiálov, podmienky odlievania, nátery, chladenie, izolácie, dolievanie.
2. Potrebné údaje sa zadajú do simulačného programu a uskutoční sa simulačný výpočet.
3. Technológ sa môže v priebehu výpočtu alebo po jeho skončení oboznámiť s celou históriou plnenia formy, tuhnutia a chladnutia odliatku a formy, analyzovať napr. príčiny vzniku chýb, mechanické pnutia v odliatku a vo forme atď.

2.6 ÚPRAVA POVRCHU ODLIATKOV

V zlievarňach po odliatí formy tekutým kovom nasleduje ich chladnutie, uvoľnenie a vyberanie odliatkov z foriem a rôzne dokončovacie operácie, kedy sa čistí odliatok od formovacej a jadrovej zmesi, odstraňujú sa vtoky a náliatky ako aj prebytočný kov z povrchu odliatkov (apretúra).

Tabuľka 2.1 Prehľad chýb podľa rozšírenej klasifikácie

TRIEDA CHÝB		SKUPINA CHÝB		DRUH CHYBY		
č.	Názov triedy	č.	Názov skupiny	č.	Názov druhu chýb	
100	Chyby tvaru, rozmerov a hmotnosti	110	Chýbajúca časť odliatku bez lomu	111	Nedostatočná zabiehavosť	
				112	Nedoliatie	
				113	Vytečený kov	
				114	Zlá oprava formy	
				115	Pretryskaný odliatok	
				116	Otlačenie, otlčenie, pomliaždenie	
				117	Nesprávne odpálený, odrezaný a obrúsený odliatok	
		120	Chýbajúca časť odliatku s lomom	121	Odlomená časť odliatku za tepla	
				122	Odlomená časť odliatku za studena	
				123	Vyštípenie	
		130	Nedodržanie rozmerov, nesprávny tvar	131	Zlý model	
				132	Presadenie	
				133	Nevyhovujúce rozmery	
				134	Zbortenie, deformácia	
140	Nedodržanie hmotnosti odliatkov					
200	Chyby povrchu	210	Pripečeniny	211	Drsný povrch	
				212	Povrchové pripečeniny	
				213	Hlboké pripečeniny, zapečeniny	
		220	Zálupy	221	Zálupy na hornej ploche formy	
				222	Zálupy na dne formy	
				223	Zálupové sieťovanie	
		230	Nárastky	231	Vydutiny	
				232	Odretie, zhrnutie	
				233	Odtrhnutie, zosunutie	
				234	Erózia	
		240	Výronky			
		250	Výpotky			
		260	Zatečeniny	261	Zatečeniny spôsobené netesnosťou formy	
				262	Prasknuté jadro	
				263	Prasknutá forma	
		270	Nepravidelnosti povrchu odliatku	271	Pomarančová kôra	
				272	Zvrásnenie povrchu	
				273	Kiahne	
				274	Opálenie, vrstva okovín	
				275	Krupičky	
276	Jamková a kanáliková korózia					
277	Chemická korózia					
280	Chyby povrchovej ochrany odliatku					

TRIEDA CHÝB		SKUPINA CHÝB		DRUH CHYBY	
č.	Názov triedy	č.	Názov skupiny	č.	Názov druhu chýb
300	Porušenie súvislostí	310	Trhliny	311	Povrchové trhliny
				312	Podpovrchové trhliny
				313	Vnútorne trhliny
		320	Praskliny		
		330	Porušenie súvislosti v dôsledku mechanického poškodenia odliatku	331	Lom za tepla
				332	Lom za studena
		340	Porušenie súvislosti v dôsledku nespojenia kovu	341	Závaly
342	Nedokonalé spojenie				
400	Dutiny	410	Bubliny	411	Bubliny spôsobené kyslíkom
				412	Bubliny spôsobené vodíkom
				413	Bubliny spôsobené dusíkom
				414	Zahltený plyn
				415	Sieťové bubliny
		420	Bodliny		
		430	Odvareniny	431	Odvareniny od formy
				432	Odvareniny od chldítok a zalievateľných predmetov
				433	Odvareniny od vmetkov
		440	Stiahnutiny	441	Otvorené stiahnutiny
				442	Vnútorne, uzatvorené stiahnutiny
				443	Riediny
				444	Stiahnutiny od jadier alebo ostrých hrán formy
				445	Povrchové prepadliny
				446	Plynové stiahnutiny
500	Makroskopické vmetky a chyby makroštruktúry	510	Troskovitosť	511	Troskovitosť
				512	Troskovitosť
		520	Nekovové vrúseniny	521	Zadrobeniny
				522	Rozplavený piesok
				523	Odpadnutý náter
				524	Oxické blany
				523	Grafitové (uhlíkové) blany
		530	Makrosegregácia a vycedeniny	526	Čierne škvvrny
				531	Gravitačné odmiešanie
				532	Makroodmešovanie
				533	Stvolové vycedeniny
		534	Medzerové vycedeniny		
		540	Broky		
		550	Kovové vrúseniny		
560	Nevyhovujúci lom				

TRIEDA CHÝB		SKUPINA CHÝB		DRUH CHYBY	
č.	Názov triedy	č.	Názov skupiny	č.	Názov druhu chýb
600	Chyby mikroštruktúry	610	Mikroskopické dutiny	611	Mikrostiahnutiny
				612	Mikrobubliny
				613	Mikrotrhliny
		620	Vtrúseniny		
		630	Nesprávna veľkosť zrna		
		640	Nesprávny obsah štruktúrnych zložiek		
		650	Zatvrdnutina, zákalka		
		660	Obrátené zakalenie		
		670	Oduhličenie povrchu		
700	Chyby chemického zloženia a vlastnosti odliatku	680	Iné chyby mikroštruktúry	681	Retiazkový grafit
		710	Nesprávne chemické zloženie		
		720	Odchýlky hodnôt mechanických vlastností		
		730	Odchýlky hodnôt fyzikálnych vlastností		
		740	Nevyhovujúca homogenita odliatku		

Ak sa vyskytne chybný odliatok, je potrebné vykonať dôkladnú analýzu, ktorej cieľom je chybu špecifikovať, zistiť príčinu a spôsob predchádzania chýb pri ďalšej výrobe. V tab.2.1 je uvedený prehľad chýb odliatkov.

Odliatky s chybami sú v prípade, že je to ekonomické, opravované. Chyby odliatkov spôsobujú ekonomické straty pri výrobe a pôsobia aj negatívne na plynulosť výroby. Každá chyba znižuje akosť vyrábaného odliatku a stáva sa predmetom reklamácie.

Uvoľňovanie a čistenie odliatkov

Po odliatí formy, stuhnutí kovu a jeho ochladnutí musí byť odliatok z formy *uvoľnený*. Spôsob uvoľňovania odliatku závisí od technológie formovania (rámové, bezrámové) a konštrukcie zariadenia.

Uvoľňovanie odliatkov môže byť:

- **vytláčacie** - formovací materiál spolu s odliatkom vytlačený spravidla z oboch polovic formovacích rámov a až potom je na vytláčacom zariadení oddelený formovací materiál z odliatkov,
- **vytláčacie** - realizuje sa pneumatickými vibrátormi, na vytláčacích roštoch, v rotačných uvoľňovacích bubnoch, prípadne vibračnými vytláčacími dopravníkmi.

Účelom **čistenia odliatkov** je odstránenie jadier zhotovených z formovacej zmesi a zvyškov formovacích zmesí z povrchu odliatku. Spôsob *odstránenia jadier* závisí od druhu materiálu jadra, zložitosti dutín v odliatku, sériovosti a pod. Pri čistení povrchu odliatku je odstraňovaná z povrchu odliatku pripečená formovacia zmes. Podľa použitých prostriedkov môžeme používané technologické postupy rozdeliť na čistenie omieľaním, tryskaním, vodným prúdom a čistenie elektrochemické.

Oddeľovanie vtokovej sústavy a náliatkov

Technologický spôsob, ktorý bude použitý pri oddeľovaní vtokových sústav a náliatkov, je podmienený materiálom odliatku, jeho veľkosťou, tvarom a sériovosťou. Pri kusovej výrobe drobných odliatkov zo sivej liatiny a ocele sa vtoky, náliatky a výfuky odstraňujú odrazením kladivom. Takýmto spôsobom možno oddeľovať vtoky a náliatky zhruba do prierezu 16mm.

Náliatky veľkých prierezov a náliatky z húževnatých materiálov odstraňujeme rezaním plameňom alebo mechanickým rezaním.

Apretúra odliatkov

Posledná zlievarenská operácia má zabezpečiť, aby z odliatkov boli odstránené zbytky po vtokových sústavách, výfukoch, náliatkoch, otrepy, výronky, prípadne hrubé povrchové chyby. Malé odliatky sa upravujú ručným brúsením na stojanových brúskach. Pri vysokej sériovosti odliatkov je výhodné použiť automatické brúsiace stroje, prípadne priemyselné roboty. K dočisťovaniu odliatkov v menej prístupných miestach sa stále používajú ručné brúsky, elektrické, prípadne pneumatiké.

2.7 TECHNICKO-EKONOMICKÁ EFEKTÍVNOSŤ ZLIEVARENSKEJ VÝROBY

Výrobu kvalitných odliatkov s vysokou technicko-ekonomickou efektívnosťou je možné zabezpečiť pri efektívnom využívaní výrobných prostriedkov. Je potrebné hospodárne využívať suroviny, elektrickú energiu, zavádzať progresívne technológie, automatizovať výrobu a využívať moderné matematické a simulačné metódy pri neustálom znižovaní výrobných nákladov.

Ekonomická efektívnosť technologického procesu výroby odliatkov závisí:

- od tvarovej zložitosti, hmotnosti a rozmerov odliatkov,
- od druhu materiálu,
- od sériovosti výroby,
- od spôsobu výroby foriem a jadier a pod.

Dôležitým faktorom, ovplyvňujúcim technicko-ekonomické ukazovatele, je technologickosť konštrukcie odliatku, t.j. stupeň jeho zosúladenia s optimálnymi výrobnotechnologickými podmienkami výroby. Technologickosť konštrukcie odliatku možno posúdiť podľa výrobných ukazovateľov, ktoré určujú prácnosť, spotrebu kovu a výrobné náklady odliatkov. Je potrebné tiež určiť možnosť štandardizácie jednotlivých uzlov odliatkov (náliatkov, výfukov, hrúbok stien atd.), čo umožňuje použiť typové technologické procesy a zariadenia pri výrobe v zlievárni a pri nasledujúcom mechanickom obrábaní, znížiť výrobné náklady odliatkov a zvýšiť technicko-ekonomické ukazovatele. Dôležité je v predvýrobnej etape realizovať rozbor tejto technologickosti konštrukcie. V prípade, že výroba odliatku v daných podmienkach nie je ekonomicky účelná, odliatok sa nahradí zvarencom, výkovkom alebo ich kombináciou.

K dôležitým faktorom patrí aj výber vhodného materiálu na výrobu odliatku. Grafické liatiny majú v porovnaní s liatymi ocelami vyššie využitie tekutého kovu a taktiež ich obrábateľnosť je lepšia ako u ocelí. Hliníkové a horčíkové zliatiny sú cenovo pomerne

náročné. Používajú sa pre súčiastky malej mernej hmotnosti, vysokej tepelnej vodivosti a antikoročnosti. Zliatiny medi sú drahé a používajú sa pre odliatky, u ktorých sa vyžaduje vysoká tepelná a elektrická vodivosť, antikoročnosť a nízky koeficient trenia.

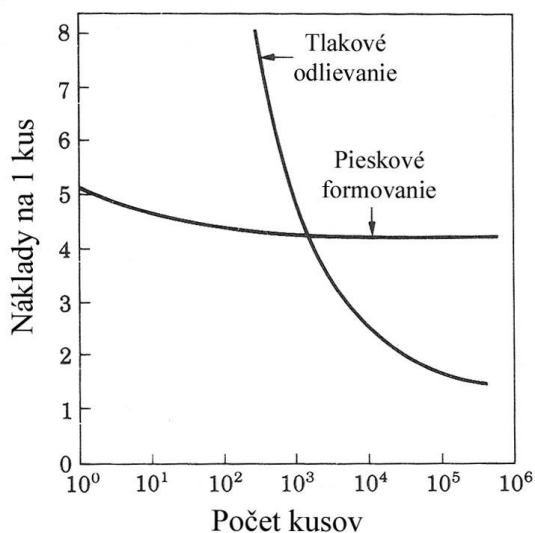
Zvýšenie sériovosti výroby znižuje výrobné náklady a prácnosť na výrobu jedného odliatku a zvyšuje sa produktivita práce. Aj pri kusovej výrobe je možné zvýšiť technicko-ekonomické ukazovatele. So zvýšením sériovosti výroby odliatkov je ekonomickejšie používať dokonalejšie, hoci aj drahšie zariadenia. Pre hodnotenie ekonomickej účelnosti výroby odliatkov určitou technológiou výroby sa používa metodika ekonomickej efektívnosti zavedenia navrhnutej technológie. Výrobné náklady odliatku sa určujú podľa príslušného variantu technológie výroby.

Jednotlivé zlievarenské procesy vyžadujú rôznu prácnosť, niektoré požadujú drahé formy a iné zase veľké množstvo času na dokončovacie operácie. Tieto dôležité charakteristiky zlievarenských procesov sú zobrazené v tab.2.2. Každý z jednotlivých zobrazených faktorov ovplyvňuje celkové náklady daného procesu odlievania.

Tabuľka 2.2 Náklady na vybrané typy zlievarenských procesov

Proces	Náklady			Výkonnosť (počet kusov/hod)
	Forma	Zariadenie	Práca	
Odlievanie do pieskových foriem	N	N	N - S	< 20
Odlievanie do škrupinových foriem	N - S	S - V	N - S	< 50
Odlievanie do sadrových foriem	N - S	S	S - V	< 10
Odlievanie na vytaviteľný model	S - V	N - S	V	< 1000
Nepretržité odlievanie	S	S	N - S	< 60
Tlakové odlievanie	V	V	N - S	< 200
Odstredivé odlievanie	S	V	N - S	< 50

N - nízke náklady, S - stredné náklady, V - vysoké náklady



Z tab.2.2 je zrejmé, že napr. odlievanie do pieskových foriem zahŕňa relatívne nízke náklady. Na druhej strane tlakové formy na odlievanie vyžadujú drahé materiály a pomerne zložitú technickú prípravu výroby, avšak výkonnosť procesov je odlišná. Okrem toho sú potrebné pre obidve technológie zariadenia pre tavenie a liatie roztaveného kovu do pieskových alebo kovových foriem.

Obr. 2.40 Ekonomické porovnanie odlievania do pieskových foriem a tlakového liatia

Tieto zariadenia predstavujú pece a príslušné manipulačné zariadenia, ktorých výška nákladov závisí od požadovanej úrovne automatizácie. V konečnom dôsledku celkové náklady musia zahrňovať aj náklady na čistenie a kontrolu odliatkov.

Náklady na zariadenia pre odlievajúce v prepočte na jeden odliatok sa budú znižovať so zvyšovaním počtu kusov odliatkov. Preto pri trvalých vysokých objemoch výroby sú opodstatnené vysoké náklady, potrebné na nástroje a zariadenia. Na druhej strane ak počet vyrobených kusov je relatívne malý, náklady na jeden odliatok sa rapídne zvyšujú. V takomto prípade sa ekonomickejšie javí vyrobiť súčiastku odlievaním do pieskových foriem alebo inou výrobnou technológiou. Na obr.2.40 je znázornená závislosť počtu kusov a nákladov, vynaložených na výrobu jedného kusu odliatku pre odlievajúce do pieskových foriem a pre tlakové odlievajúce. Pre odlievajúce sa v súčasnosti využíva široké spektrum zliatin železa a neželezných kovov, ktoré sa vyznačujú rôznymi vlastnosťami, charakteristikami zliavateľnosti a použitím. Pretože väčšina odliatkov je navrhovaná a vyrábaná pre montáž s ďalšími strojárskymi súčiastkami, pri voľbe materiálu je potrebné brať do úvahy aj ďalšie technologické vlastnosti ako sú zvariteľnosť, obrábateľnosť a iné.

Faktormi, ktoré ovplyvňujú celkové náklady na odlievajúce sú náklady na materiál, náklady na formy, resp. nástroje, náklady na výrobné zariadenia a cena práce, ktoré sú pri jednotlivých procesoch odlievajúce rôzne. Dôležitým parametrom sú náklady na jeden odliatok, na základe ktorých je možné rozhodnúť o možnosti automatizácie procesu odlievajúce.

Literatúra

- [1] BLAŠČÍK, F.: *Technológia tvárnenia, zlievárenstva a zvárania*. Bratislava : Alfa, 830 s., 1988.
- [2] BENKO, B. a kol.: *Technológia tvárnenia, zlievania a zvárania*. Alfa Bratislava, 1982.
- [3] BAČOVÁ, V. a kol.: *Technológia I, návody na cvičenia*. TU v Košiciach, 1988.
- [4] BHUSHAN, B.: *Handbook of tribology : materials, coatings, and surface treatments*. McGraw-Hill, Inc., 1991.
- [5] VASILKO, K. a kol.: *Nové materiály a technológie ich spracovania*. Alfa Bratislava, 1990. ISBN 80-05-00661-6.
- [6] ASM Handbook, Volume 15 - Casting. ASM International Handbook Committee, 2008.
- [7] GEDEONOVÁ, Z.: *Teória zlievania*. Alfa Bratislava, 1990. ISBN 80-05-00785-X.
- [8] MURGAŠ M. a kol.: *Technológia zlievárenstva*. STU Bratislava - MTF Trnava, 186 s., 2001. ISBN 80-227-1480-1.
- [9] BECHNÝ, L.: *Zlievárenská metalurgia a technológia*. Alfa, 1990.
- [10] MURGAŠ M. a kol.: *Teória zlievárenstva*. STU Bratislava - MTF Trnava, 291 s., 2002. ISBN 80-227-1684-7.
- [11] DURAND-CHARRE, M.: *Microstructure of Steels and Cast Irons Search*. Springer - Verlag, 2003.
- [12] CAMPBELL, J.: *Castings Search* Elsevier, 2001.
- [13] SKOČOVSKÝ, P.: *Materiály a technológia*. Žilinská univerzita v Žiline, 2004.
- [14] BOLIBRUCHOVÁ, D.: *Zlievárenská metalurgia - neželezné kovy*. Žilinská univerzita v Žiline, 2005.
- [15] *Casting Design and Performance Search*. ASM International, 2009.

- [16] HRIVŇÁK, I.: *Výber materiálov a nové materiálové technológie*. TU v Košiciach, 1996. ISBN 80-88786-39-8.
- [17] BEDNÁŘ, B. a kol.: *Technologičnost konstrukce I*. ČVUT Praha, 2005. ISBN 80-01-03268-X.
- [18] HLUCHÝ, M. a kol.: *Strojírenská technologie 2*. Scientia Praha, 1998. ISBN 80-7183-244-8.
- [19] STANČEK, L.: *Technológia I*. Bratislava, STU, 2006. 134 s. ISBN 80-227-2350-9.
- [20] VILČKO, J. - SLOVÁK, J.: *Zlievárenská technológia*. Bratislava : Alfa, 1987. - 496 s.
- [21] ELÍNEK, P.: *Pojivové soustavy slévárenských formovacích směsí*. Ostrava, 2004, 241 s. ISBN 80-239-2188-6.
- [22] GRÍGEROVÁ, T. a kol.: *Zlievárenstvo neželezných kovov*. Bratislava, Alfa, 1988. 421 s.
- [23] NOVOTNÝ, J. a kol.: *Technologie I*. ČVUT Praha, 1996. ISBN 80-01-02351-6.
- [24] ČADA, R. a kol.: *Základy strojírenské technologie*. Ostrava, VŠB-TU, 1996. 108 s. ISBN 80-7078-300-6 .
- [25] FREMOND, M. - S. Miyazaki: *Shape Memory Alloys*. Wien, Springer, 1996. 147 s. ISBN 3-211-82804-4.
- [26] MALIK, J. a kol.: *Špeciálne technológie v zlievarenstve*. Košice, TU, 2010. 186 s. ISBN 978-80-553-0397-0.
- [27] T.W. DUERIG et al.: *Engineering aspects of shape memory alloys*. London, 1990, 499 s., ISBN 0-750-61009-3.
- [28] CHRÁST, J.: *Slévárenská zařízení*. Brno, CERM, 2006. 256 s. ISBN 80-7204-455-9.
- [29] ŠENBERGER, J. a kol.: *Metalurgie oceli na odlitky*. Brno, VUTIUM, 2008, 311 s. ISBN 978-80-214-3632-9.
- [30] MICHNA, Š. - NOVÁ, I.: *Technologie a zpracování kovových materiálů*, Prešov, Adin, 2008, 326 s. ISBN 978-80-89244-38-6.

4 ZVÁRANIE A SPÁJANIE

4.1 ZVÁRANIE

Zváranie je metalurgický proces, pri ktorom sa vytvárajú **nerozoberateľné spoje** prostredníctvom medziatómových väzieb pôsobením **tepla, tlaku, alebo kombinácie tepla a tlaku súčasne**.

Procesy zvárania sú prevažne založené na lokálnom pôsobení tepla v mieste zvaru. Zvar a jeho okolie je zaťažené tepelným cyklom, ktorého charakteristiky sú závislé na použitej technológii zvárania.

Zvarové spoje je možné vyrobiť natavením základného /zváraného/ materiálu, resp. pomocou nataveného prídavného materiálu. Časť kovu, ktorá sa pri zváraní roztaví sa nazýva zvarový kov. Ten môže byť tvorený len pretaveným základným materiálom (odporové zváranie), alebo môže byť tvorený zliatinou pretaveného základného materiálu s prídavným materiálom. Natavovaný základný materiál sa vo zvarovom kúpeli premiešava bez alebo s prídavným materiálom a vytvára zvarový kov. Za zdrojom tepla sa znižuje teplota, roztavený kov tuhne a vzniká zvarová húsenica, pri odporovom zváraní namiesto húsenice vzniká tavný bod, šev alebo stykový spoj.

Na veľkosť a tvar zvarového kúpeľa majú vplyv:

- tepelný príkon pri zváraní,
- rýchlosť zvárania,
- termofyzikálne vlastnosti zváraného materiálu,
- hrúbka zváraného materiálu,
- použité prídavné materiály a pod.

Kov vo zvarovom kúpeli je počas zvárania v turbulentnom pohybe rôznymi smermi a rýchlosťami. Tieto konvekčné prúdy umožňujú prenos tepla a látky vo vnútri zvarového kúpeľa a spôsobujú ich mechanické účinky elektrického oblúka, elektromagnetické sily a rozdielnosť povrchového napätia.

Kryštalizácia zvarového kúpeľa začína pri poklese teploty roztaveného zvarového kovu pod teplotu tavenia.

Na proces kryštalizácie vplýva:

- množstvo dodávaného tepla do zvaru,
- smer pohybu zdroja tepla,
- teplotný gradient v čelnej časti zvarového kúpeľa,
- premiešanie zvarového kovu s roztaveným kovom základného materiálu,
- rýchlosť kryštalizácie,
- objemové množstvo zvarového kúpeľa,
- druh zváraných materiálov a iné.

Zvarové spoje musia byť celistvé. Najnebezpečnejšími necelistvosťami sú trhliny, ktoré pôsobia svojím vrubovým účinkom ako koncentrátoři napätia a môžu sa šíriť ďalej náhle (krehký lom) alebo postupne (únavový lom).

Zvariteľnosť ocele je veľmi dobrá, ak je možné jednoducho, bez obmedzujúcich podmienok získať zvarové spoje požadovaných vlastností. Naopak, ak pri zvarení musíme použiť obmedzujúce podmienky (predhrev, limitovanie merného tepelného príkonu atď.), materiál má obmedzenú zvariteľnosť.

Zvariteľnosť je možné rozdeliť na:

Metalurgickú - z hľadiska fyzikálnych, chemických, metalurgických a metalografických zmien, vyvolaných zvaracím tepelným cyklom. Rozhodujúci vplyv na zvariteľnosť má chemické zloženie zvaraného materiálu.

Technologickú - vplyv konkrétnej zvaračskej technológie a jej parametre (spôsob zvarania, prídavné materiály, tepelný príkon, postup kladenia vrstiev zvaru, tepelný režim zvarania, tepelné spracovanie zvarového spoja).

Konštrukčnú - patrí sem hrúbka zvaraného materiálu, umiestnenie, veľkosť, tvar zvaru, tvar a príprava zvarových plôch, podmienky stavu napätosti, deformácií, pnutí a pod.

Operatívna - napr. možnosti manipulácie so zvarencom. Skompletizovanie konštrukčného uzla až na mieste jeho inštalácie (časti mostov, lodí a pod.).

Metódy zvarania sú klasifikované v zmysle STN EN ISO 4063. Číselné označenie najpoužívanejších metód zvarania je prezentované v tab.4.1.

Tabuľka 4.1 Označenie metód zvárania podľa STN EN ISO 4063

1 oblúkové metódy zvárania	11 zváranie kovovou elektródou bez ochranej atmosféry	111 obalenou elektródou
		113 holou elektródou
		114 rúrkovou elektródou
		115 obaleným drôtom
		118 položenou elektródou
	12 zváranie pod tavivom	121 drôtovou elektródou
		122 páskovou elektródou
	13 v ochranej atmosfére taviacou sa elektródou	131 v inertnom plyne MIG
		135 v aktívnom plyne MAG
		136 plnenou elektródou v aktívnom plyne
14 v ochranej atmosfére netaviacou sa elektródou	141 volfrámovou elektródou v inertnom plyne, TIG, WIG	
15 plazmové zváranie	151 v inertnom plyne taviacou sa elektródou	
18 ostatné spôsoby oblúkového zvárania	181 uhlíkovou elektródou	
	185 zváranie rotujúcim oblúkom	
2 odporové metódy zvárania	21 bodové zváranie	
	22 švové zváranie	221 preplátované švové zv.
		222 rozvalcovacie švoze zv.
		225 pásikové švové zv.
	23 výstupové zváranie	
	24 odtavovacie stykové zváranie	
25 stláčacie stykové zváranie		
3 plameňové metódy zvárania	31 zváranie kyslíkovým plameňom	311 kyslíkovo-acetylénové
		312 kyslíkovo-propánové
		313 kyslíkovo-vodíkové
	32 zváranie vzduchovo-plynovým plameňom	321 vzduchovo-acetylénové 322 vzduchovo propánové
7 ostatné spôsoby zvárania	71 termitové zváranie	
	72 elektrotroskové zváranie	
	74 indukčné zváranie	
	75 zváranie svetelným žiarením	751 zváranie laserom
		753 zváranie infračerveným žiarením
76 elektrónové zváranie		

4.1.1 Zváranie plameňom

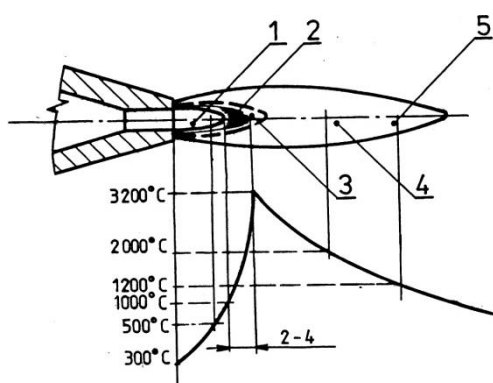
Zváranie plameňom je tavné zváranie, pri ktorom je zdrojom tepla pre roztavenie zváraného a prídavného materiálu plameň, v ktorom horí zmes horľavého plynu s plynom podporujúcim horenie. V zmysle STN EN ISO 4063 je zváranie plameňom označované ako metóda 311.

Horľavé plyny používané pri zváraní plameňom sú acetylén, metylacetylén, propán, etylén a metán. Z dôvodu najvyššej teploty plameňa je pre zváranie plameňom najpoužívanejším **acetylén (C₂H₂)**. Je to bezfarebný, nejedovatý plyn. S kyslíkom a so vzduchom tvorí výbušnú zmes. Vyrába sa rozkladom z karbidu vápnika vo vyvíjačoch. Rast objemu pri rozklade na C₂ + H₂ vedie k explozívnej reakcii. Dodáva sa rozpustený v acetóne vo fľašiach, ktorých vnútro na rozdiel od fliaš na kyslík vyplnía porézna látka, ktorá zastavuje možný rozklad acetylénu.

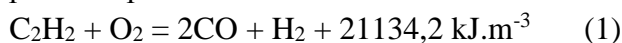
Horenie podporujúce plyny sú vzduch a kyslík. Pri zváraní plameňom sa používa výlučne **kyslík (O₂)**. Jedná sa o bezfarebný plyn bez chuti a zápachu, nejedovatý, podporujúci horenie. Vyrába sa delením skvapalneného vzduchu alebo elektrolýzou vody. Najdôležitejšia vlastnosť kyslíka je jeho reaktivita. Oxidačné a spaľovacie procesy prebiehajú v kyslíkom obohatenom prostredí podstatne rýchlejšie ako vo vzduchu. Pre silné oxidačné účinky nesmie prísť do styku s tukmi organického pôvodu. Radikálna oxidácia tukov môže viesť k ich vznieteniu a k explózií.

Proces zvárania plameňom

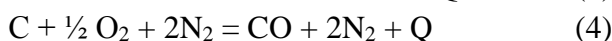
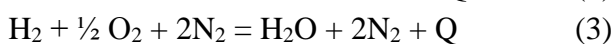
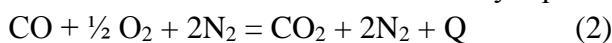
Teplu potrebné k roztaveniu základného a prídavného materiálu vzniká exotermickými reakciami pri spaľovaní horľavého plynu (acetylénu) s kyslíkom v primárnej a sekundárnej fáze horenia (obr.4.1). **V primárnej fáze** (tzv. nedokonalom spaľovaní) tesne okolo povrchu kuželového jadra plameňa do vzdialenosti 10mm od vrcholu jadra je oblasť plameňa s nepriaznivým redukčným účinkom na zvarový kúpeľ. Táto redukčná oblasť ochraňuje zvarový kúpeľ pred vzdušným kyslíkom.



Primárne horenie zmesi acetylénu a kyslíka prebieha podľa rovnice:



Sekundárne chemické reakcie s okolitým prostredím:



Obr.4.1 Kyslíkovo - acetylénový plameň a jeho oblasti

- 1 - jadro plameňa (zvárací kužeľ), 2 - závoj plameňa, 3 - redukčná oblasť (primárne spaľovanie),
4 - oxidačná oblasť (sekundárne spaľovanie), 5 - chvost plameňa,

Sekundárna fáza horenia (tzv. dokonalé spaľovanie) obklopuje redukčnú oblasť plameňa. Na spálenie splodín z tejto oblasti si príberá potrebný kyslík z okolitej atmosféry. Označuje

sa aj ako oxidačná oblasť plameňa. Tvorí chvost plameňa a na zvarový kúpeľ má oxidačný účinok.

Kyslíkovo - acetylénový plameň rozdeľujeme podľa dvoch základných hľadísk:

Podľa pomeru miešania plynov:

- **neutrálny plameň**, s pomerom miešania plynov $O_2:C_2H_2$ 1-1,2 : 1. Zvárací kužeľ je ostro ohraničený so zaobleným koncom. Je najpoužívanejší pre zváranie. Nemení chemické zloženie zvarového kovu.
- **redukčný (nauhlíčujúci) plameň** s prebytkom acetylénu. Plameň nauhlíčuje zvarový kov. Zvar je krehký, tvrdý a pórovitý. Používa sa na zváranie hliníka, horčíka a ich zliatin, taktiež sa používa na naváranie tvrdých kovov a na cementovanie.
- **oxidačný plameň** s prebytkom kyslíka. Zvárací kužeľ je kratší a podľa prebytku kyslíka sa zafarbuje do modrofialova. Prebytočný kyslík už spaľuje oxid uhoľnatý na oxid uhličitý, redukčná oblasť sa zmenšuje, až sa úplne stratí a plameň sa stáva oxidačným. Používa sa na zváranie mosadze a niektorých bronzov.

Podľa výstupnej rýchlosti zmesi O_2 a C_2H_2 z horáka:

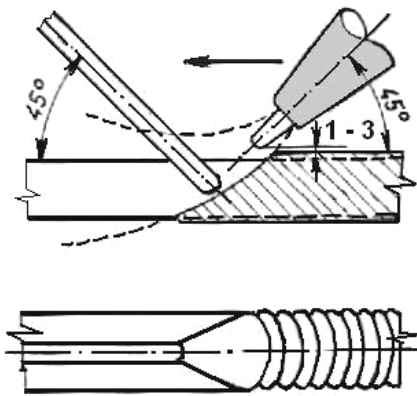
- **mäkký**, ktorého výstupná rýchlosť zmesi z horáka je $70 - 100m.s^{-1}$. Plameň je nestabilný, náchylný k spätnému šľahnutiu. Pre zváranie sa takmer nepoužíva.
- **stredný** s výstupnou rýchlosťou plameňa $100 - 120m.s^{-1}$. Najpoužívanejší pri zváraní.
- **ostrý** s výstupnou rýchlosťou plameňa viac ako $120m.s^{-1}$. Plameň má veľký dynamický účinok na roztavený zvarový kov. Používa sa prevažne pre rezanie plameňom.

Spôsoby zvárania plameňom

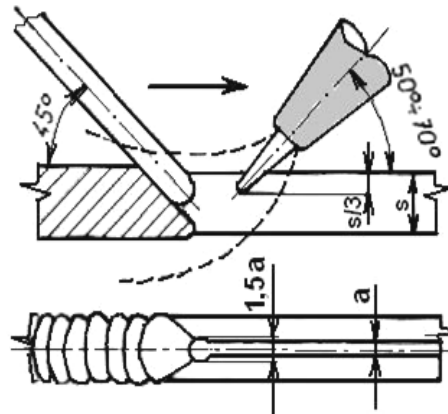
Podľa spôsobu vedenia horáka a prídavného materiálu v závislosti od smeru zvárania sa rozlišujú dva spôsoby zvárania:

Zváranie dopredu (ľavosmerné) (obr.4.2) pri ktorom je zvárací drôt vedený pred horákom v smere zvárania. Zvárat' sa začína na pravom okraji a postupuje sa smerom doľava. Rizikom je nebezpečenstvo nedokonalého prevarenia koreňa zvaru vplyvom predbiehania zvarového kúpeľa. Zváranie dopredu sa používa pri zváraní tenkých plechov do hrúbky 4mm. Plameň nechráni zvar pred prístupom vzduchu. Tento spôsob umožňuje rýchle zváranie, avšak zvar rýchle chladne, vznikajú pnutia, zvyšuje sa jeho tvrdosť a krehkosť.

Zváranie dozadu (pravosmerné) (obr.4.3) pri ktorom je zvárací drôt vedený za horákom. Zvárat' sa začína z ľavej strany a postupuje sa doprava. Výhodou je dokonalé prevarenie koreňa. Plameň spomaľuje chladnutie a chráni zvar pred prístupom vzduchu a pred oxidáciou, čo zlepšuje mechanické vlastnosti, zmenšuje pnutia a deformácie. Zváranie dozadu sa používa pre zváranie plechov hrubších ako 4mm.



Obr. 4.2 Princíp zvárania dopredu



Obr. 4.3 Princíp zvárania dozadu

Zváracie zariadenie pre zváranie plameňom

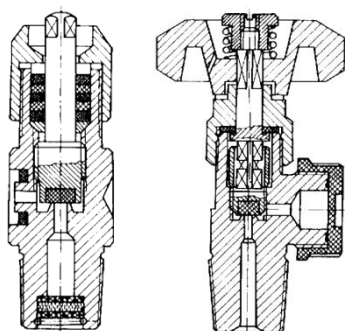
Zariadenie pre zváranie plameňom pozostáva z oceľových fliaš na stlačené plyny, fľašových ventilov, redukčných ventilov, hadíc, ochranného príslušenstva (poistky, vodné a suché predlohy), zváracích horákov.

Fľaše pre zvaračské plyny pozostávajú z vlastného telesa fľaše, hrdlového krúžku, fľašového ventilu, ochranného klobúčika ventilu, resp. LC - ochranného strmeňa ventilu. Vyrábajú s veľkosťou 50, 40, 20 a 5 litrov. Fľaše sú farebne označované podľa STN EN 1089-3 a na hrdle majú vyrazené nasledujúce údaje: evidenčné číslo fľaše, značku výrobcu, plný názov plynu, značku plynu, vodný obsah fľaše, hmotnosť prázdnej fľaše bez ochranného klobúčika, plniaci a skúšobný tlak a dátum poslednej tlakovej skúšky. Fľaše na kyslík s plniacim tlakom 30MPa majú minimálnu hrúbku steny 7mm. Fľaše na acetylén so skúšobným tlakom 6MPa majú minimálnu hrúbku steny 3mm. Pórovitá hmota v acetylénovej fľaši musí byť nasýtená acetónom, ktorého obsah nesmie klesnúť pod 16 litrov.

Fľašové ventily (obr.4.4) slúžia na uzatváranie a otváranie fliaš a na pripojenie redukčných ventilov. K hrdlu fľaše sú upevnené kužeľovým závitom W 28,8. V závislosti od použitých plynov sa od seba líšia svojou konštrukciou a materiálom. Na kyslík sa používajú uzatváracie ventily z lisovanej mosadze, resp. povrchovo upravenej ocele a ventil sa otvára kolieskom. Pre acetylén sa používajú uzatváracie ventily z ocele a otvárajú sa odoberateľným kľúčom.

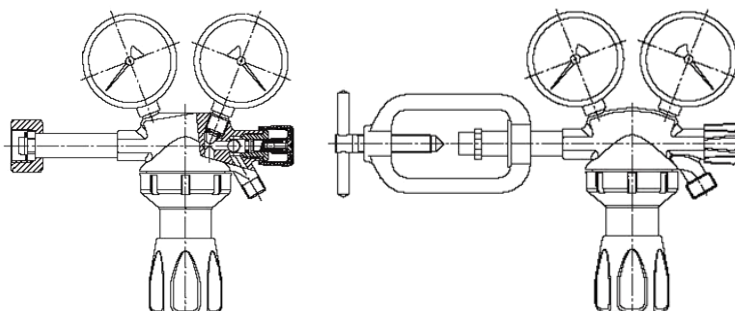
Redukčné ventily sú zariadenia, ktoré znižujú (redukujú) vysoký vstupný tlak plynu na potrebný pracovný tlak a ich úlohou je taktiež udržiavať nastavený pracovný tlak na konštantnej hodnote bez ohľadu na pokles tlaku plynu vo fľaši. Podľa STN EN ISO 2503 rozlišuje redukčné ventily kyslíkové, acetylénové a pod. Pracovný tlak je ventilom pri kyslíku regulovaný na 3 až 5 MPa, pri acetyléne na 1,5 MPa. Redukčné ventily sa od seba líšia v spôsobe pripojenia na fľašový ventil. Kyslík sa pripája pomocou presúvnej matice (obr.4.5a) a acetylén pomocou strmeňa (obr.4.5b). Podľa stupňa redukcie sú redukčné

ventily jedno a viacstupňové. Podľa konštrukcie sa redukčné ventily delia na ventily s priamym alebo opačným vstupom plynu.



a) b)

Obr. 4.4 Fľašové uzatváracie ventily
a - pre acetylén, b - pre kyslík



a) b)

Obr. 4.5 Redukčné ventily
a - pre kyslík, b - pre acetylén

Zváraacie hadice sú gumové zosilnené plátňovými vložkami a slúžia pre prívod zváracích plynov z redukčných ventilov do zváracieho horáka. Pre prívod acetylénu, resp. iných horľavých plynov sa používajú hadice červenej farby s vnútorným priemerom ϕ 8mm. Pre prívod kyslíka sa používa sivá (sivomodrá) resp. čierna hadica s vnútorným priemerom ϕ 6,3 mm. Minimálna dĺžka hadíc pre zváranie je 5 m. Maximálna dĺžka hadíc nie je obmedzená. Rozvod plynov na stále pracoviská sa v praxi často rieši pomocou potrubí.

K **bezpečnostnému príslušenstvu** zváraciej súpravy patria **hadicové poistky**, ktoré zabraňujú spätnému šľahnutiu plameňa. Sú umiestnené 1m od zváracieho horáka. Ďalším prvkom zabraňujúcim spätnému šľahnutiu plameňa a prenikaniu kyslíka pri poruche horáku do zdroja acetylénu sú **predlohy**. Sú umiestnené na acetylénových fľašiach za redukčným ventilom. Z konštrukčného hľadiska ich delíme na mokré a častejšie používané suché predlohy.

Zváraací horák umožňuje miešanie plynov na horľavú zmes potrebného zloženia. Z konštrukčného hľadiska ich delíme na injektorové (najpoužívanejšie), bezinjektorové a špeciálne.

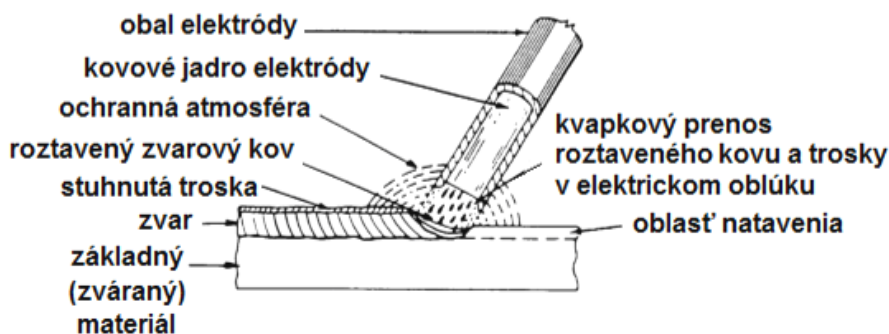
Príprava zvarových plôch pre zváranie plameňom predpokladá čistenie povrchu v mieste zvárania mechanickými a chemickými spôsobmi a tiež vhodnú úpravu zvarových plôch v závislosti od hrúbky materiálu. Prípravu zvarových plôch predpisuje STN EN ISO 9692-1.

Prídavné materiály pre zváranie plameňom sú definované podľa STN EN 12536. Pre zváranie plameňom sa používajú prídavné materiály vo forme drôtu dodávaného v kotúčoch alebo tyčkách metrovej dĺžky s priemerom ϕ 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6 a 8 mm. Priemer prídavného drôtu závisí od hrúbky zváraného základného materiálu.

Zváranie plameňom sa uplatňuje najmä pri zváraní tenkých ocelových plechov, neželezných kovov a ich zliatin. Nevýhodou procesu je výrazné tepelné ovplyvnenie zváraných materiálov a nízka produktivita zvárania.

4.1.2 Ručné oblúkové zváranie

Ručné oblúkové zváranie (ROZ) obalenou elektródou, medzinárodne označované MMAW (Manual Metal Arc Welding) a podľa STN EN ISO 4063 číselne označované ako metóda 111 je tavným spôsobom zvárania. Zdrojom tepla je elektrický oblúk, ktorý počas zvárania horí medzi koncom odtavujúcej sa obalenej elektródy a základným materiálom (obr.4.6). Prídavný materiál (obalená elektróda) pozostáva z kovového jadra a obalu. Počas horenia elektrického oblúka sa postupne taví a vo forme kvapiek prechádza do zvarového kúpeľa, pričom tvorí podstatný podiel zvarového kovu. Pohyb elektródy je ručný a vykonáva ho zvárač.



Obr. 4.6 Ručné oblúkové zváranie obalenou elektródou

Elektrický oblúk je intenzívne svietiaci ohraničený svetelný výboj vo vzduchu alebo v plyne medzi dvoma elektródami. Tento elektrický svetelný výboj má kruhový prierez (priemeru 1 až 10 mm) a vysokú teplotu (3000 až 6000°C). Vzniká pri prúdoch nad 0,3 A. Zvárací elektrický oblúk má dĺžku 2 až 7 mm, prúd 10 až 2000 A a napätie 10 až 50 V. Elektródy pripojené na zdroj elektrického prúdu priložením k sebe (dotyk) sa zohrejú (rozžeravia). Oddialením elektród nedôjde k prerušeniu prúdu, pretože plynné prostredie (ináč izolant) sa stáva vodivým. Toto plynné prostredie má svoj odpor a tlak, následkom čoho oblúk už nezávisí od teploty elektród, ale naopak ohrieva elektródy (obr.4.7).

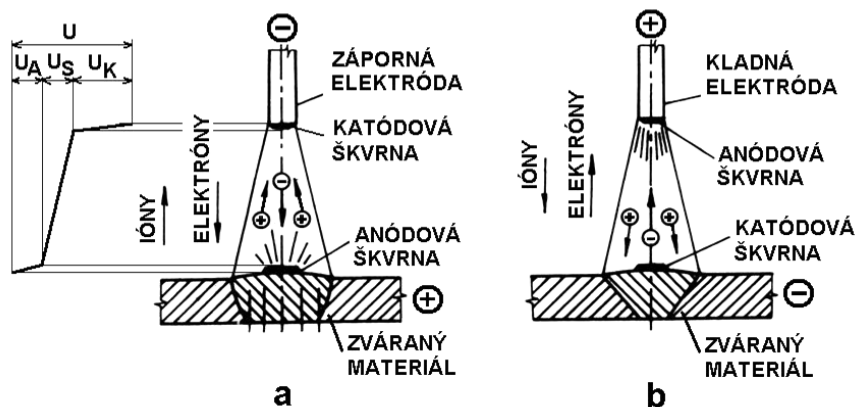
So zväčšovaním oblúka napätie medzi elektródami klesá. Pri striedavom prúde oblúk zhasína a elektródy sa rovnomerne odtavujú. Pri jednosmernom prúde dochádza k rozdielnemu odtavovaniu elektród. Elektróda pripojená na plus pól sa odtavuje dvakrát rýchlejšie ako elektróda na mínus póle.

Elektrický oblúk má tieto charakteristické oblasti:

- na povrchu elektródy, pripojenej na mínus pól, ktorá je katódou sa tvorí **katódová škvrna**, cez ktorú prechádza prúd. Elektróda emituje elektróny (e^-),
- na povrchu elektródy, pripojenej na plus pól, ktorá je anódou vzniká **anódová škvrna**. Elektróda pohlcuje (e^-),
- stredná časť plynového stĺpca tvorí skoro celú dĺžku elektrického oblúka.

Všetky tri stĺpce obaluje obálka, ktorá sa nazýva plazma.

Plazma je definovaná ako disociácia molekúl. Molekuly sa rozpadajú na atómy pričom sa zvyšuje ionizácia. Navonok je elektricky neutrálna, vo vnútri je elektricky vodivá.



Obr. 4.7 Proces horenia elektrického oblúka pri ROZ
a) zváranie priamou polaritou, b) zváranie nepriamou polaritou

Metalurgické deje pri ROZ

Na prenos kovu z odtavujúcej sa elektródy do zvarového kúpeľa najviac vplývajú silové účinky prúdu, chemické reakcie, povrchové napätie a dynamické sily plynov. Tieto činitele majú rozhodujúci vplyv na rozstrek zvarového kovu, hĺbku závaru a celkovú kvalitu zvarového spoja. Na základe procesu tvorby, oddeľovania a urýchľovania kvapiek kovu v oblúku môže byť prenos kovu bezskratový a skratový.

Parametrami ručného oblúkového zvárania sú:

Zvárací prúd, ktorého veľkosť závisí od priemeru elektród, zváraných hrúbok materiálu, úrovne legovania elektród, obalu elektród, polohy zvárania a geometrického tvaru úkosu v mieste zvárania. Pri zváraní ROZ je najpoužívanejší jednosmerný prúd. Čím je väčší zvárací prúd, tým väčší je prievar a rýchlosť odtavovania prídavného materiálu.

Polarita zváracieho prúdu vplýva na rozmery zvaru a hĺbku prievaru. Elektródy bázické a rutilové pre nehrdzavejúce materiály sa pripájajú na kladný pól, (tzv. nepriama polarita). Pri nepriamej polarite sa potláča premiešanie zvarového kovu so základným materiálom. Bežné rutilové a kyslé elektródy sa pripájajú na záporný pól, (priama polarita). Pri priamej polarite dochádza k väčšej hĺbke závaru.

Zváracie napätie závisí od dĺžky zváracieho oblúka, jeho elektrofyzikálnych vlastností a od prúdovej hustoty. Dĺžku zváracieho oblúka nepretržite reguluje zvärač ručným prísunom elektródy v jej axiálnom smere do miesta zvaru, čím kompenzuje jej odtavovanie. U bázických elektród pri zváracom napätí od 20 do 25V je optimálna dĺžka oblúka rovná polovici priemeru jadra elektródy. U kyslých elektród pri zváracom napätí od 28 do 32V je dĺžka oblúka rovná priemeru jadra.

Rýchlosť zvárania, ktorú reguluje zvärač má veľký vplyv na kvalitu zvaru. Priamo súvisí s merným tepelným príkonom zvárania, ktoré má rozhodujúci vplyv na deformácie a zvyškové napätia vo zvaroch. Rýchlosť zvárania nepriamo súvisí aj s veľkosťou zvarového kúpeľa, druhu a priemeru elektród.

Zariadenie pre ROZ pozostáva zo **zdroja zváracieho prúdu** (jednosmerného - usmerňovače, invertory alebo striedavého - transformátory). Zdroje zváracieho prúdu sa delia podľa spôsobu premeny energie na zdroje točivé, ktorými sú dynamá a zdroje netočivé,

kde patria transformátory, usmerňovače a invertory. Súčasťou zariadenia sú **vodiče elektrického prúdu** s medeným jadrom, ukončené **držiakom elektród**, resp. **kontaktnou svorkou**. Držiak elektród (zváracie kliešte) zabezpečuje prívod elektrického prúdu na obalenú elektródu. Kontaktná svorka v kontakte so zváraným materiálom uzatvára elektrický obvod, ktorého súčasťou sú aj obalené elektródy. Parametre zvárania je možné meniť pomocou regulačného panela zväračky.

Prídavné materiály pre ručné zváranie elektrickým oblúkom

Elektródy pre ručné oblúkové zváranie sa volia v závislosti od účelu ich použitia. Pre nosné zvary sa volia elektródy, ktoré vytvoria zvarový kov **podobných**, resp. **rovnakých vlastností ako zvárané materiály**.

Na zváranie elektrickým oblúkom sa používajú (hrubo, stredne a tenko) obalené elektródy.

Elektróda pre ROZ pozostáva z **jadra a obalu**.

Jadro tvorí drôt vyrobený napr. z nelegovanej, nízkouhlíkovej ocele pre skupinu nelegovaných, resp. nízkolegovaných elektród, alebo austenitická oceľ typu 18/8 (Cr/Ni) pre skupinu austenitických elektród.

Obal elektródy sa nanáša lisovaním, alebo máčaním. Skladá sa z (ionizačných, plynotvorných a troskotvorných) zložiek definovanej zrnitosti, spojenej spojivami do hustej hmoty.

Obal elektródy má niekoľko funkcií a to:

Elektrickú pre zlepšenie zapalovania a stabilizácie elektrického oblúka pomocou ionizačných prvkov K, Na, Ca, Al a oxidy titánu. Na stabilitu elektrického oblúka negatívne vplyva fluór, ktorý pohlcuje voľné elektróny.

Fyzikálnu pre zabezpečuje ochrany roztaveného kovu pred prístupom O₂ a H z okolitej atmosféry, spomalenie ochladzovania zvarového kovu, uľahčenie zvárania v polohách. Upravuje povrchové napätia a formovanie zvarového kovu pokrytého troskou.

Metalurgickú ako bariéru medzi roztaveným kovom a účinkami okolitej atmosféry plynov vytvorením ochranného prostredia CO₂, čiastočne CO. Táto ochrana vzniká pri tepelnej disociácii uhličitanov (CaCO₃, MgCO₃, BaCO₃), alebo tepelnou disociáciou organických látok, napr. celulózy. Zabezpečuje dezoxidáciu zvarového kovu prvkami (Mn, Si, Ti, Al, Zr) s vyššou afinitou ku kyslíku ako má Fe. Umožňuje rafináciu zvarového kovu, znížením obsahu S a P pomocou Ca prípadne Mn. Zlúčeniny CaS a MnS majú vhodnejšiu morfológiu vo zvarovom kove ako FeS. Poslednou najdôležitejšou metalurgickou úlohou obalu je legovanie zvarového kovu prvkami (C, Mn, Si, Cr, Mo, Ni, V, Al atď.)

Na povrchu zvarových spojov zhotovených ROZ sa nachádza vrstva **trosky**. Od trosky sa požaduje jej ľahká odstrániteľnosť z povrchu zvarových húseníc (predovšetkým v koreni zvarových spojov), menšia merná hmotnosť voči zvarovému kovu, nižšia teplota tavenia a dobrá viskozita pri pokrývaní zvarovej húsenice.

Druhy obalených elektród pre ROZ definuje STN EN ISO 2560

A	= kyslý obal	R	= rutilový obal
C	= celulózový obal	RR	= hrubý rutilový obal
B	= bázický obal	RC	= rutilovocelulózový obal
		RA	= rutilovokyslý obal
		RB	= rutilovobázický obal

Elektródy s kyslým obalom (A) v obale obsahujú SiO_2 , oxidy železa a feromangán. Pri zváraní elektróda dáva riedko tečúci kov, čo je nevhodné pri zváraní v polohách. Zvarový kov má z dôvodu vysokého obsahu O_2 a oxidov horšie plastické vlastnosti a húževnatosť ako zvarové kovy vytvorené B a R elektródami. Zvára sa vyššou prúdovou hustotou ako pri elektródach s obalmi B a R, čo spôsobuje hlboký priepar a vyššiu rýchlosť zvárania. Sú vhodné pre zváranie priamou polaritou jednosmerným aj striedavým prúdom.

Elektródy s organickým obalom (celulózovým) (C) v obale obsahujú celulózu, dextrín, škrob, rašeliny a iné organické látky. Pri zváraní vzniká väčšie množstvo ochranného plynu s malým množstvom trosky. Elektródy obsahujú relatívne vysoké množstvo H_2 v obale a sú náchylné na vlhnutie. Zvarový kov má horšie plastické vlastnosti než bázické elektródy. Prednosťou týchto elektród je vysoká rýchlosť zvárania.

Elektródy s rutilovým obalom (R) v obale obsahujú rutil (TiO_2). Elektródy sú vhodné pre zváranie vo všetkých polohách. Vyžadujú si krátky zvaráci oblúk. Rutil zlepšuje podmienky ionizácie pri zapaľovaní oblúka, čo sa využíva najmä pri stehovaní. Dobrá ionizácia umožňuje zvärať striedavým prúdom. Pre zváranie jednosmerným prúdom sa používa nepriama polarita.

Elektródy s bázickým obalom (B) v obale obsahujú zásadité látky (uhličitan vápenatý, fluorid vápenatý - kazivec, ferozliatiny a pod). V praxi najpoužívanejší typ elektródy. Zvarový kov má vysokú húževnatosť, je husto tekutý, čo umožňuje zváranie vo všetkých polohách. Sú vhodné pre zváranie jednosmerným prúdom nepriamou polaritou.

Elektródy s prechodovými typmi obalov (RR, RC, RA, RB) umožňujú získať kompromisné vlastnosti jednotlivých základných typov obalov. Poskytujú možnosti zvyšovania pevnostných vlastností so zvyšovaním operatívnych vlastností a pod.

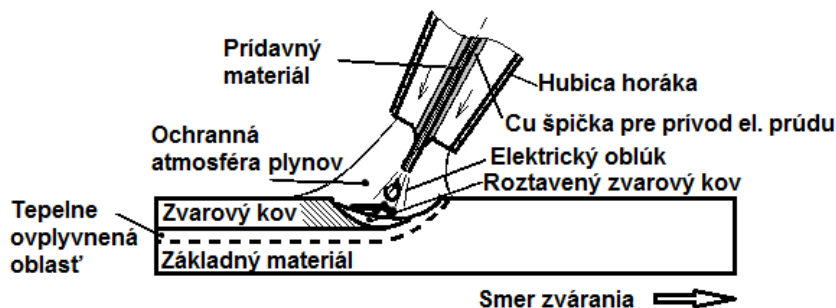
Všetky obalené elektródy sú citlivé na atmosférickú vlhkosť, preto ich treba pred zváraním výrobcom predpísanú dobu sušiť v sušičke.

Obalené elektródy majú normalizované priemery v rozsahu ϕ 2,0; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8 mm a dĺžky od 200; 250; 300; 350; 450 mm.

Ručné oblúkové zváranie je najstarším no stále často používaným oblúkovým spôsobom zvárania v strojárskom priemysle pri zváraní resp. stehovaní oceľových plechov. Jeho nevýhodou je limitovaná dĺžka zvarových spojov dĺžkou zvaracej elektródy a tiež následné pracné čistenie povrchov zvarov od trosky, najmä u viacvrstvových zvarov.

4.1.3 Zváranie taviacou sa elektródou v ochranných atmosférach plynov

Zváranie taviacou sa elektródou v ochranných atmosférach plynov, alebo tiež technológia označovaná skratkami (MIG - Metal Inert Gas,) / (MAG - Metal Active Gas), resp. (GMAW - Gas Metal Arc Welding) a na výkresoch podľa STN EN ISO 4063 ako metóda 131, resp. 135 a pre rúrkové drôty 136 je tavnou technológiou zvárania. Elektrický oblúk horí medzi koncom kontinuálne podávanej taviacej sa elektródy a základným materiálom v ochrannej atmosfére inertného plynu, resp. aktívneho plynu. (obr.4.8).



Obr. 4.8 Schéma zvarovania taviacou sa elektródou v ochranných atmosférach plynov

V elektrickom oblúku dochádza primárne k ionizácii kovových výparov zo základného a prídavného materiálu a až sekundárne k disociácii a ionizácii ochranných plynov.

Metalurgia zvarovania MIG/MAG

Použitý druh ochrannej atmosféry plynov významnou mierou vplyva na kvalitu zvarových spojov a metalurgické deje počas zvarovania. Kým pri metóde MIG sa v oblasti zvaru nachádza inertná atmosféra nepodieľajúca sa na metalurgických (oxidačno - redukčných) procesoch a plyn plní výlučne ochrannú funkciu zvarového kovu pred negatívnym vplyvom okolitej atmosféry, pri metóde MAG sa plyn aktívne podieľa na metalurgických procesoch zvarovania. Aktívnym plynom používaným pri metóde MAG je CO_2 , ktorý má najsilnejší oxidačný účinok.

Oxid uhličitý v oblasti vysokých teplôt disociuje, pričom sa predpokladá existencia voľných atómov kyslíka. Stupeň disociácie závisí od teploty. Úplná disociácia nastáva pri teplote 6500°K . Plyn v styku s kvapkami má nižšiu teplotu preto nastáva iba čiastočná disociácia. Voľný kyslík reaguje s kvapkami roztaveného kovu, pričom sa uvoľňuje teplo. V oblasti oblúka sa nachádza aj vlhkosť ktorá spôsobuje vznik vodných pár.

V tekutom kove prebiehajú oxidačné procesy intenzívnejšie v elektrickom oblúku ako v roztavenom zvarovom kove. Pri týchto procesoch dochádza k vypaľovaniu prvkov podľa ich afinity ku kyslíku. V závislosti od afinity ku kyslíku je možné chemické prvky v prídavných materiáloch rozdeliť na aktívne a stabilné. Aktívne (rýchlo reagujúce) sú C, Zr, Ti, Al, V, Si, Mn. Stabilnými (pomaly reagujúcimi) sú Cr, Fe, Mo, Ni, Cu.

Rýchlosť tuhnutia zvarového kovu by mala umožniť uniknúť CO z roztaveného zvarového kovu. Dezoxidačnými činidlami prídávanými do prídavných materiálov sú Mn, Si a Al, ktoré zabezpečuje jemnozrnnosť štruktúry najmä pri zvarovaní jemnozrnných ocelí.

Pri MAG zváraní v čistom CO₂ dochádza až k 50% prepalu pôvodného obsahu u prvkov ako Zr, Ti, Al.

Parametre zvárania MIG/MAG

Zvárací prúd - pri zváraní sa používa jednosmerný prúd. So zvyšujúcim prúdom sa zväčšuje hĺbka prievaru, prevýšenie zvaru, šírka húsenice a súčiniteľ roztavenia. Pre zváranie Al a jeho zliatin sa používa striedavý prúd, kde sa uplatňuje čistiaci účinok prúdu. Veľkosť zváracieho prúdu je priamo úmerná rýchlosti odtavovania drôtu.

Polarita pri zváraní v ochranných atmosférach MIG, MAG sa používa nepriama polarita (+ pól na zváracom drôte). Pri priamej polarite (- pól na zváracom drôte) je menší prievar, väčší rozstrek a menšia stabilita elektrického oblúka, čo je pre zváranie nevhodné.

Napätie oblúka - pri zvyšovaní oblúka rastie dĺžka oblúka a kontrakčný účinok okolitých plynov na oblúkový stĺpec a anódovú škvŕnu. Zintenzívňujú sa chemické reakcie a frekvencia odkvapkávania. So zvyšovaním napätia oblúka sa zvyšuje aj množstvo nečistôt vo zvarovom kúpeli, zvar je menší, húsenica širšia a súčiniteľ roztavenia klesá. Nízke napätie oblúka spôsobuje prevýšenie prechodu zvar - základný materiál.

Rýchlosť zvárania - vplýva na tvar kráteru vo zvarovom kúpeli, napätia, deformácie a šírku zvarovej húsenice. Pri ručnom zváraní je rýchlosť zvárania v rozsahu 100 až 600 mm.min⁻¹, pri automatizovanom spôsobe až 1200 mm.min⁻¹.

Vyloženie zváracieho drôtu je vzdialenosť drôtu od jeho výstupu z kontaktnej koncovky po oblúk. Náhle zmeny vyloženia elektródy počas zvárania vplývajú nepriaznivo na stabilitu zváracieho procesu. Veľké vyloženie drôtu má negatívny vplyv na efektívnosť ochrannej atmosféry plynov. Malé vyloženie drôtu spôsobuje prehrievanie a znečistenie hubice horáka rozstrekom zvarového kovu.

Vzdialenosť hubice horáka (plynovej dýzy) je pri zváraní v rozsahu 15 až 25 mm.

Uhol sklonu, ktorý zvierá os horáka so smerom pohybu horáka.

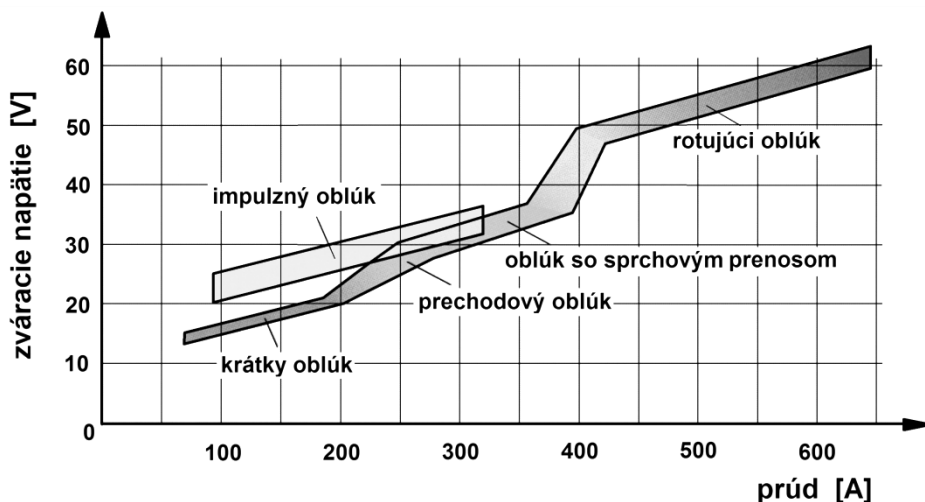
Uhol odklonu, ktorý zvierá rovina pohybujúceho sa horáka s vertikálnou rovinou.

Ochranný plyn sa skladá z viacatomových molekúl, ktoré oblúk ochladzujú. V jeho bezprostrednej blízkosti nastáva dislokácia molekúl na atómy a k tomu je potrebné veľké množstvo tepla, ktoré sa odoberá z oblúka. Druh ochranného plynu vplýva na tvar a rozmery zvaru. Výtok plynu má byť laminárny (nie turbulentný), aby neprisával vzduch do ochrannej atmosféry. Pri zvyšovaní prietoku klesá súčiniteľ roztavenia. Ochranné plyny pre zváranie sú klasifikované v zmysle STN EN ISO 14175.

Povrch zváraného materiálu vyžaduje rovnakú čistotu ako pri iných technológiách zvárania. Zvarové plochy sú pripravené trieskovým obrábaním. Tvar a rozmery zvarových plôch v závislosti od zváraných hrúbok predpisuje STN EN ISO 9692-1.

Pri ručnom zváraní sa tak ako pri zváraní plameňom používa ľavosmerné zváranie (dopredu), ak je uhol sklonu horáka väčší ako 90° a pravosmerné zváranie (dozadu), kde uhol sklonu horáka je menší ako 90°, vhodné pre zváranie tenkých plechov krátkym oblúkom vo vodorovnej polohe zhora (PA - STN ISO 6947). Pri dlhom oblúku sa aplikujú oba spôsoby zvárania.

Zmenou zväracieho prúdu a zväracieho napätia dochádza k zmene zväracieho oblúka, tiež prenosu roztaveného prídavného materiálu. čo je prezentované na obr.4.9. Prenos kovu závisí od zväracieho prúdu, prúdovej hustoty, napätí v oblúku, druhu zväracieho prúdu, polarít, druhu a priemeru elektródy a druhu ochranného plynu.



Obr. 4.9 Použitie zväracích oblúkov v závislosti na zväracom napätí a zväracom prúde (pre priemer elektródy $\varnothing 1,2$ mm)

Na druh zväracieho oblúka vplyva, druh použitého ochranného plynu, hrúbka zváraného plechu a pozícia zvaru.

Prenos kovu pri zváraní jednosmerným prúdom nepriamou polaritou môže byť:

- **skratový prenos** - (tzv. máčavý prenos), alebo prenos krátkym oblúkom prebieha pri zväracom napätí od 14 do 20 V. Používa sa pri zváraní tenkých plechov, zváraní v polohách a zváraní koreňa. Prechod materiálu nastáva v skrate v oblúku o dĺžke cca. 3mm s nepatrným rozstrekom. K oddelovaniu kvapiek kovu dochádza tzv. pinch-efektom.
- **poloskratový prenos** vzniká pri zväracom napätí od 18 do 28 V. Vyšší tepelný výkon oblúka poskytuje väčší zvarový kúpeľ a lepšie formovanie zvaru v porovnaní so skratovým prenosom.
- **prenos voľným letom** (tzv. bezskratový prenos) prebieha pri zväracom napätí od 25 do 35 V pri dĺžke oblúka cca. 6 mm. Rozmery a frekvencia kvapiek taviaceho sa prídavného materiálu závisia na veľkosti zväracieho prúdu, chemickom zložení materiálu, ochrannom plyne a priemere elektródy. Prenos voľným letom sa v závislosti na prúdovej hustote delí na:
 - **kvapkový prenos** kovu prebiehajúci pri prúdovej hustote nižšej ako je medzná prúdová hustota pôsobením gravitačných síl. Používa sa pri zváraní väčších hrúbok plechov z Al a jeho zliatin v inertných atmosférach plynov.
 - **kombinovaný kvapkový a sprchový prenos** prebieha pri hodnotách medznej prúdovej hustoty. Je najčastejšie používaným typom prenosu pri zváraní oceľových plechov.

- **sprchový prenos** prebieha pri vysokej prúdovej hustote vďaka pôsobeniu elektromagnetických síl. Prenos kovu prebieha veľkou rýchlosťou kvapiek malých rozmerov. Je vhodný pri zváraní väčších hrúbok v ochranných atmosférach zmesných plynov a Ar. V ochrannej atmosfére CO₂ je neuskutočniteľný.
- **impulzný prenos** vzniká pri pulzujúcom prúde. Pri striedaní základného a impulzného prúdu. Veľkosť kvapiek závisí od frekvencie, ktorá je v rozsahu 25 až 300 Hz. Výhodou jeho použitia je vysoká stabilita horenia oblúka, malý rozstrek. Je vhodný pre zváranie tenkých plechov, zváranie v polohách a koreňových zvarov. Použitie impulzného oblúka v ochrannej atmosfére CO₂ nie je možné.
- **prenos kovu rotujúcim oblúkom** (označovaný tiež ako T.I.M.E vzniká pri použití vysokých zváracích prúdov (nad 450 A) a zváracieho napätia nad 48 V. Je charakteristický vysokým odtavovacím výkonom. Aplikuje sa pri zváraní materiálov veľkých hrúbok a naváraní v ochranných atmosférach zmesných plynov s héliom.

Zváracie zariadenie pre zváranie taviacou sa elektródou v ochranných atmosférach plynov pozostáva so **zdroja zváracieho prúdu**, ktorým sú usmerňovače a inventory dodávajúce jednosmerný prúd resp. transformátory pre striedavý prúd. Z konštrukčného hľadiska môžu byť točivé a častejšie používané netočivé. Pre mechanizované spôsoby zvárania majú plochu voltampérovú charakteristiku. Zariadenie sa skladá zo **zásobníka prídavného materiálu**, kde je prídavný materiál navinutý na cievke, **ocelových tlakových fliaš** s ochranným plynom, **regulačných ventilov**, **mechanizmu pre podávanie prídavného materiálu**, **radiacej jednotky** zabezpečujúcej pracovný cyklus, **chladiacej jednotky** zabezpečujúcej chladenie zváracieho horáka (plynom, vodou), **zváracieho horáka**, **zváracích vodičov**, **hadíc** na prívod plynu a chladiaceho média do horáka.

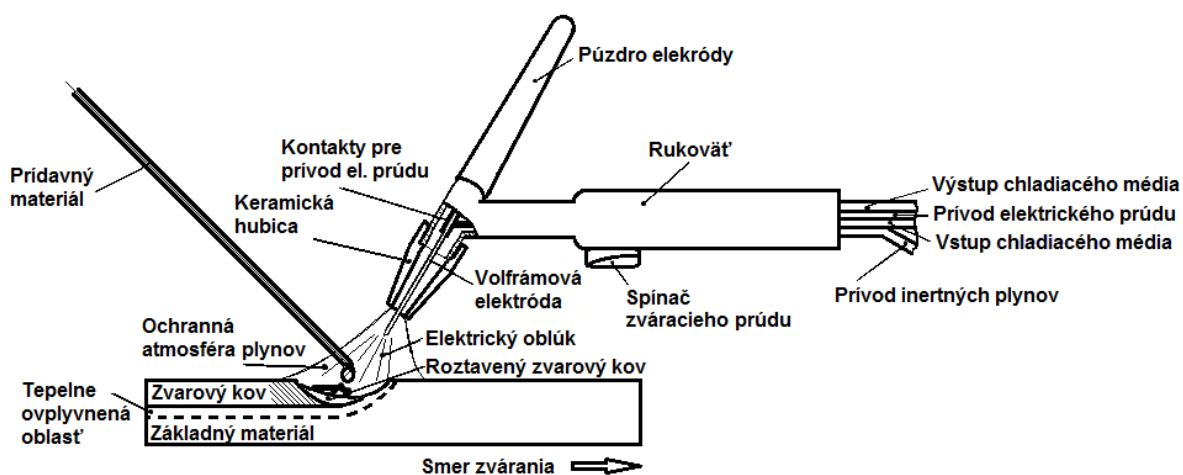
Prídavné materiály pre zváranie

Zváracie drôty pre zváranie v ochranných atmosférach sú dodávané navinuté na cievkach od 1 do 50 kg. Z hľadiska povrchovej úpravy je potrebné, aby zvárací drôt nemal na povrchu hrdzu, mastnoty po ťahaní a nebol poškodený, čo by mohlo spôsobovať výkyvy v procese zvárania. **Plné drôty** sú dodávané v priemeroch ϕ 0,6; 0,8; 1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4 mm. Pri zváraní v ochranných atmosférach plynov sa v čoraz väčšej miere uplatňujú **rúrkové drôty** umožňujúce vyššiu produktivitu zvárania, zlepšujú formovanie zvaru a vrstva trosky na povrchu zvaru spomaľuje jeho ochladzovanie. Prídavné materiály pre zváranie v ochranných atmosférach sú normalizované podľa STN EN ISO 14341.

Technológia zvárania v ochranných atmosférach plynov taviacou sa elektródou má v strojárskom priemysle široké uplatnenie. Jedná sa o automatizovaný spôsob zvárania, ktorého výhodou je kontinuita procesu zvárania vďaka prídavným materiálom navinutých na cievkach umožňujúca jeho automatizáciu a vysoká kvalita zvarov. Umožňuje zváranie tenkých aj hrubých nelegovaných, ale aj vysokolegovaných ocelových plechov, tiež neželezných kovov.

4.1.4 Zváranie netaviacou sa elektródou v ochranných atmosférach plynov

Zváranie netaviacou sa elektródou v ochranných atmosférach plynov, alebo tiež technológia označovaná skratkami (TIG - Tungsten Inert Gas), resp. (GTAW - Gas Tungsten Arc Welding) a na výkresoch podľa STN EN ISO 4063 ako metóda 141 je tavnou technológiou zvárania. Elektrický oblúk pri zváraní horí medzi volfrámovou (uhlíkovou) elektródou a zváraným materiálom, v ochranných atmosférach inertných plynov (obr.4.10). Inertné plyny chránia roztavený zvarový kov pred vplyvom okolitej atmosféry.



Obr. 4.10 Schéma zvárania netaviacou sa elektródou v ochranných atmosférach plynov

Zvárací - elektrický oblúk má dve časti. **Vnútorňú oblasť**, ktorú tvorí plazma, v ktorej prebieha ionizácia plynu a **vonkajšiu oblasť** tzv. rekonbinačnú v ktorej nastáva neutralizácia kladných iónov.

Základnými parametrami zvárania sú: **zvárací prúd, rýchlosť zvárania a dĺžka oblúka**. Na kvalitu zvarových spojov vplyva použitá polarita zvárania, priemer a geometria hrotu netaviacej sa elektródy, vyloženie elektródy z dýzy, použitý ochranný plyn a jeho čistota a tiež zručnosť zvárača ak sa nejedná o automatizovaný spôsob zvárania.

Technológia zvárania netaviacou sa elektródou umožňuje zvärať jednosmerným, alebo striedavým prúdom.

Pri použití **jednosmerného prúdu** ak je elektróda katódou, zapojená na (-) pól, je zvárací oblúk tvorený prúdom elektrónov, ktoré vychádzajú z katódy smerom k zváranému materiálu a prúdu ionizovaných častíc plynu (+), smerujúcich na katódu. Jedná sa o zváranie priamou polaritou. Pri tomto zapojení 1/3 tepla je na elektróde 2/3 tepla na zváranom materiály, preto vzniká hlboký prievar, ktorý je vhodný pri zváraní vysokolegovaných ocelí /austenitických/, medi, niklu a ich zliatin. Použitý inertný plyn má iba ochrannú funkciu. V prípade ak je elektróda anódou, zapojená ja (+) pól, elektróny smerujú na elektródu a kladne nabitý ióny smerujú na zváraný materiál. Jedná sa o zváranie nepriamou polaritou. Nevýhodou tohto zapojenia je že 2/3 tepla smerujú k elektróde a 1/3 na zváraný materiál, čo spôsobuje nestabilitu elektrického oblúka. Prievar materiálu je plytký a široký. Použitý inertný plyn má ochrannú funkciu aj čistiaci účinok kladne nabitých iónov. Tento spôsob zapojenia nie je vhodný pre zváranie.

Zváranie **striedavým prúdom** sa používa pri zváraní hliníka a jeho zliatin. Využíva sa tzv. čistiaci účinok ochranných plynov. Zmena polarita zvaracej elektródy pri napájaní

striedavým prúdom spôsobuje vplyvom pohybu kladne nabitých iónov čistenie povrchu od ťažko taviteľných oxidov (napr. Al_2O_3). Zvárací oblúk sa stabilizuje riadiacou iskrou, alebo vysokofrekvenčným generátorom.

V súčasnosti je v praxi perspektívnym **zváranie jednosmerným pulzujúcim zväracím prúdom**. Vplyvom zväracích pulzov pri priamej polarite počas impulzného prúdu dochádza k natavovaniu materiálu a počas pôsobenia základného prúdu ku kryštalizácii zvaru. Tento operatívny spôsob zvärania umožňuje výrobu kvalitných zvarov na tenkých oceľových plechoch a fóliách a neželezných kovoch a ich zliatinách.

Elektrický oblúk sa pri TIG zväraní zapáľuje skratom, dotykem volfrámovej elektródy o povrch medenej príložky pri zväracích prúdoch do 10 A a následne oddialením elektródy o niekoľko mm. Zvärací oblúk je následne prenesený z príložky do miesta zvärania. Skrat na základnom materiáli sa neodporúča z dôvodu ovplyvnenia zvarového kúpeľa volfrámom z netaviacej sa elektródy. Častejšie používaným spôsobom zapáľovania zväracieho oblúka je tzv. bezkontaktné, bezskratové, (vysokofrekvenčné) zapáľovanie oblúka pomocou ionizátora s napätím až 1000 V. Na horenie elektrického oblúka vplývajú ionizačné vlastnosti použitých ochranných plynov.

Veľkosť zväracieho prúdu sa volí na základe druhu, hrúbok a tepelnej vodivosti zväraných materiálov, polohy zvärania a zväracej rýchlosti.

Zväraciu rýchlosť pri ručnom zväraní reguluje zvärač. Pri automatizovaných spôsoboch zvärania sa používajú zväracie rýchlosti v závislosti od zväraných hrúbok materiálov v rozsahu 200 až 400mm.min⁻¹. Pri priamej polarite je možné použiť vyššie rýchlosti zvärania ako pri zväraní striedavým prúdom a jednosmerným pulzujúcim prúdom z dôvodu vyššej stability zväracieho oblúka. Rýchlosť zvärania tiež závisí od polohy zvärania.

Dĺžka zväracieho oblúka môže byť v rozsahu 3 a 12 mm. So zväčšovaním výšky zväracieho oblúka sa rozširuje tepelne ovplyvnená zóna zvaru a klesá účinnosť ochrannej atmosféry plynov. Krátky zvärací oblúk (3 - 6 mm) sa používa pri zväraní materiálov s nízkou tepelnou vodivosťou ako napr. vysokolegovaných ocelí, Ni, Ti a ich zliatin. Oblúk (6 - 10 mm), je vhodný pre materiály s vysokou tepelnou vodivosťou ako napr. Cu, Al a ich zliatiny. Oblúk viac ako 10mm sa používa na naváranie Cu a jej zliatin na ocele.

Ochranný plyn musí zabezpečovať účinnú ochranu zvarového kúpeľa pred negatívnym vplyvom okolitej atmosféry. Účinnosť ochrany zvaru závisí od druhu a čistoty inertného plynu, prietokového množstva a výtokovej rýchlosti z keramickej dýzy horáka. Súčasne vytvárajú priaznivé podmienky na zapálenie oblúka a jeho stabilitu počas celého zväracieho procesu. Vplývajú na tepelný výkon oblúka TIG, na formu, rozmery, celistvosť a úžitkové vlastnosti zvarových spojov.

Podľa STN EN ISO 14175 sa ochranné plyny používané pri zväraní TIG delia do troch základných skupín:

- **inertné plyny** (argón, hélium, zmesi argón + hélium), ktoré sú pri zväraní používané ako primárna plynová ochrana. Sem patria plyny:

Najpoužívanejším inertným plynom je **Argón**, ktorý nevytvára chemické zlúčeniny so žiadnym prvkom a je tepelne vodivý. Umožňuje dobré zapalovanie zváracieho oblúka. Má vysokú stabilitu a oblúkový stĺpec dosahuje vysokú teplotu.

Hélium má podstatne väčšiu tepelnú vodivosť ako argón. Tepelný výkon oblúka horiaceho v héliu je však veľmi vysoký, a používa sa pri zváraní tepelne vysokovodivých materiálov väčších hrúbok.

Pri zváraní TIG sa najčastejšie zo zmesných plynov používajú zmesi **Ar - He 70/30** (70 %Ar, 30 %He), **Ar - He 50/50** a **Ar - He 30/70** (30 %Ar, 70 %He). So stúpajúcim obsahom hélia v zmesiach Ar + He sa zvyšuje napätie na oblúku a tepelný výkon oblúka TIG, čo sa pozitívne prejavuje na forme a rozmeroch zvaru.

- **redukčné plyny** zabezpečujú doplnkovú ochranu okolitých miest v blízkosti zvaru, ktoré boli zohriate na vyššiu teplotu a ktoré primárna plynová ochrana nemôže obsiahnuť. Používajú sa zmesi argónu a vodíka prípadne dusíka s vodíkom.
- **nereagujúce plyny** sa používajú najmä ako sekundárna ochrana u materiálov náchylných na oxidáciu a naplynenie pri zvýšených teplotách, napr. pri zváraní titánu, niklu a ich zliatin. Najčastejšie sa uplatňuje pri ochrane zohriateho materiálu na strane koreňa, ochrane zvaru počas jeho chladnutia a pod. Pre tento účel je najpoužívanejším plynom dusík.

Zváracie zariadenie pre zváranie netaviacou sa elektródou **jednosmerným prúdom** pozostáva zo zváracieho zdroja, ktorým je usmerňovač, tlakovej nádoby s inertným plynom, redukčných ventilov, riadiacej jednotky pre reguláciu ochranných plynov a chladiaceho cyklu, zapalovacej jednotky s vysokofrekvenčným ionizátorom, chladiacej jednotky, zváracích vodičov s uzemňovacou svorkou a horákom.

Zariadenie pre zváranie striedavým prúdom pozostáva so zváracieho zdroja, ktorým je transformátor, tlakovej nádoby s inertným plynom, redukčných ventilov, riadiacej jednotky, stabilizátora oblúka pri zmenách polarity, batérie kondenzátorov pre zvýšenie čistiaceho efektu, zapalovacej jednotky s vysokofrekvenčným ionizátorom, chladiacej jednotky, zváracích vodičov s uzemňovacou svorkou a horákom.

Zvárací horák slúži na privod zváracieho prúdu do netaviacej sa elektródy a tiež privádza ochranné plyny do miesta zvaru. Ich rozmery sú závislé od použitého zváracieho prúdu a chladiaceho média. Najdôležitejšími časťami zváracieho horáka sú zváracia hubica (dýza), netaviaca sa elektróda a spínač zváracieho prúdu.

Hubica (dýza) horáka slúži pre laminárny, nie turbulentný privod ochranných plynov do miesta zvárania. Hubice sú počas zvárania tepelne namáhané, preto sú vyrábané z keramiky. Sú vymeniteľné a ich tvar a geometria je volená v závislosti na zváraných hrúbkach materiálov, priemere netaviacej sa elektródy a parametroch zvárania. Vnútorňý priemer dýz je v rozsahu 8 až 25 mm.

Netaviace sa elektródy sú vyrobené z ťažkotaviteľných materiálov. Pre TIG zváranie sa používajú štyri typy elektród:

- **volfrámové** neodtavujúce sa elektródy /vhodné pre zváranie jednosmerným aj striedavým prúdom/.

- **volfrámovo - tóriové elektródy** majú dlhšiu životnosť a môžu sa viac prúdovo zaťažiť, ako elektródy z čistého volfrámu.
- **volfrámovo - zirkónové elektródy** majú dlhšiu životnosť a môžu sa viac prúdovo zaťažiť. Sú pomerne drahé.
- **uhlíkové** neodtavujúce sa elektródy, vhodné sú pre zváranie medi v atmosfére dusíka. Nevýhodou je ich slabá možnosť zaťaženia elektrickým prúdom.

Vzhľadom k vysokému tepelnému namáhaniu zváracích elektród je potrebné ich ochladzovanie dofukom ochranného plynu aj po zhasnutí elektrického oblúka. V závislosti od typu spoja sa používa vyloženie elektródy z dýzy v rozsahu 1,5 až 3 násobok priemeru elektródy. Koniec netaviacej sa elektródy je z dôvodu udržania stabilného zváracieho oblúka upravený do kužela s vrcholovým uhlom 30 až 120°.

Zvárací horák je potrebné z dôvodu udržiavania stabilného zváracieho oblúka chladiť vzduchom resp. vodou.

Prídavné materiály pre zváranie

Prídavné materiály pre TIG zváranie sú vo forme:

- **zváracích tyčiek**, ktoré sa používajú pri ručnom zváraní. Priemer zváracích tyčiek je ϕ 1 až 8 mm, ich dĺžka je 600 až 1000 mm. Pre naváranie sa používajú aj rúrkové tyčky.
- **zváracích drôtov** používaných pri mechanizovanom zváraní. Zváracie drôty majú priemer ϕ 0,8 až 2,4 mm pre zváranie a pre naváranie max. ϕ 5 mm.

Prídavné materiály pri TIG zváraní plnia viacero funkcií. Ich úlohou je doplniť objem zvarového kúpeľa a vytvoriť zvar požadovaného tvaru a prierezu, legovať zvarový kov prísadami, prípadne kompenzovať straty spôsobené vypaľovaním prvkov vo zvaracom oblúku a vylepšiť tým jeho celistvosť a úžitkové vlastnosti (napr. odolnosť voči vzniku trhlín a dutín), dezoxidovať zvarový kúpeľ, zlepšiť formovanie zvaru a pod.

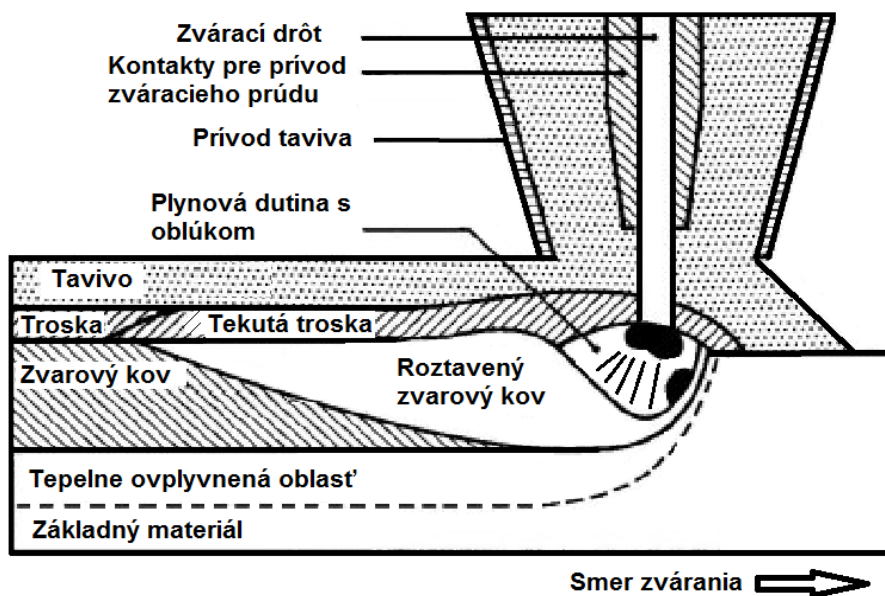
Tvar a rozmery zvarových plôch v závislosti od zváraných hrúbok predpisuje STN EN ISO 9692-1. Pri ručnom TIG zváraní sa tak ako pri zváraní plameňom používa ľavosmerné a pravosmerné zváranie.

Zváranie netaviacou sa elektródou sa používa pri zváraní tenkých oceľových plechov, plechov z Al a jeho zliatin, kde sa pri zváraní uplatňuje čistiaci účinok striedavého prúdu. Zvárať je možné s použitím, ale aj bez použitia prídavných materiálov, čo je vhodné pri opravách a renováciách strojových súčiastok.

4.1.5 Zváranie pod tavivom

Zváranie pod tavivom, alebo tiež technológia označovaná skratkou SMAW (Submerged Arc Welding) a na výkresoch podľa STN EN ISO 4063 ako metóda 12 je tavnou

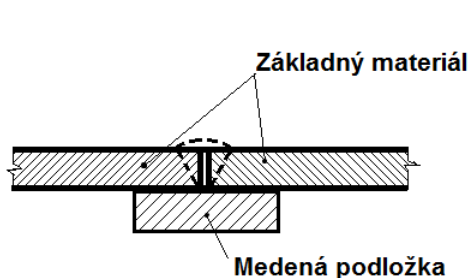
technológiou zvárania. Patrí medzi elektrické oblúkové procesy zvárania. Zvárací oblúk horí pod vrstvou taviva medzi zváracím drôtom a základným materiálom. Postupným tuhnutím roztaveného kovového kúpeľa vzniká zvarový spoj. Tepelnou energiou z elektrického oblúka dochádza k odtavovaniu elektródy, ktorou je pri zváraní pod tavivom holý zvárací drôt a zároveň dochádza k roztaveniu základného materiálu pod vrstvou taviva. Pomocou podávacieho zariadenia je do miesta horenia elektrického oblúka plynulo privádzaný prídavný materiál, zároveň s vrstvou taviva. Čeluste ktorými, je privádzaný zvárací prúd zo zdroja prúdu, sú umiestnené tesne nad vrstvou nasýpaného taviva (obr.4.11).



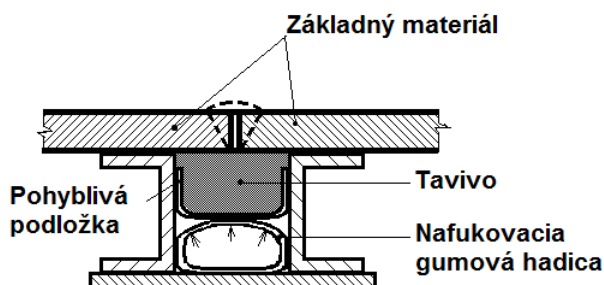
Obr. 4.11 Schéma zvárania pod tavivom

Troska, ktorá vzniká roztavením taviva na povrchu zvaru má viacero funkcií. **Zabraňuje** prístupu atmosféry k roztavenému kovu, **leguje** a **rafinuje** zvarový kúpeľ, **zlepšuje** ionizáciu prostredia, **spomaľuje** ochladzovanie zvaru, **formuje** zvarovú húsenicu, **zabraňuje** rozstreku zvarového kovu a svetelnému žiareniu.

Pri zváraní pod tavivom je pre zachytávanie roztaveného zvarového kovu v mieste zvaru nevyhnutné použiť podložky. V praxi sú najpoužívanejšie medené podložky (obr.4.12), ocelové podložky, tavivé podložky (obr.4.13), medené podložky s tavivom, technologické podložky. Používa sa tiež zváranie na zámok a zváranie s ručne podváreným koreňom.



Obr. 4.12 Zváranie na medenej podložke



Obr. 4.13 Zváranie na tavivej podložke

Metalurgia zvárania pod tavivom

Metallurgické procesy pri zváraní pod tavivom sú definované na základe molekulovej teórie trosiek, resp. teórie o iónovom charaktere trosiek.

Podľa molekulovej teórie trosiek sa zvarový kúpeľ skladá z neutrálnych častíc a metallurgické procesy sa riadia termodynamickými zákonitosťami. Metallurgické reakcie sú podmienené vznikom a rozpadom oxidov, sírníkov, fluoridov a pod. O tom ktorý z oxidov, sírníkov a fluoridov sa nachádza v systéme kov-troska-plynová atmosféra, bude prednostne vznikáť, alebo sa rozpadáť pri určitej teplote, rozhoduje chemická afinita k prvku. Mierou afinity je maximálna užitočná práca, ktorú reakcia uvoľňuje pri vratnom priebehu, rovnajúca sa úbytku voľnej entalpie.

Podľa iónovej teórie trosiek sa predpokladá, že troskové systémy sú tvorené iónmi.

Základnými parametrami pri zváraní pod tavivom sú : **zvárací prúd, zvaracie napätie, rýchlosť zvárania** (tzv. postupová rýchlosť zvárania). Na kvalitu zvarových spojov v nemalej miere vplývajú aj nasledujúce faktory a to: polarita, sklon zvaracieho drôtu, počet prídavných drôtov, vyloženie drôtu, zdroj prúdu, pri valcových súčiastkach aj vystredenie prídavného drôtu, druh a zrnitosť použitého taviva.

Pri zváraní pod tavivom sa používa **jednosmerný a striedavý prúd**. Pre zváranie sa pripája elektróda na + pól (zvára sa nepriamou polaritou). Pre naváranie sa používa priama polarita (elektróda na - pól). Pretavenie základného materiálu je plytšie ako u nepriamej polarite. Pre zváranie viacerými drôtmí naraz sa používa striedavý prúd.

Zvárací zdroj musí počas zvárania zabezpečovať konštantný odtavovací výkon. Zvárací proces je možné regulovať viacerými spôsobmi:

- zmenou statickej charakteristiky zdroja, kde zmenou napätia na oblúku dôjde k zmene zvaracieho prúdu,
- reguláciou podľa Wardovho - Leonardovho zapojenia, kde sa elektrický oblúk zapája do regulačného systému a každá jeho zmena vplýva na rýchlosť podávania zvaracieho drôtu,
- elektronickou automatickou reguláciou, pomocou elektronického zosilňovača, ktorý mení rýchlosť motora podávacích kladiek zvaracieho drôtu.
- pomocou magnetických zosilňovačov.

Zvárací prúd I (A) má zásadný vplyv na množstvo nataveného kovu a tiež na hĺbku prievaru. Zvyšovaním zvaracieho prúdu (I) dochádza k nárastu prevýšenia zvarovej húsenice, šírka zvarovej húsenice je nemenná. Na šírku zvarovej húsenice vplýva zvaracie napätie (U). So zväčšovaním U dochádza k predĺženiu oblúkového stĺpca, čím dochádza k zväčšeniu tepelne ovplyvnenej plochy zvaru a zníženiu hĺbky prievaru.

Rýchlosť zvárania, resp. postupová rýchlosť zvárania v_z (m/hod), vplýva na sklon smeru horenia elektrického oblúka pod vrstvou taviva a na rozdelenie dynamických síl v oblúku, čo má vplyv na priebeh turbulentného prúdenia zvarového kúpeľa.

Zvarový kúpeľ obsahuje asi 2/3 roztaveného základného materiálu a 1/3 prídavného materiálu.

Efektívnosť zvárania pod tavivom je možné zvýšiť použitím zvárania trojfázovým oblúkom, zvárania kombinovaným oblúkom, pulzným zváraním, zváraním s podávaním studeného prídavného drôtu, resp. horúceho drôtu do oblúka, tandemovým zváraním,

zváraním dvojdrotom, zváraním a naváraním pásovou elektródou, zváraním nezávislým oblúkom horiacim medzi dvoma elektródami, zváraním s pridávaním kovového prášku.

Prídavné materiály pre zváranie pod tavivom

Zváracie tavivá sú syntetický pripravené anorganické látky, definovaného chemického zloženia a rozmeru zrna. Z hľadiska metalurgických procesov, ktoré prebiehajú medzi roztaveným kovom a tavivom je dôležité či tavivo obsahuje prevažne zásadité alebo kyslé zložky. Na vyjadrenie metalurgickej povahy trosiek sa používa súčiniteľ bazicity. Bazicita sa obvykle vyjadruje pomerom medzi obsahom bázických a kyslých zložiek taviva. Tavivá musia spĺňať určité fyzikálne a chemické vlastnosti, ako napr. bod tavenia (ktorý musí byť o niečo nižší ako bod tavenia zvaranej ocele), potrebnú viskozitu, ionizačné vlastnosti a iné.

Tavivá pozostávajú najmä z oxidov a troskotvorných zložiek ako SiO_2 , MnO , CaO , CaF_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Na_2O , K_2O , a pod. môžu byť **tavené** a **netavené**.

Tavené tavivá sa vyrábajú zo zmesí minerálnych látok, ferozliatín, chemických zlúčenín a ďalších prísad v elektrických oblúkových peciach. Po ukončení taviaceho procesu sa pri odlievaní do vody granulujú. Granule taviva sa sušia a upravujú na požadovanú zrnitosť. Výhodou tavených tavív je ich rovnorodosť chemického zloženia, výborné operatívne vlastnosti, nízka navlhavosť a vysoká odolnosť jednotlivých zrn voči drobeniu.

Netavené tavivá sa vyrábajú pri podstatne nižšej spotrebe elektrickej energie, ich výroba je spravidla neekologická. Pred použitím sa musia sušiť a zvyčajne sú veľmi drobné. Vyrábajú sa ako:

- **Keramické** tavivá sú vyrobené zo zmesi obdobnej ako zmes pre obalené elektródy. Prášková zmes sa viaže vodným sklom alebo iným vhodným pojivom. Po vysušení na dehydratačnej teplote sa drvia na požadovanú zrnitosť. Používajú sa pri zváraní vysokolegovaných materiálov. Ich nevýhodou je vysoká drobnosť.
- **Aglomerované** tavivá majú rozdielny bod tavenia jednotlivých zložiek v konečnej zmesi. Využíva sa vzájomná chemická a fyzikálna reakcia tekutej a tuhej fázy. Aglomeračné teploty sú približne 1000°C . Týmto ohrevom prichádza už k rozkladu niektorých zložiek a tým k ich spojovaniu. Typickým je rozklad CaCO_3 .
- **Sintrované** tavivá sú vyrábané pri použití teplôt ohrevu 1300°C . Pri týchto teplotách prichádza k polymerizácii najmä kysličíkových zložiek. Z toho dôvodu je znížená ich dezoxidická schopnosť v procese zvárania, ako aj ich redukčná schopnosť. Troškotvorný kmeň sa vyrobí sintrovaním a potrebné dezoxidačné a legujúce komponenty sa pridávajú za teplôt 350 až 400°C . Mechanické premiešanie je možné pri teplote okolia.

Chemické zloženie tavív

Podľa prítomnosti niektorých oxidov a ich množstva je možné tavivá rozdeliť:

Kremičito-mangánové tavivá sa používajú na zváranie nelegovanými alebo nízkolegovanými prídavnými drôtmi. Majú dobré formovacie vlastnosti.

Fluoridové tavivá určené na zváranie legovaných materiálov majú všeobecne horšie operatívne vlastnosti ako mangáno-kremikové tavivá, takže formovanie zvarov často nevyhovuje požiadavkám kvality povrchu.

Chemické zloženie taviva vplýva na dĺžku elektrického oblúka. Čím kratší elektrický oblúk, tým hlbší prievar do základného materiálu.

Zrornosť taviva je významná pre kvalitné formovanie zvaru. Podľa STN 05 5701 sa zvaracie tavivá vyrábajú v troch zrnitostiach. Zrornosť s menším rozmerom zrna sa volí pri zváraní so zvýšenými hodnotami zvaracieho prúdu, inak dochádza ku zhoršeniu akosti formovania povrchu húsenice, napr. k hrubému zvrásneniu a nerovnomernostiam v šírke zvaru. Jemné zrno je výhodné tiež pri zváraní zvýšenými rýchlosťami. Naopak, hrubšie zrno sa uprednostňuje pri zváraní materiálov náchylných na vznik pórov. Tavivo s hrubším zrnom je menej hutné, čo zlepšuje uvoľňovanie plynov zo zvarového kúpeľa.

Rozdelenie tavív klasifikuje STN EN 760. Klasifikáciu kombinácii zvarací drôt - tavivo a mechanicko - technologických vlastností zvarového kovu upravuje STN EN 756.

Zvaracie drôty sa vyrábajú ťahaním za studena. Povrch drôtov je lesklý, resp. z dôvodu zvýšenia koróznej odolnosti povrchov drôtov a tiež lepšej elektrickej vodivosti je ich povrch pokrytý tenkou vrstvou medi, čo sa používa už iba ojedinele, z dôvodu negatívneho vplyvu Cu na kvalitu zvarov. Plné drôty sú ťahané cez prievlaky na normalizované priemery od \varnothing 1,2 mm až do \varnothing 12 mm. Najpoužívanějšími sú drôty v rozsahu \varnothing 2,5 mm až \varnothing 6,0 mm. Podľa STN EN 756 sa drôty pre zváranie nelegovaných a nízkolegovaných ocelí označujú veľkým písmenom „S“ za ktorým nasleduje číslo označujúce stredný obsah Mn, resp. Si, Mo.

V súčasnosti sa pre zváranie pod tavivom v najväčšom objeme používajú **rúrkové drôty**. Zvarací prúd prechádza len plášťom rúrky, ktorý má menší prierez ako plný drôt s rovnakým priemerom. Prúdová hustota pri rovnakom prúde je teda vyššia. Rúrkový drôt dáva vyšší výkon odtavenia v porovnaní s plným drôtom. Koeficient zaplnenia jednotlivých rúrkových drôtov má výrazný vplyv aj na odtavovací výkon. Pri vyššom pomere plnenia je vodivý pomer nižší. Rúrkové drôty môžu mať veľmi nízky obsah vodíka vo zvarovom kove a nízku navlhavosť, čím sa vylúči nákladné presušenie, alebo vákuové balenie.

Podľa spôsobu výroby sa rúrkové drôty delia na dve skupiny:

- **bežšvové** u ktorých technológia výroby vychádza z rúry, ktorá je naplnená práškom a následne sa ťahá cez prievlaky, až sa dosiahne konečný priemer. Tieto rúrkové drôty charakterizuje pomerne nízky koeficient zaplnenia, čo negatívne ovplyvňuje ich produktivitu.
- **so švovým spojom**, ktorých povrch je zoxidovaný (od žihania), alebo lesklý (nežihany), podľa technológie ich výroby. Polotovary pre výrobu je kovový pásik, ktorý sa zohne do tvaru U, naplní sa práškom a zbalí sa do kruhového prierezu.

Rúrkové drôty podľa **druhu plniva** možno rozdeliť do troch skupín:

- **rutilové** obsahujúce TiO_2 ktorý, stabilizuje horenie oblúka a umožňuje meniť teplotu tavenia a viskozitu trosky v širšom rozsahu ako bázické plniva. Rúrkový drôt dáva

pokojný oblúk a pomerne tekutý zvarový kúpeľ. Nízke povrchové napätie spôsobuje, že drôt sa odtavuje v malých kvapôčkach (prípomína sprchový prenos) v celom rozsahu parametrov.

- **bázické** obsahujúce väčšie množstvo CaO a CaF, čím sa v troske tvoria silikátové ióny, ktoré majú menšiu tendenciu disociovať. Obsah kyslíka vo zvare preto klesá so zvyšovaním indexu bazicity. Majú dobrú húževnatosť pri nízkych teplotách.
- s náplňou **kovového prášku** majú v náplni iba málo, alebo žiadne troskotvorné prísady a malé množstvo stabilizátorov oblúka. Výhodou je možnosť mnohovrstvového navárania bez nevyhnutnosti odstraňovať trosku a taktiež dobrá húževnatosť návarového kovu. Výhodou je lepší prievar, hladké prechody zvarov a zároveň znižujú riziko únavového praskania dynamicky namáhaných častí.

Pre zváranie, ale najmä pre naváranie sa používajú **pásovité elektródy** o šírkach (15 - 20 mm) resp. (60 - 120 mm), hrúbok 0,5 - 1,0 mm. Využívajú sa najmä z dôvodu vysokého odtavovacieho výkonu a malého premiešania so základným materiálom, čo sa uplatňuje pri naváraní vrstiev so špeciálnymi vlastnosťami. Pre špeciálne prípady navárania sa tiež používajú pásy plnené tavivom s rozmermi 10 až 40 mm šírky a 1 až 3 mm hrúbky.

Drôty a pásy sú dodávané navinuté na cievkach a bubnoch prípadne v tzv. MarathonPac® baleniach od 15 kg do 475 kg.

Zváranie pod tavivom je automatizovaný spôsob zvárania, ktorý sa používa pri výrobe dlhých kontinuálnych zvarov na materiáloch s hrúbkou viac ako 3mm. Prípravu zvarových plôch pre zváranie pod tavivom upravuje STN EN ISO 9692-2. Tento spôsob zvárania sa uplatňuje pri výrobe lodných a mostových konštrukcií, špirálovo zváraných rúr, tlakových nádob, nádrží a pri renovácii opotrebovaných funkčných povrchov strojových súčiastok naváraním. K nevýhodám zvárania pod tavivom patrí obmedzená možnosť zvárania v polohách, kde je potrebné použiť špeciálne zariadenia a prípravky.

4.1.6 Odporové zváranie

Odporové zváranie je **tepelno-deformačný proces**, pri ktorom zvarový spoj vzniká pri spolupôsobení tepla vznikajúceho prechodom elektrického prúdu, ktoré je potrebné pre natavenie zváraných materiálov a tlaku. Teplo potrebné na zváranie sa vytvára priamo v spoji bez použitia prídavných materiálov.

Procesy odporového zvárania sa riadia Ohmovým a Joulovým zákonom.

Ohmov zákon:

$$I = \frac{U}{R} \quad [A] \quad (4.1)$$

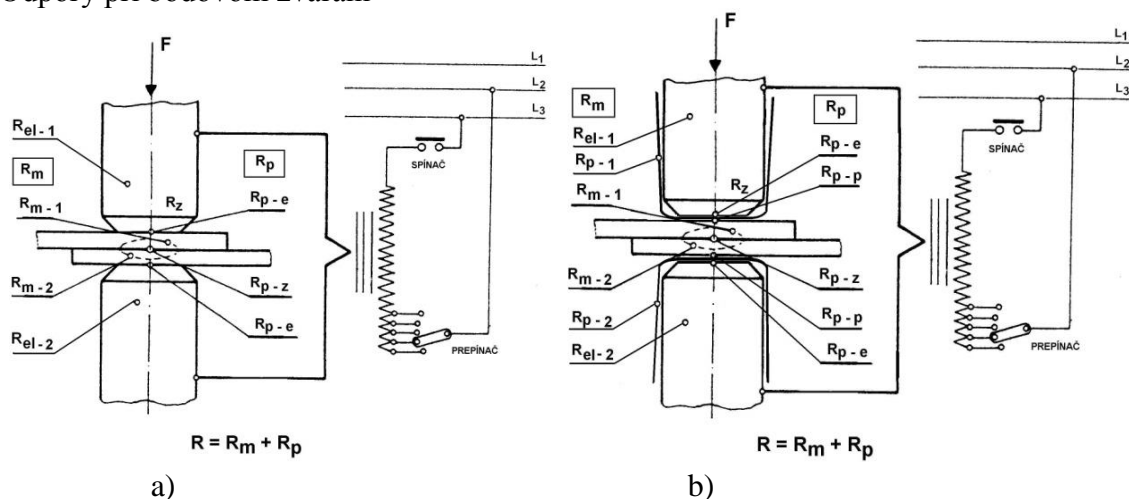
kde: I - prúd [A],

U - napätie [V],
R - elektrický odpor [Ω].

4.1.6.1 Bodové odporové zváranie

Bodové zváranie (metóda 21 - STN EN ISO 4063) je odporové zváranie, pri ktorom zvarový spoj vzniká na preplátovaných zváraných materiáloch, ktoré sú stlačené medzi zváracími elektródami vyrobenými z Cu zliatin (obr.4.14a), čím sa uzatvorí sekundárny obvod zväračky. Prechodom elektrického prúdu sa na rozhraní stláčaných materiálov roztaví určitý objem materiálu, ktorý po vypnutí elektrického prúdu tuhne a vytvára zvarový kov. Zvar má tvar šošovky a vytvára sa bez prídavného materiálu.

Odpory pri bodovom zváraní



Obr. 4.14 Odpory v oblasti bodového zvaru
a) odporové bodové zváranie b) deltaspot zváranie
R - celkový odpor, R_m - materiálové odpory $R_{m-1,2}$, $R_{el-1,2}$, $R_{p-1,2}$
 R_p - prechodové odpory R_{p-e} a R_{p-z} , R_{p-p} , F - prítlačná sila

Prechodové odpory R_p vznikajú na rozhraní dvoch dotýkajúcich sa materiálov.

$$R_p = R_{p-e} + R_{p-z} + R_{p-p} \quad [\Omega] \quad (4.2)$$

Čím bude prítlačná sila väčšia, tým bude prechodový odpor menší. Na prechodové odpory vplyva vodivosť dotýkajúcich sa kovov, ich čistota, drsnosť dotykových plôch, zvárací režim a chladenie elektród. Prechodové odpory medzi elektródou a zváraním materiáлом by mali byť čo najnižšie.

Materiálové odpory R_m sú dané vodivosťou materiálu, resp. odporom zváraného materiálu a zváracích elektród. Dôležitú úlohu zohráva hrúbka zváraných plechov, počet plechov a prierez prúdovej cesty.

$$R_m = R_{m-1} + R_{el-1} + R_{m-2} + R_{el-2} \quad [\Omega] \quad (4.3)$$

Celkový odpor R je súčtom prechodových a materiálových odporov v oblasti zvaru:

$$R = R_p + R_m \quad [\Omega] \quad (4.4)$$

Počas zvarania sa veľkosť všetkých odporov mení. Postupným ohrevom odpor stúpa. Pri odporovom zvaraní zohráva dôležitú úlohu aj **induktívny odpor**. Tento závisí od veľkosti zvaracieho okna (vzdialenosti a vyloženia ramien bodovačky), frekvencie zvaracieho prúdu a od veľkosti magnetickej hmoty vlozenej do zvaracieho obvodu. Znižovaním frekvencie klesá induktívny odpor. Zmenšovaním zvaracieho okna, znižovaním frekvencie a vylúčením magnetickeho materiálu je možné do zvaru dodať viac energie, čo umožňuje zvarať väčšie hrúbky.

Metalurgické procesy pri bodovom zvaraní

Vznik bodového zvaru charakterizuje prudký rýchly ohrev na teplotu tavenia a následné rýchle ochladenie. Plechy pritlačené k sebe elektródami sa v mieste styku začnú natavovať. Po natavení nastáva rýchle ochladzovanie zvaru s pásmom tepelne ovplyvnenej oblasti. Najvyššia teplota sa dosiahne v strede roztaveného jadra. Zvarový kov kryštalizuje v tvare šošovky s charakteristickou dendritickou štruktúrou.

Základnými parametrami odporového bodového zvarania sú zvaracia sila, ktorá má elektrickú a metalurgickú funkciu. Môže byť konštantná, alebo meniteľná a jej veľkosť je v rozsahu 100 N až 50 kN, u stykoviek 50 N až 1000 N.

Zvarací prúd a zvarací čas sú vo vzájomnej kombinácii rozhodujúcimi činiteľmi vplyvajúcimi na vznik tepla vo zvaru. Zvarací prúd môže byť počas zvarania konštantný alebo sa môže meniť, prípadne prerušovať. Zvarací prúd býva v rozsahu 100 A až 100 kA a zvaracie časy v rozsahu 0,001 s až 2,0 s, u stykoviek rádovo 10 s. Zvaracie časy sa uvádzajú v periódach.

Na základe týchto parametrov sa pri odporovom bodovom zvaraní uplatňuje tzv. mäkký a tvrdý zvarací režim. **Mäkký zvarací režim** sa vyznačuje väčším tepelným ovplyvnením. Šošovka má malý priemer, veľkú výšku a hrubozrnnú štruktúru, čo zhoršuje mechanické vlastnosti zvaru. Zvara sa prúdmi do 10 kA a dlhšími časmi (20 až 100 periód) pri menšej zvaracej sile (do 5 kN) a pri menšom počte bodov za časovú jednotku. Používa sa pri zvaraní materiálov náchylných na zakalenie. Na povrchu zvaraných materiáloch sú v dôsledku zmäknutia výrazné odtlačky po elektródach. Životnosť elektród je nižšia v porovnaní s tvrdým režimom.

Tvrdý zvarací režim spôsobuje zväčšenie priemeru zvarovej šošovky a zároveň jej menšiu výšku. Mechanické vlastnosti zvarov sú v porovnaní so zvarmi zhotovenými pri mäkkom režime lepšie. Zvara sa prúdmi nad 10 kA, krátkymi časmi do 20 periód pri veľkej zvaracej sile (10 kN) a viac, pri väčšom počte bodov za časovú jednotku. Tvrdý režim sa nedá použiť pri kaliteľných materiáloch. Zvaranie je produktívnejšie. V praxi sa zvara niekde medzi týmito režimami.

Okrem základných parametrov je potrebné zohľadniť aj ďalšie veličiny vplyvajúce na proces zvarania ako minimálna veľkosť preplátovania, vzdialenosť osi zvaru od okraja plechu, predpokladaný priemer šošovky, minimálna pevnosť spoja a pod.

Zváracie elektródy privádzajú elektrický prúd a súčasne zváraciu silu do zváraných dielcov. Pri zváraní dochádza k ohrevu elektród a preto je potrebné ich vnútorné chladenie vodou. Sú vyrobené zo zliatin CuCrZr, CuZr, CuBeCo, CuCd, CuAg. Zvyšovaním množstva legujúcich prvkov v medi klesá jej elektrická vodivosť, avšak jej pevnosť sa zvyšuje. Na kvalitu zvarového spoja vplýva aj čistota kontaktných plôch zváracích elektród. Pri zváraní povrchovo upravených plechov dochádza k ich znečisteniu, čo má za následok pokles elektrickej vodivosti. Tvar elektród závisí od účelu použitia. Na strane, kde je odpor materiálu väčší, sa volí väčší priemer elektródy. Priemery elektród sú nepriamoúmerné vodivosti materiálu alebo priamoúmerné jeho ohmovému odporu. Priemer elektród závisí od hrúbky zváraných plechov.

Zariadenia pre odporové bodové zváranie je možné rozdeliť podľa viacerých hľadísk. Z hľadiska spôsobu vyvedenia zváracieho prúdu na **mechanické, pneumatické a hydraulické**. Z hľadiska veľkosti príkonu na malé (do 20 kVA), stredné (od 20 do 250 kVA) a veľké s príkonom nad 250 kVA. Z konštrukčného hľadiska na stabilné (bodovky) a prenosné (zváracie kliešte, závesné bodovačky).

Zvarové spoje sú realizované na **preplátovaných plechoch**. Odporovým bodovým zváraním je možné zvárať plechy od hrúbky 0,6 mm do 10 mm. Experimentálne do 25 mm. Zvarové spoje sa majú navrhovať tak, aby boli namáhané na šmyk.

Odporové bodové zváranie sa aplikuje pri zváraní uhlíkových ocelí kde kvalita zvarového spoja závisí od obsahu uhlíka, ktorého obsah nemá presiahnuť 0,22 %. Austenitické ocele sa zvárajú tvrdým režimom, kvôli zabráneniu vzniku karbidov Cr. Pre zváranie hliníka a jeho zliatin sú potrebné väčšie zváracie prúdy z dôvodu vyššej elektrickej a najmä tepelnej vodivosti v porovnaní s ocelami a prítomnosť Al_2O_3 na povrchu. Pri zváraní povrchovo upravených plechov dochádza k znečisteniu, nalepovaniu povlakov (Zn, Sn a iných) na zváracie elektródy, ktoré treba často mechanicky čistiť, čo znižuje produktivitu zvárania a znižuje ich životnosť.

Odporové bodové zváranie je dominantným spôsobom zvárania používaným pri výrobe karosérií v automobilovom priemysle. Široké uplatnenie nachádza v leteckom priemysle pri zváraní plechov z ľahkých zliatin a titánu.

4.1.6.2 Bodové odporové zváranie DeltaSpot

Je inováciou bodového odporového zvárania patentovaná firmou Fronius. Metóda je určená pre zváranie povrchovo upravených karosárskych plechov v automobilovom priemysle. Inovácia procesu spočíva v úprave kontaktných plôch zváracích elektród (obr. 4.14b). Pri zváraní nedochádza k priamemu kontaktu zváracích elektród a zváraných preplátovaných plechov. Súčasťou zváracieho zariadenia je tzv. procesný pás v dĺžke 50 m vyrobený z čistej Cu. Pás je navinutý na cievke a zabezpečuje prechod prúdu zo zváracieho elektródy do zváraných materiálov. Procesný pás sa po každom bodovom zvare automaticky posunie o preddefinovanú dĺžku. U povrchovo upravených plechov je týmto spôsobom

možné zabezpečiť vysokú kvalitu zvarových spojov, pri nezmenených parametroch zvárania. Po opotrebovaní (znečistení povrchu splodinami z povrchovo upravených plechov) sa cievky s pásom vymenia.

Odpory pri bodovom zváraní DeltaSpot

Celkový odpor R pri zváraní je tvorený súčtom materiálových a prechodových odporov tak, ako pri konvenčnom bodovom zváraní.

$$R = R_p + R_m \quad [\Omega] \quad (4.5)$$

Na obr.4.14b sú prezentované **materiálové odpory R_m** a **prechodové odpory R_p** . K odporom u konvenčnej technológie zvárania pribudli materiálové odpory procesných pásov ($R_{p-1,2}$) a ich prechodové odpory (R_{p-p}), ktoré vznikajú na rozhraní zvaracích elektród a procesného pásu.

$$R_m = R_{el-1} + R_{p-1} + R_{m-1} + R_{m-2} + R_{p-2} + R_{el-2} \quad [\Omega] \quad (4.6)$$

$$R_p = R_{p-e} + R_{p-p} + R_{p-z} + R_{p-p} + R_{p-e} \quad [\Omega] \quad (4.7)$$

Zariadenia pre DeltaSpot bodové zváranie sú konštruované ako stabilné (bodovky), resp. častejšie používané prenosné zvaracie kliešte na robotických ramenách. Zvaracie kliešte sú napájané napätím 230 V a umožňujú vyvedenie maximálnej prítlačnej sily elektród 5kN.

4.1.6.3 Švové zváranie

Zvarový spoj vzniká medzi dvoma proti sebe sa otáčajúcimi kotúčovými elektródami (obr.4.15). Prechodom zvaracieho prúdu cez kotúčové elektródy vznikajú medzi preplátovanými zvaranými materiálmi prekrývajúce sa bodové zvary, ktoré sa nazývajú zvarový šev. Proces zvárania sa uskutočňuje pri prirodzenej modulácii (50 Hz) zvaracieho prúdu alebo cieľným prerušovaním prúdu. Zvarací prúd má v každej perióde dve maximá (kladné a záporné), kedy sa tvoria jadrá zvarov.

Odpory v zvarovej oblasti (prechodové i materiálové) sú podobné ako pri bodovom zváraní. Zvarané povrchy musia byť čisté.

Zvaracie parametre švového zvárania

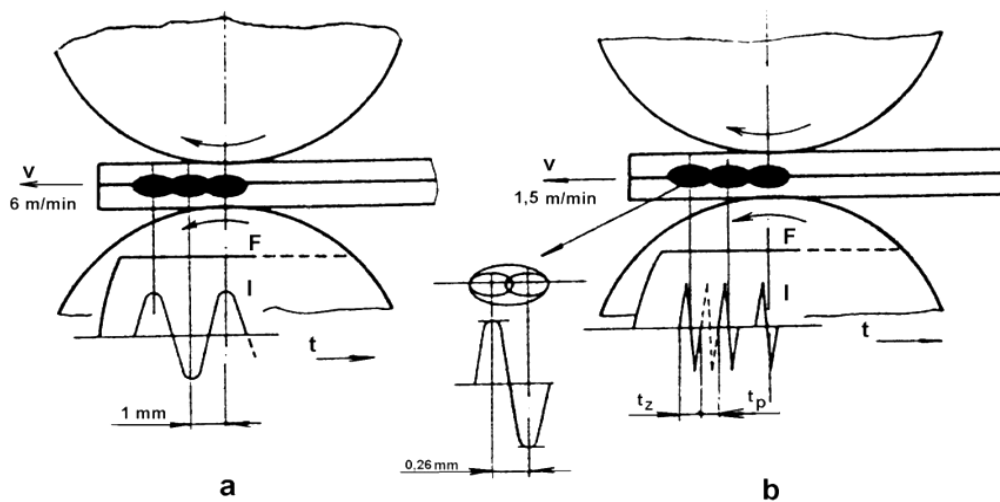
Zvarací prúd (I), ktorý je väčší ako pri bodom zváraní a stúpa s rýchlosťou zvárania. Súvisí to s nutnosťou natavenia väčšieho množstva kovu a tiež so stratami nazývanými ako (shunt), spôsobenými odbočovaním a únikom prúdu cez už vyhotovené zvary.

Prítlačná (zvaracia) sila (F) zabezpečuje vzájomný kontakt zvaraných dielcov a kontakt kotúčových elektród. Prítlačná sila je väčšia v porovnaní s bodovým zváraním z dôvodu použitia vyšších zvaracích prúdov. Druhým dôvodom je, že otáčajúce sa elektródy opúšťajú miesto zvaru ešte pred jeho stuhnutím.

Zvaracia rýchlosť (v) je totožná s obvodovou rýchlosťou zvaracích kotúčov. Je obmedzená výkonom transformátora. Odporúčaná rýchlosť zvárania je $v = 6$ m/min.

Modulácia (prerušovanie) zváracieho procesu (t_z/t_p) sa využíva na zamedzenie nežiaduceho prehrievania zvaru. Pri konštantných otáčkach kotúčov sa reguluje čas prechodu zváracieho prúdu (t_z) a čas prerušenia prúdu (t_p). Čím je rýchlosť menšia, tým je čas prerušenia dlhší, a tým sa na určitej dĺžke vyvinie menej tepla.

Zvarový spoj vniká ešte pred schladnutím predchádzajúceho zvaru. Novo vznikajúci zvar súčasne spomaľuje ochladzovanie predošlého. Tým sa režim stáva mäkkším.



Obr. 4.15 Princíp švového zvárania a modulácia zváracieho prúdu pri zváraní rôznymi rýchlosťami

a - prirodzená modulácia pri rýchlosti $v = 6 \text{ m/min}$ a frekvencii 50 Hz,

b - prerušovanie (modulácia) pri rýchlosti $v = 1,5 \text{ m/min}$

F - prítláčná sila, I - zvárací prúd, t_z - zvárací čas, t_p - čas prúdovej prestávky

Rovnako ako pri bodovom zváraní sa jedná o **preplátované spoje** s maximálnou hrúbkou plechov do 3 mm. Na rozdiel od bodového zvárania sa používajú rozvalcované alebo tupé spoje. Pri pásikových (tupých) spojoch sa používajú prídavné materiály vo forme tenkých fólií, ktoré sa zavaria do povrchov plechu. Spoje majú pri ohýbaní a lisovaní dobré plastické vlastnosti.

Zariadenia pre švové zváranie

Konštrukčne sú zväračky podobné zväračkám na bodové zváranie avšak rozdielom je umiestnenie a konštrukcia elektród. Na švové zváranie sa používajú **kotúčové elektródy** chladené zvnútra vodou. Materiálom elektród je elektrolytická meď a meď legovaná Cr. Najčastejšie sa používa variant s jedným hnacím kotúčom a druhým odvalovacím. Zváracie stroje sa používajú ako závesné hlavy, alebo ako stabilné stroje s pozdĺžnym, alebo priečnym uložením elektród.

Švové zváranie je vysokoproduktívnym spôsobom odporového zvárania pri výrobe dlhých (napr. obvodových) zvarov. Technológia je vhodná pre zváranie radiátorov, nádrží automobilov, kanistrov, sudov, výparníkov, bočníc a striech vagónov, autobusov a pod.

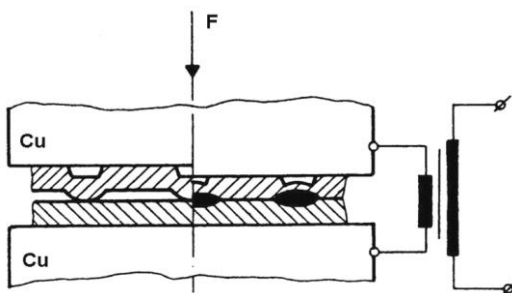
4.1.6.4 Výstupkové zvarovanie

Zvarové spoje vznikajú na miestach vopred pripravených výstupkov, ktoré sa nachádzajú na jednom zo zváraných dielcov (obr.4.16). Voľba výstupkov závisí od zváraného materiálu. Jeho funkciou pri zváraní je koncentrácia elektrického prúdu a prílačnej sily pre vytvorenie zvaru. Výstupky sú zhotovené lisovaním, strojným opracovaním alebo použitím medzivložiek. Stlačením súčiastok medzi ploché elektródy, alebo v prípravku a pripojením transformátora na sieť, prúd prechádza výstupkami a vytvára odporové teplo, ktoré nataví výstupky a priľahlú oblasť druhého dielca. Pôsobením tlaku sa takto vytvorí niekoľko spojov naraz alebo jeden súvislý zvar. časť vysokoohriateho materiálu sa vytlačí zo spoja a vytvorí výronok.

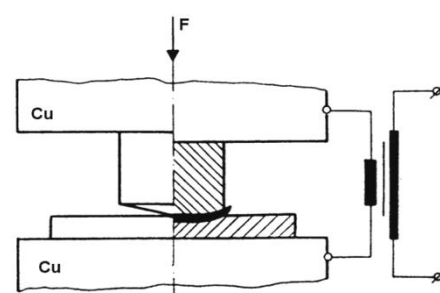
Zváranie sa realizuje na lisoch, pričom zvary sa zhotovujú medzi plochými elektródami, alebo v prípravkoch, resp. čel'ustiach.

Rozlišujeme dva základné spôsoby výstupkového zvarovania:

- výstupkové zvarovanie pomocou prelisovaných výstupkov (obr.4.16),
- výstupkové zvarovanie pomocou masívnych výstupkov (obr.4.17),



Obr. 4.16 Výstupkové zvarovanie s prelisovanými výstupkami



Obr. 4.17 Výstupkové zvarovanie s masívnymi výstupkami

Výstupkové zvarovanie pomocou prelisovaných výstupkov sa používa pre zvarovanie dielcov z plechu. Výstupky sú vždy prelisované cez celú hrúbku plechu. Pri zváraní vzniká okolo zvaru charakteristický prstenec (výronok), ktorý je sprievodným znakom dobrého zvaru.

Zváracie parametre výstupkového zvarovania sa nevzťahujú na hrúbku zváraných dielcov, ale na veľkosť pôdorysu zvárannej plochy. Rozhodujúca je plocha a tvar zvaru. Základnými parametrami sú:

Prílačná sila (F) ktorá pôsobí kolmo na pôdorysný priemet zvarovej plochy. Určuje sa z merného tlaku na 1mm^2 zvarovej plochy a od akosti zváraného materiálu. Pre zvarovanie ocelí sa používa prílačná sila v rozsahu 80 až 120 MPa.

Zvárací prúd (I) pre prierezy zváraných plôch do 200mm^2 je v rozsahu 200 až 500 $\text{A}\cdot\text{mm}^{-2}$. Pri zváraní veľkých prierezov prúdová hustota klesá. Pri ploche 600mm^2 je prúdová hustota menej ako $100\text{A}\cdot\text{mm}^{-2}$. Nesprávna voľba zváracieho prúdu zapríčiňuje vznik technologických a štruktúrnych chýb (podrezanie, zakalenie) vo zvaroch.

Zvárací čas (t) je závislý na použitej prúdovej hustote. Pri väčších prierezoch je potrebné znižovať prúdovú hustotu a preto je potrebné pre vznik kvalitného zvarového spoja predĺžiť zvárací čas, aby sa v mieste zvaru vyvinulo teplo potrebné pre zvarovanie.

Pri zváraní sa používa pulzačný alebo svahový ohrev.

Pulzačný ohrev predstavuje mäkký režim, kde teplo vzrastá jemnejšie vplyvom prúdových prestávok a tepelne ovplyvnená oblasť sa rozširuje. Teplotný spád je menší.

Svahový ohrev spôsobuje predhrev materiálu postupným nárastom prúdu. Pri svahovom ohreve sa výstupok dotýka protikusu na začiatku procesu iba malou plochou, a preto je prúd menší. Počas zvárania sa postupne zväčšuje plocha zvaru, čomu úmerne narastá prúd.

Výstupkové zváranie vzhľadom k cene zariadení je vhodné aplikovať v hromadnej a sériovej výrobe napr. pri výrobe remeníc, okenných a dverových závesov, výrobe brzdových čeľustí a pod. sa aplikuje v kusovej a malosériovej výrobe pri čelnom prívode zváracieho prúdu.

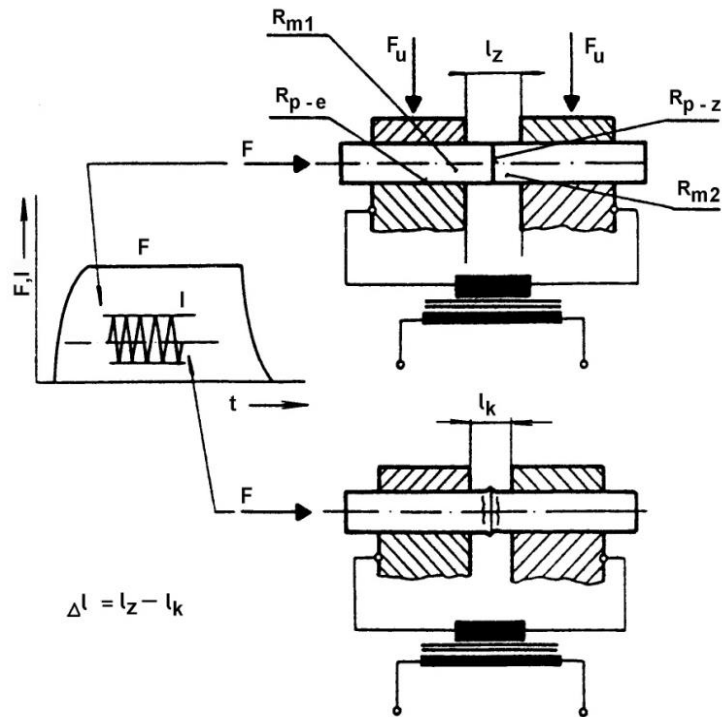
4.1.6.5 Stykové stláčacie zváranie

Je druh odporového zvárania, pri ktorom sa zvárané dielce (najčastejšie drôty alebo tyče) pritlačia k sebe čelami (obr.4.18). Pri prechode elektrického prúdu sa prednostne ohrieva oblasť styku obidvoch čelných plôch, vzhľadom k najväčšiemu elektrickému odporu. Prúd sa privádza do dielcov pomocou čeľustí - elektród. Čeľuste majú nielen funkciu elektród, ale aj mechanicky upínajú dielce, prenášajú zváraciu silu a musia zabrániť preklznutiu dielcov pri stláčaní.

Po zapnutí prúdu sa najviac ohrieva oblasť prechodového odporu R_{p-z} . Vysoko ohriaty plastický materiál sa zo zvaru vplyvom stláčacej sily čiastočne vytláča a vytvára výronok až kým materiál nestuhne. Dielce sa pri zváraní skrátia o Δl .

Pri zváraní zohráva rozhodujúcu úlohu prechodový odpor v mieste spoja R_{p-z} . Prechodové odpory R_{p-e} v mieste styku elektród (čeľustí) s dielcami sú podstatne menšie, preto je tu pomerne malý vznik tepla a toto teplo ku vzniku zvaru prakticky neprispieva.

Zvárací režim môže byť **mäkký** a **tvrdý**. Pri mäkkom režime nemusí dôjsť k úplnému, ale ani k čiastočnému nataveniu čelných plôch. Ide o určitú obdobu "kovárskeho" zvárania, keď sa materiál zvara v plastickom stave. Aj výronok pri tomto veľmi mäkkom režime má značne odlišný charakter. Výronok pri zváraní tvrdým režimom je ostrý.



Obr. 4.18 Odpor pri stykovom stláčacom zváraní

R_{p-e} - odpor v styku elektródových čelustí so zvarkom, R_{p-z} - odpor vo zvare, $R_{m1,2}$ - materiálové odpory, l_z - vzdialenosť čelustí na začiatku zvárania, l_k - vzdialenosť na konci zvárania, Δl - dĺžkové skrátenie dielcov, F - zváracia sila, F_u - upínacia sila, I - prúd, t - čas.

Zváracími parametrami pri stykovom stláčacom zváraní sú zváracia sila, prúd a čas. Aj ich špecifické - merné hodnoty (ktoré sa vzťahujú na 1mm^2 zvaru) sú podobné ako pri bodovom a výstupkovom zváraní.

Za zvárací parameter považujeme iba **zváraciu silu F** . Upínacia sila F_u nie je parametrom zvárania. Jej funkciou je zabezpečiť dobrý elektrický kontakt a zabrániť preklznutiu pri stláčaní.

Na kvalitu zvarov má vplyv aj **dĺžka vysunutia** zváraných komponentov z čelustí: $l_z/2$ (obr.4.18). Príliš veľké vysunutie spôsobuje zbytočný ohrev (veľké tepelné straty) a deformáciu. Malé vysunutie môže spôsobovať studené spoje. Pri zváraní plných kruhových prierezov sa dĺžka vysunutia pohybuje asi od 0,5 do 1,5 násobku priemeru.

Pre nastavenie **zváracieho času** pri jednoduchých zväračkách jestvuje určité zjednodušenie. Jeho podstata spočíva v tom, že pri použití rovnakých materiálov, rovnakých rozmerov, rovnakých parametrov atď. bude dĺžka stlačenia Δl (obr.4.18) prakticky rovnaká, a po dosiahnutí predpísaného stlačenia sa zariadenie automaticky vypne, takže nie je potrebné nastavovať zváracie časy.

Typy a tvary spojov

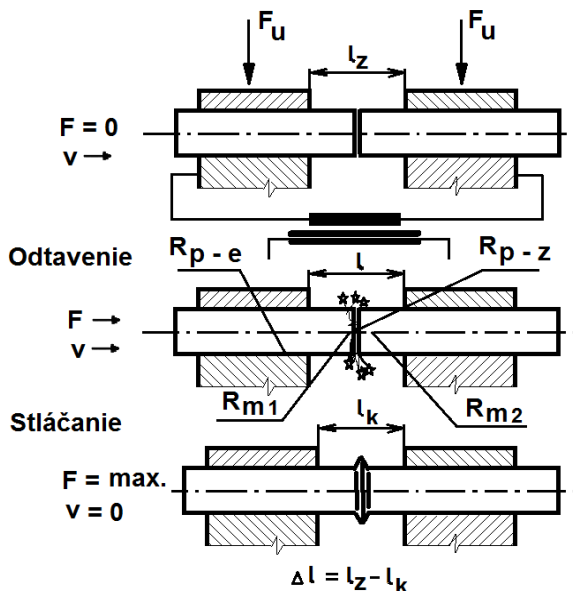
Stykovým stláčacím zváraním zhotovujeme prevažne tupé spoje. Najmenšie zväračky sú schopné zvärať drôty priemeru 0,2 mm, niekedy i menej. Pokiaľ ide o maximálne prierezy, platí tu približne rovnaká hranica ako pre výstupkové zváranie - cca. 600

mm². Zváračky na zváranie ráfov pre automobilové kolesá (napájané jednosmerným prúdom) túto hranicu prevyšujú.

V praxi sa táto technológia uplatňuje pri nadpojovaní drôtov v drôtoťahoch (oceľové, medené, ale i iné materiály). Nadpájajú sa odrezky z betonárskej ocele, čím sa znižuje jej odpad. Používa sa pri výrobe reťazí, ráfikov bicyklových a automobilových kolies. Navzájom sa zvárajú konce pílových pásov pre okružné píly. Ojedinele sa tento spôsob používa pri predlžovaní výstružníkov, vrtákov, skrutiek a pod.

4.1.6.6 Stykové odtavovacie zváranie

Odporové zváranie dielcov vo vodorovne umiestnených čelustiach, kde proces zvárania prebieha pri priblížení sa čelných plôch zváraných dielcov (obr.4.19). Odtavovacie zváranie potom môže prebehnúť ako **priame** alebo **nepriame** (s predhrevom).



Obr. 4.19 Stykové odtavovacie zváranie

R_{p-e} a R_{p-z} - prechodové odpory, $R_{m1,2}$ - materiálové odpory, l_z - vzdialenosť čelustí na začiatku zvárania, l_k - vzdialenosť na konci zvárania, Δl - dĺžkové skrátenie dielcov, F - zváracia sila, F_u - upínacia sila, v - odtavovacia rýchlosť,

Priame zváranie pozostáva z fázy odtavovania a fázy stláčania. Proces zvárania začína pomalým približovaním zváraných dielcov (rádovo $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$). Proces a ohrev začne až vtedy, keď sa čelá dielcov dotknú v jednom alebo viacerých miestach. Sila stlačenia je minimálna, blíži sa k nule, dotyk preto nikdy nemôže nastať na celej ploche. Dotykom vzniknú prúdové mostíky. Vzhľadom na minimálnu silu bude prechodový odpor medzi dielcami R_{p-z} mimoriadne veľký a pretekajúci prúd bude malý. Materiál sa v mieste dotyku prudko nataví a časť roztaveného kovu vystrekne. Tým v mieste dotyku vznikne kráter s tenkou vrstvou roztaveného kovu na jeho dne. Dielce sa ale naďalej približujú, takže postupne vznikajú nové dotyky, nové prúdové mostíky a celý dej sa opakuje. Postupne na čelách súčiastok súčasne vzniká, existuje a zaniká až niekoľko desiatok takýchto mostíkov. Ich životnosť trvá iba zlomky sekundy. Čelá dielcov sa postupujúcim odtavovaním stále viac ohrievajú a pokrývajú sa vrstvou

roztaveného kovu. Oba dielce musia byť pritom zahriate do potrebnej hĺbky. Táto fáza odtavovania, trvá sekundy až desiatky sekúnd. Potom nasleduje druhá fáza - stlačenie. Dielce sa navzájom stlačia a prúd sa vypne. Roztavený kov oboch čelných plôch za spolupôsobenia sily vytvorí zvar. Súčasne sa časť vysokoohriateho materiálu vytlačí zo zvaru a vytvorí výronok.

Pri **nepriamom zváraní** fáze odtavenia predchádza predhrev realizovaný plameňom, indukčne alebo najčastejšie prerušovanými skratmi zváracieho transformátora. Predhrev napomáha štartu odtavovacej fázy a súčasne predchádza zakaleniu materiálu. Nepriame odtavovacie zváranie má fázu predhrevu, fázu odtavenia a stlačenia. V porovnaní so stykovým stláčacím zváraním sú pre odtavovacie zváranie postačujúce nižšie zváracie prúdy (cca. 20x), keďže k natavovaniu nedochádza na celej ploche ale iba v jednotlivých miestach, kde je prechodový odpor mnohonásobne vyšší k čomu postačuje nižší prúd.

Zváracími parametrami pri stykovom odtavovacom zváraní sú **zvárací prúd**, ktorý sa reguluje zmenou sekundárneho napätia. Pri odtavovaní sa používa iba $25 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$ zváraného prierezu. (Pri bodovom zváraní až $500 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$). Je to dôsledok veľkého prechodového odporu vo zware: $R_{p-z.}$, **prítlačná sila**, ktorá je vo fáze odtavovania minimálna. V záverečnej fáze dosahuje sila maximum, hodnoty podobné iným metódam odporového zvárania. U stykového odporového zvárania sa **zvárací čas** neuvádza. **Zvárací čas** je nahradený **dĺžkou odtavenia** - Δl [mm] a **rýchlosťou odtavenia** - v [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$].

Ďalšími parametrami vplývajúcimi na kvalitu zvarov sú: **teplota predhrevu** volená v závislosti na zváranom materiáli. **Rýchlosť stláčania** najmä pri prechode z odtavovacej do stláčacej fázy má byť v rozsahu od $30 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ až $200 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. **Dĺžka stlačenia** je udávaná výrobcom zváracích zariadení pre konkrétny typ zväračky, alebo experimentálne zisťovaná pri zváraní konkrétneho výrobku. Aby pri pôsobení veľkej prítlačnej sily nedošlo k nežiaducej deformácii, tak vopred stanovená optimálna dĺžka stlačenia sa zabezpečí mechanickým dôrazom alebo iným systémom. **Vyloženie zvarencov z čelústí** (alebo veľkosť vysunutia: $l_z/2$) vplýva na veľkosť materiálových odporov R_m .

Zariadenia pre stykové odtavovacie zváranie majú v porovnaní so stláčacími zväračkami masívnejšiu konštrukciu. Ovládanie čelústí je elektromechanické, pneumatické alebo hydraulické. Zvárací režim je programovateľný.

Pri stykovom odtavovacom zváraní sa používajú tupé spoje, zvárajú sa polotovary z plných, dutých kruhových a hranatých prierezov. Nevýhodou technológie je nutnosť odstraňovania výronku.

Touto technológiou sa vyrábajú reťaze veľkých priemerov, zárubne dverí a nástroje z kombinovaných materiálov.

4.2 TLAKOVÉ SPÁJANIE MATERIÁLOV

V metódach spájania rozlišujeme v závislosti od formy prenosu sily medzi **bodovým, čiarovým a plošným spojom**. Zatiaľ čo pri plošnom spoji (napr. lepený spoj) je prenos zaťaženia rozdelený rovnomerne na celú plochu, pri bodovom spoji (napr. spoj vytvorený bodovým zvaráním, nitovaním) sa sústreďuje do jednotlivých bodov s miestnou koncentráciou napätia. Z tohto dôvodu môžeme spoje vzniknuté tlakovým spájaním začleniť k bodovým formám spájania.

Výhody tlakového spájania

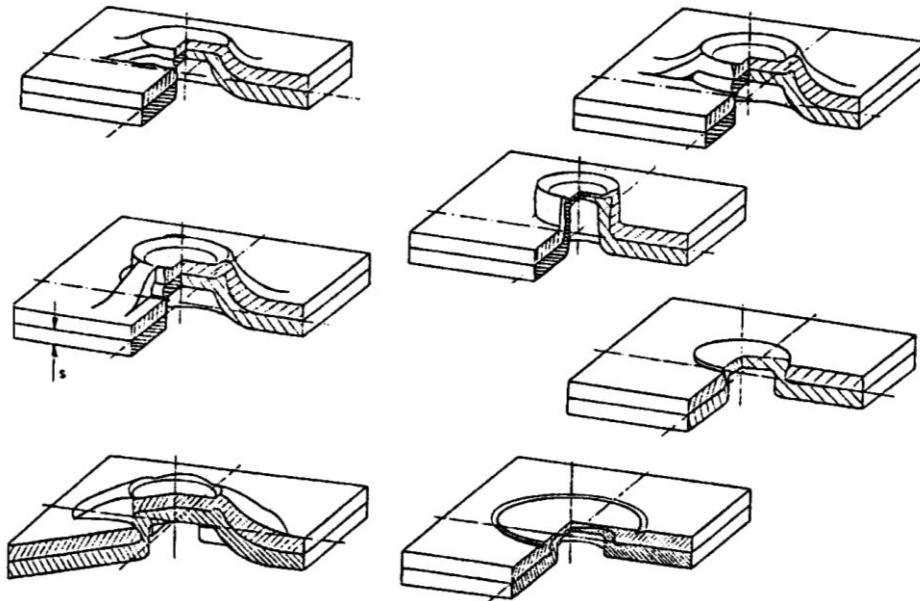
Podstatné prednosti tlakového spájania sú z technického hľadiska v tom, že sa môžu spájať materiály rôznych hrúbok, rôznych akostí a to bez pomocných spojovacích súčastí a bez tepelného vplyvu. Týmto spôsobom sa dajú spájať plechy, rúry a rôzne časti profilov z kovových aj nekovových materiálov, dokonca aj z plastov a v ľubovoľnej kombinácii. Pritom môžu byť spájané časti naolejované alebo s rôznou povrchovou úpravou (lakované, pokovované). Odpadá tiež predbežné alebo následné opracovanie. Hlavným obmedzením tejto metódy je však požiadavka na hrúbku použitých materiálov, ktorá by nemala presiahnuť u jedného z nich 5 mm.

Tlakové spájanie je relatívne nová metóda spájania materiálov. Oproti konvenčným metódam spájania má tlakové spájanie viacero výhod:

- spoj je vytváraný bez prídavného materiálu a bez pomocných spojovacích prvkov (nitov, skrutiek a pod.),
- spájanie je energeticky veľmi úsporné (približne len 20 % v porovnaní s bodovým odporovým zvaráním),
- nepoškodzuje ochrannú vrstvu spájaných materiálov,
- samotný proces spájania je veľmi rýchly,
- kontrola kvality spojov je veľmi jednoduchá a môže byť vykonávaná ručne alebo pomocou počítača,
- táto metóda spájania umožňuje, aby výsledné spoje boli podľa potreby vodotesné, či vzduchotesné,
- samotný proces spájania prebieha za studena.

Najpoužívanejšie metódy tlakového spájania

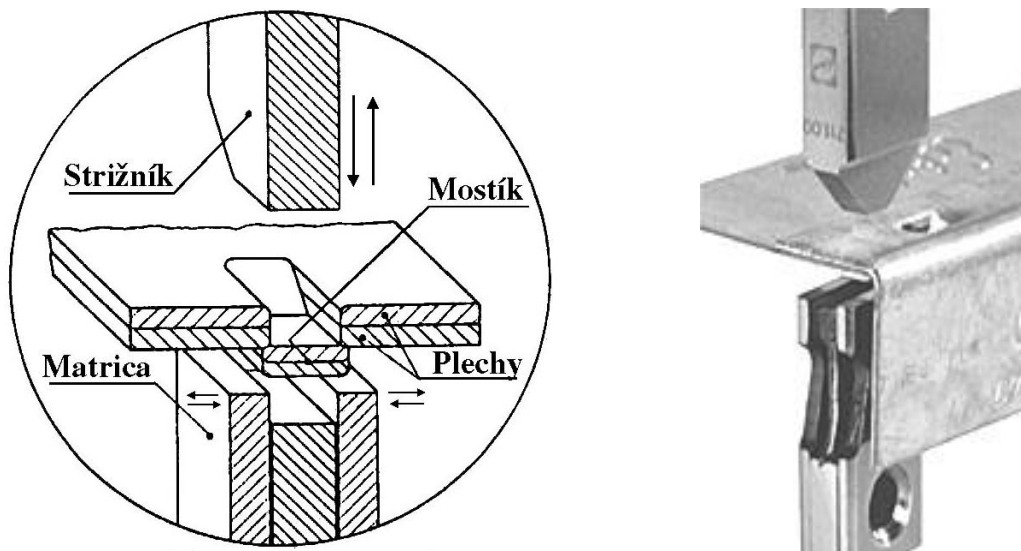
Spoje vytvorené metódou tlakového spájania môžu mať rôzny tvar v závislosti od konštrukcie použitých nástrojov (obr.4.20).



Obr. 4.20 Rôzne tvary spojov vytvorených tlakovým spájaním

4.2.1 Tlakové spájanie so zastrihávaním

Tlakové spájanie materiálov so zastrihávaním je proces rozdelený do dvoch fáz: strihanie a následné zalisovanie zastrihnutých častí. Spoj je vytváraný medzi strižníkom a matricou, ktorá sa skladá z pevnej strednej časti a dvoch pružných bočných platní (obr.4.21).



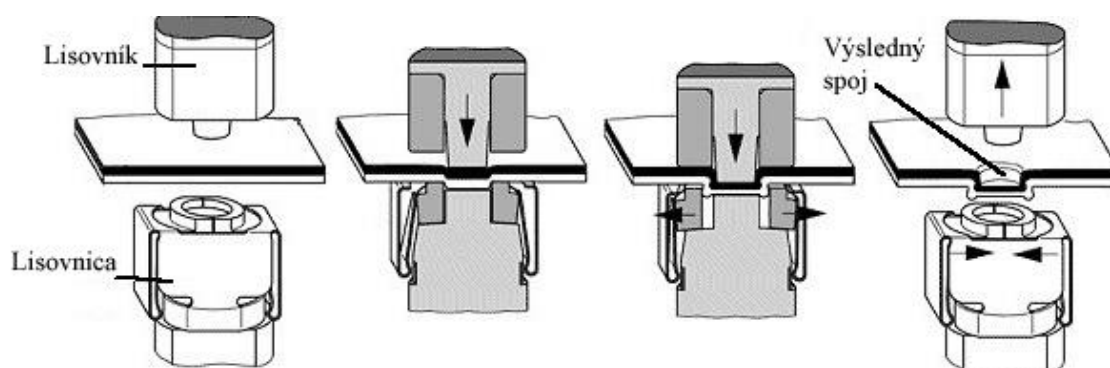
Obr. 4.21 Princíp tlakového spájania so zastrihávaním

Prvá fáza, t.j. strihanie, nastáva vtedy, ak sú plechy zastrihávané strižníkom pozdĺž jeho dvoch rovnobežných hrán, pričom sa z týchto zastrihnutých častí vytvorí vybulená plocha, tzv. mostík. Potom nasleduje **druhá fáza** procesu, v ktorej sú zastrihnuté časti plechov zalisované medzi strižníkom a pevnou strednou časťou matrice, kým nie je šírka stláčaných častí väčšia ako bola ich pôvodná šírka po zastrihnutí, čím sa vlastne vytvorí

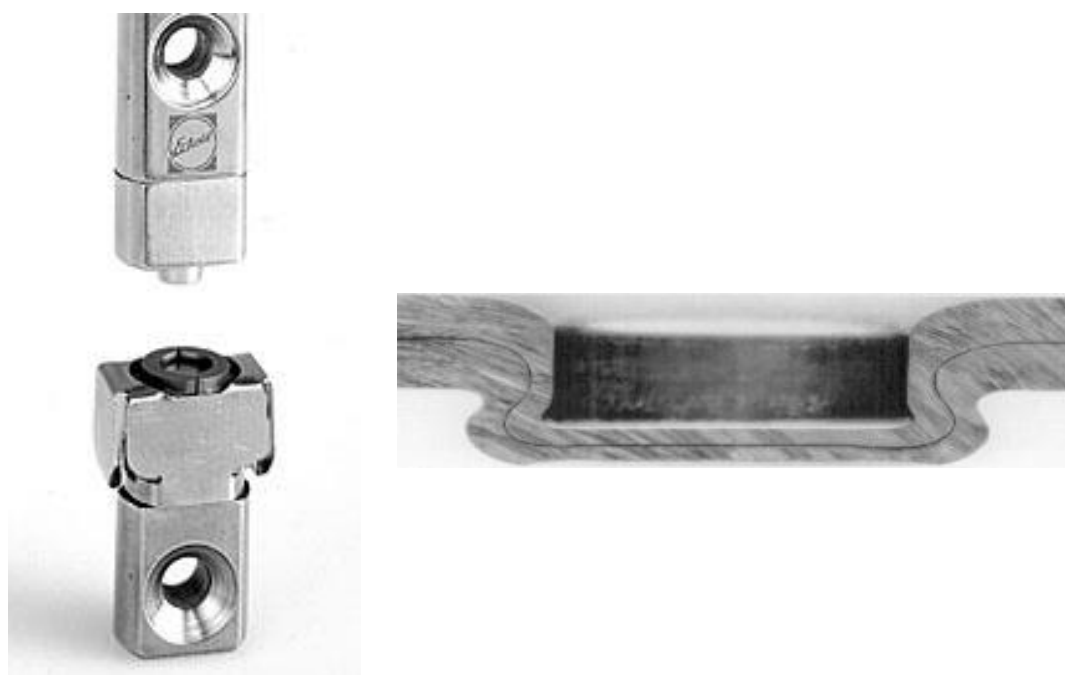
výsledný spoj. Túto zmenu šírky umožňujú práve pružné bočné platne v matici. Výsledný spoj má obdĺžnikový tvar. Nevýhodou tejto metódy je porušenie spájaných materiálov v ich prierezoch, čo môže mať negatívny vplyv na koróznú odolnosť výsledného spoja.

4.2.2 Tlakové spájanie s delenou lisovnicou

Princíp spočíva v zatlačovaní spájaných materiálov medzi lisovníkom a lisovnicou. Lisovnica pozostáva z pevnej časti a pružných segmentov, zvyčajne dvoch alebo štyroch. Tieto segmenty umožňujú pohyb materiálov do strán, čím dochádza k vzájomnému zakliesneniu týchto materiálov a k vzniku výsledného spoja (obr.4.22). Výsledný spoj má kruhový tvar (obr.4.23) a nedochádza pri procese k zastrihávaniu častí spoja. Nevýhodou u tohto spôsobu spájania je zložitejšia konštrukcia lisovnice nástroja.



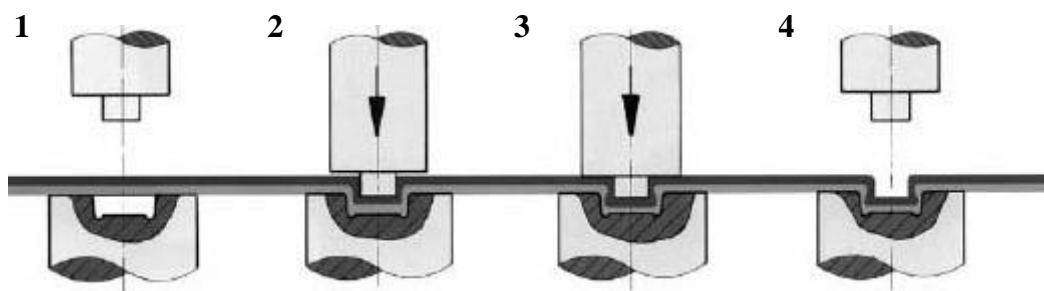
Obr. 4.22 Princíp tlakového spájania roznitovaním s dvoma pružnými segmentami v lisovnici



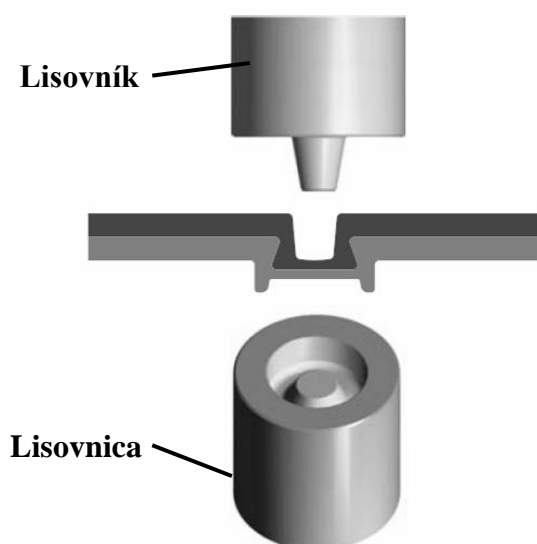
Obr. 4.23 Nástroj pre tlakové spájanie roznitovaním a výsledný spoj

4.2.3 Tlakové spájanie zalisovaním

Princíp tejto metódy spájania spočíva v zalisovaní spojovaných plechov lisovníkom do špeciálne tvarovanej lisovnice (obr.4.24). Lisovnica nie je segmentovaná, ale je z jedného kusa materiálu (obr.4.25). S narastajúcim tlakom je materiál nútený podľa tvaru lisovnice „zatekať“ do strán. Materiál je na spojovanom mieste zhutnený a spevnený.



Obr. 4.24 Princíp tlakového spájania zalisovaním

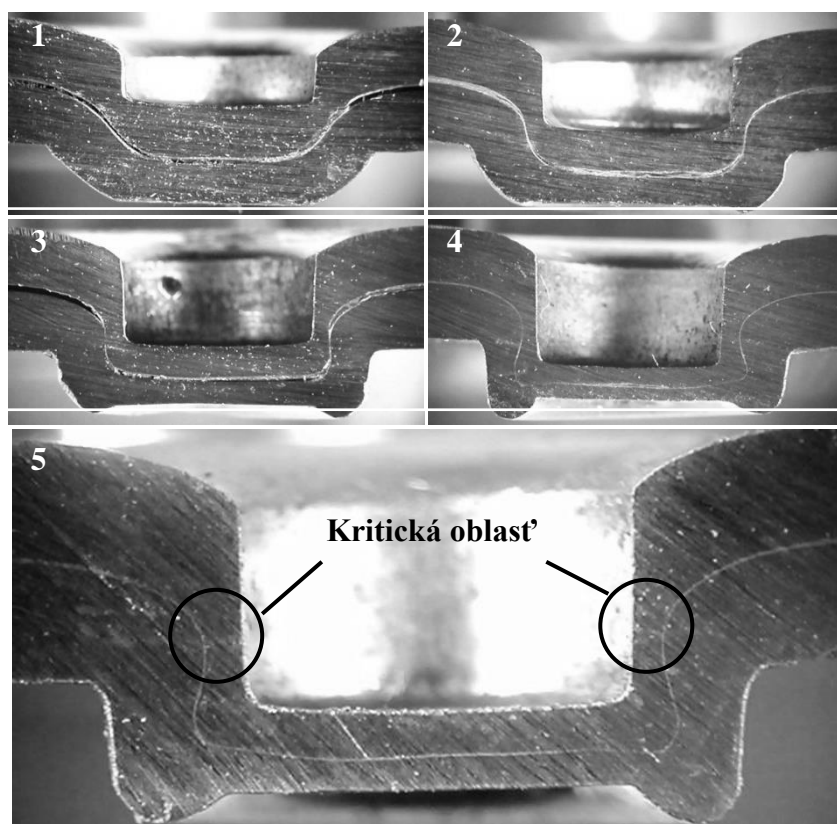


Obr. 4.25 Tlakové spájanie zalisovaním

Výsledkom je spoj bez hrán, bez otrepov a pri spájaní materiálov s povrchovou úpravou nedochádza k porušeniu povrchovej vrstvy, zachováva sa korózna odolnosť.

Veľmi dôležité je situovanie spájaných materiálov vzhľadom k lisovníku a lisovnici, ak sa jedná o spájanie materiálov s rôznymi hrúbkami, prípadne o spájanie materiálov s rôznymi mechanickými vlastnosťami. V zásade platí, že pri spájaní materiálov rôznych hrúbok je výhodnejšie situovať plech s väčšou hrúbkou na stranu lisovníka, pretože stenčenie materiálu zo strany lisovníka v kritickej oblasti spoja bude menšie ako pri opačnej orientácii spájaných materiálov. Kritická oblasť spoja (obr.4.26) je miesto s najvýraznejším stenčením v tlakovom spoji, kde dochádza k porušeniu spojov, napr. pri skúške ťahom pre zisťovanie únosnosti spojov alebo ešte počas samotného spájania, napr. pri spájaní vysokopevných ocelí. Pri spájaní materiálov rovnakých hrúbok, ale s rôznymi mechanickými vlastnosťami je výhodnejšie situovať plech s vyššou pevnosťou na stranu

lisovnice, aby nedochádzalo k porušeniu spoja v jeho kritickej oblasti ešte počas samotného spájania.

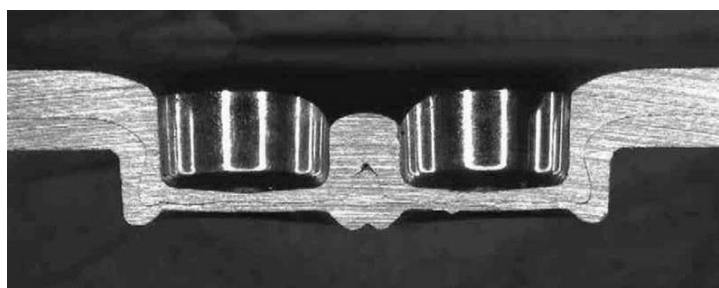


Obr. 4.26 Postupné vytváranie tlakového spoja zalisovaním s definovanou kritickej oblasťou spoja

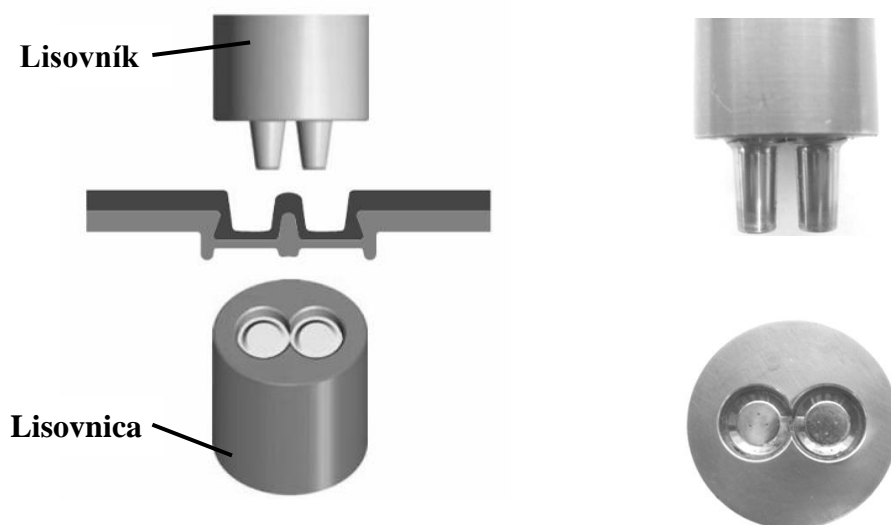
V ostatných rokoch je práve táto metóda spájania materiálov najčastejšie využívanou alternatívou k bodovému odporovému zvarovaniu v strojárskom priemysle.

4.2.4 Tlakové spájanie dvojitým zalisovaním

Metóda tlakového spájania dvojitým zalisovaním vychádza z technológie jednoduchým zalisovaním. Vytvorí sa zdvojený spoj (obr.4.27), ktorý má oproti jednoduchému spoju až dvojnásobnú únosnosť. Princíp tejto techniky spočíva v zalisovaní spájaných plechov lisovníkom s dvoma výstupkami do lisovnice s dvomi otvormi (obr.4.28).



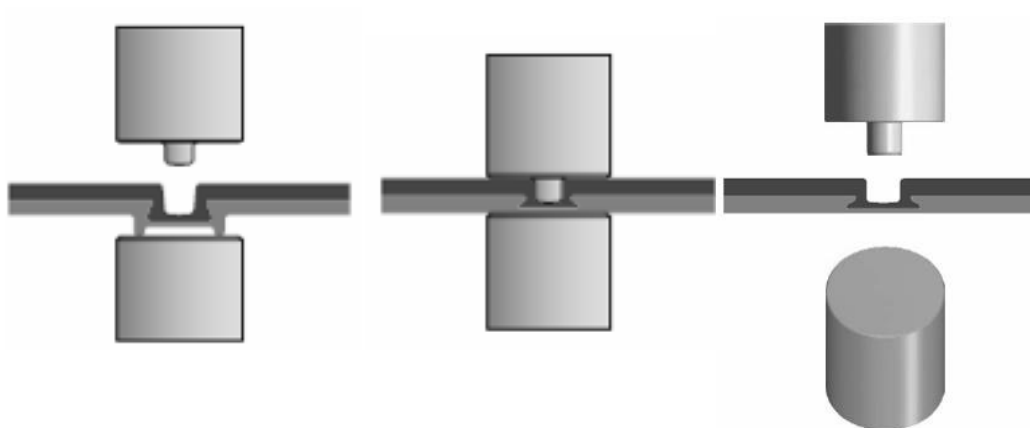
Obr. 4.27 Prierez spoja vytvoreného dvojitým zalisovaním



Obr. 4.28 Tlakové spájanie dvojitém zalisovaním

4.2.5 Tlakové spájanie so zalisovaním výstupku

Princíp tejto metódy spočíva v tom, že najprv v prvom kroku vytvoríme spoj pomocou tlakového spájania zalisovaním alebo pomocou tlakového spájania s delenou lisovnicou. Na strane lisovnice vznikne výstupok, ktorý je v druhom kroku zalisovaný plochou lisovnicou (obr.4.29). Táto metóda tlakového spájania je vhodná vtedy, ak je potrebné z konštrukčných alebo estetických dôvodov vytvoriť plochý spoj bez otvorov, resp. výstupkov.

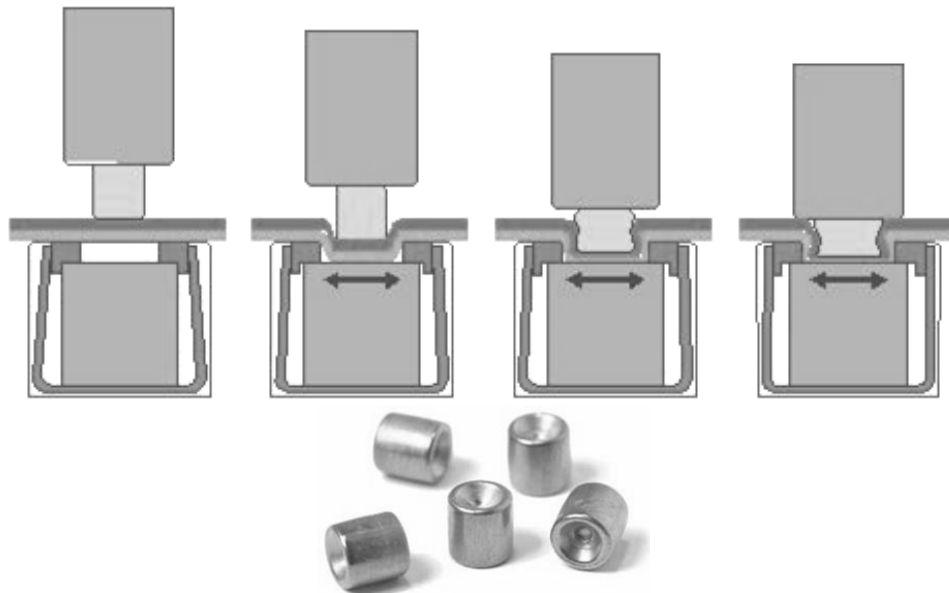


Obr. 4.29 Princíp tlakového spájania so zalisovaním výstupku

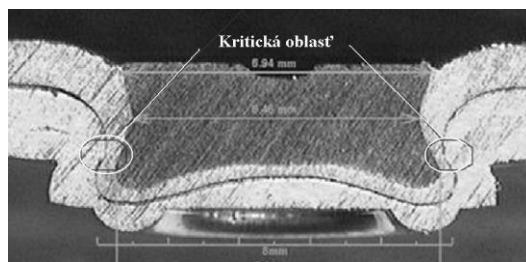
4.2.6 Tlakové spájanie nitovaním

Pri tejto metóde je výsledný spoj vytvorený pomocou špeciálneho nitu, ktorý je do spájaných materiálov zatlačovaný plochým lisovníkom. Nit je na strane delenej lisovnice s pružnými segmentmi tvarovaný tak, aby sa zabezpečilo jeho zakliesnenie v spájaných

materiáloch (obr.4.30). Rozdiel oproti konvenčnému nitovaniu je v tom, že nie je potrebné vŕtať otvory do spájaných materiálov pred samotným procesom spájania.



Obr. 4.30. Princíp tlakového spájania s nitovaním a nity používané pri tejto metóde spájania



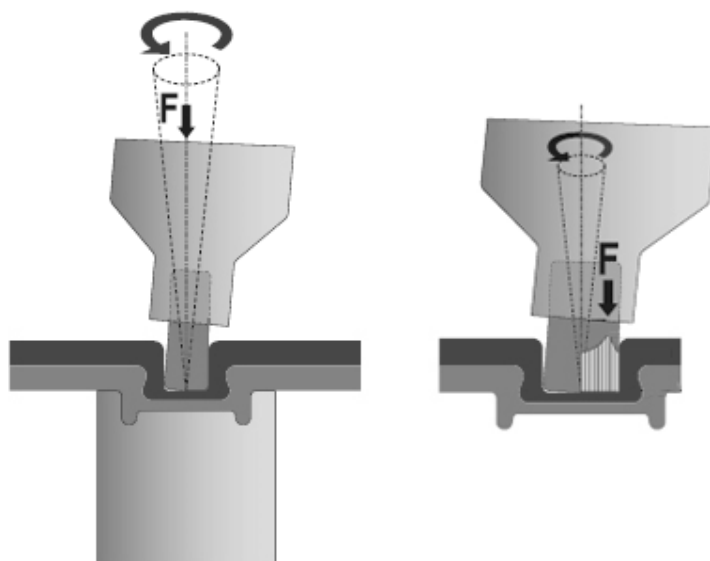
Obr. 4.31 Výsledný tlakový spoj s nitom

Tlakový spoj s nitom dosahuje vyššie hodnoty únosnosti v porovnaní s najbežnejšie používaným tlakovým spojom zalisovaním. Je to spôsobené tým, že nit je umiestnený priamo v spoji, čo zabezpečí zvýšenie jeho únosnosti v kritickej oblasti spoja, t.j. v mieste s najväčším stenčením spájaných materiálov (obr.4.31).

4.2.7 Rotačné tlakové spájanie

Výsledný spoj vytvorený touto metódou je rovnaký ako u metódy tlakového spájania zalisovaním. Princíp spočíva v zalisovaní materiálov medzi lisovníkom a lisovnicou, pričom činná časť lisovníka je otočná a zároveň sklopná pod nastaviteľným uhlom (obr.4.32).

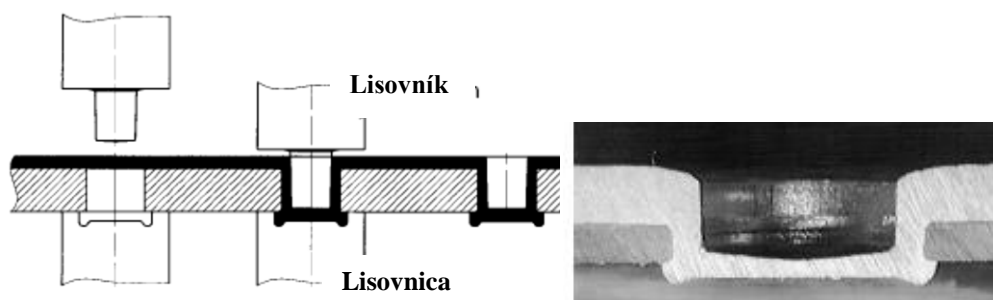
V dôsledku naklonenia lisovníka je kontaktná plocha medzi spájaným materiálom a lisovníkom zredukovaná približne o 70 - 80 % oproti klasickému tlakovému spájaniu zalisovaním, pričom sa výrazne zníži aj lisovacia sila - približne o 70 %. Nevýhodou tejto metódy je nutnosť použiť špeciálne kliešte, ktoré zabezpečia rotačný pohyb a sklápanie lisovníka počas procesu spájania.



Obr. 4.32 Metóda rotačného tlakového spájania

4.2.8 Tlakové spájanie metódou „VARIO“ spoj

Tlakové spájanie metódu „vario“ spoj sa využíva pri spájaní materiálov s výrazne rozdielnymi hrúbkami (hrúbka jedného zo spájaných materiálov môže byť až štvornásobne väčšia oproti hrúbke druhého materiálu), pri spájaní materiálov hlbokot'ažných s vysokopevnými, poprípade pri spájaní oceľových plechov s neželeznými materiálmi (napr. plastmi). Pred samotným spájaním musí byť do materiálu s väčšou hrúbkou situovaného na strane lisovnice vyvrtaný otvor vid' obr.4.33. Z toho vyplýva, že sa zalisuje len vrchný zo spájaných materiálov (tenší materiál) do špeciálne tvarovanej lisovnice, aby sa zabezpečilo vytvorenie spoja. Pri tomto spôsobe tlakového spájania je potrebná nižšia lisovacia sila v porovnaní s klasickým tlakovým spájaním zalisovaním. Na druhej strane je ale potrebné zabezpečiť veľmi presné zoradenie nástroja.



Obr. 4.33 Princíp metódy „Vario“ spoj

4.3 LEPENIE MATERIÁLOV

Široká škála rovnakých, ale aj rôznych kovových alebo nekovových materiálov a komponentov s rôznymi tvarmi, veľkosťami, prípadne hrúbkou môže byť navzájom spájaných lepením. Lepenie môže byť taktiež kombinované s inými metódami spájania materiálov, aby sa vylepšila celková pevnosť spoja.

Spájanie materiálov lepením sa s výhodou používa v strojárskom, leteckom, kozmickom, automobilovom, elektrotechnickom ako aj v stavebnom priemysle, napr. na pripevnenie spätného zrkadla na predné okno v automobile, zostavenie brzdového obloženia, laminátového okna, prístrojov, listov helikoptéry, leteckých konštrukcií, kormidiel, rezných nástrojov a mnoho ďalších. Pritom je veľmi dôležité, aby sa behom tuhnutia lepidla neuvolňovali vedľajšie splodiny.

Hlavné výhody použitia spájania lepením sú:

- Vytvára spojenie medzi plochami tak pre konštrukčné aplikácie ako aj pre nekonštrukčné použitie (napr. na utesňovanie, izoláciu, zabránenie elektrochemickej korózie medzi rôznymi materiálmi, na vytvorenie elektrickej bariéry medzi dvoma povrchmi, na redukovanie vibrácií a hluku vnútorným tlmením v spojoch a pod.).
- Rozkladá zaťaženie na celú lepenú plochu a teda odstraňuje koncentrátoory napätia ako ich poznáme napr. so spájania materiálov zváraním alebo pomocou spojovacích prvkov ako sú nity, skrutky.
- Zachováva sa konštrukčná celistvosť dielca, pretože nie je potrebné vŕtanie otvorov.
- Pomocou lepenia je možné zjednodušiť montážne operácie nahradením spojovacích prvkov alebo umožniť spojenie niekoľkých komponentov jednou operáciou.
- Môžu byť navzájom spájané veľmi tenké a krehké materiály bez podstatného zvýšenia hmotnosti celého spoja.
- Je možné spájať pórovité materiály a materiály rozdielných vlastností a rozmerov.
- Lepenie je možné použiť aj vtedy, ak nie je možná iná metóda spájania (napr. sendvičové materiály).
- Vzhľadom na to, že spájanie lepením je zvyčajne uskutočňované pri teplotách medzi izbovou teplotou a teplotou okolo 200°C, nedochádza k podstatným deformáciám alebo zmenám vlastností materiálov oproti pôvodným.

Hlavné nevýhody použitia spájania lepením možno definovať ako:

- Obmedzené prevádzkové teploty.
- Niekedy je nevyhnutný veľmi dlhý čas na spájanie, a teda maximálna pevnosť spojov sa nedosahuje okamžite ako je tomu napr. pri zváraní alebo nitovaní.
- Je potrebná veľmi dôsledná príprava povrchu.
- Ťažkosti pri používaní nedeštruktívnych spôsobov kontroly spojov, hlavne pri veľkých konštrukciách.
- Spoľahlivosť lepených konštrukcií počas doby ich prevádzky.
- So zvyšujúcou sa teplotou klesá pevnosť lepeného spoja a menia sa deformačné vlastnosti niektorých druhov lepidiel (s elastických na plastické).

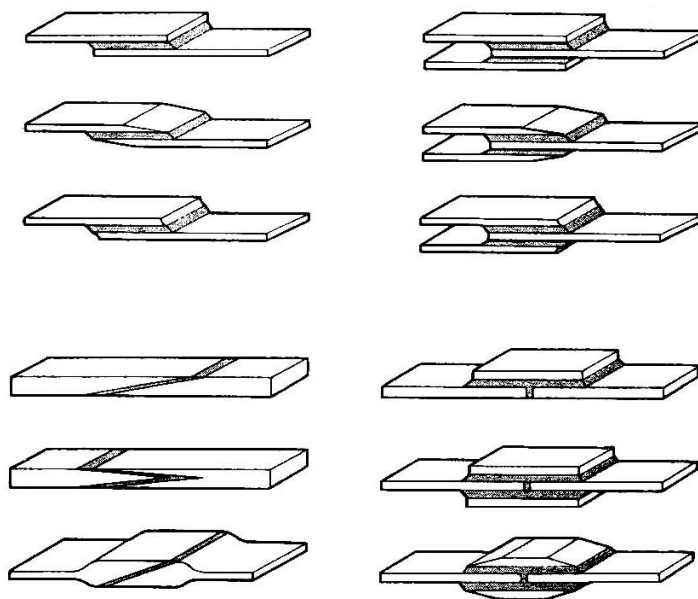
Náklady na spájanie lepením závisia na príslušných operáciách. V mnohých aplikáciách však celkové náklady procesu spôsobujú, že spájanie lepením je atraktívnym a niekedy jediným realizovateľným alebo praktickým spôsobom spájania.

Princíp lepenia a jeho technologický postup je vždy v podstate rovnaký a má tieto fázy:

- príprava povrchu spájaných materiálov,
- príprava lepidla,
- nanášanie lepidla,
- montáž spoja,
- vytvorenie pevného spoja.

Návrh lepených spojov

Navrhovaním lepených spojov by sa malo zaručiť, že tieto spoje budú vystavené tlakovým, ťahovým a šmykovým silám a nie odlupovacím alebo štiepnym silám. Na obr.4.34 je znázornených niekoľko spojov navrhnutých pre spájanie lepením. Spoje sa podľa spôsobu zaťaženia líšia pevnosťou, preto je voľba vhodného riešenia veľmi dôležitá a mala by brať do úvahy napríklad typ zaťaženia a prostredie.



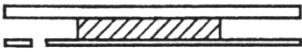

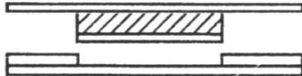
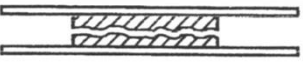
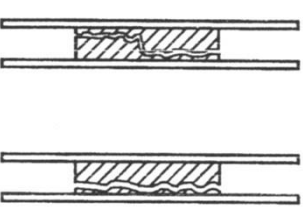
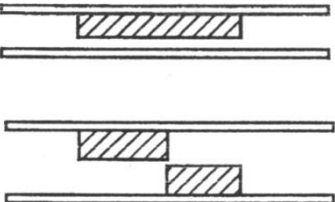
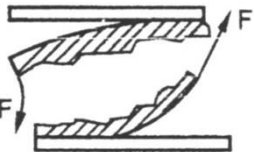
Obr. 4.34 Možnosti navrhnutia lepených spojov

Použitie tupého spoja si napríklad vyžaduje väčšiu spájajúcu plochu. Jednoduché preplátované spoje majú zase tendenciu sa deformovať, ak sú vystavené ťahovým napätiam. Koeficient rozťažnosti materiálov, ktoré sa majú spájať, by mal byť podľa možnosti známy, aby sa bolo možné vyhnúť vnútorným napätiam v materiáli počas lepenia.

Úprava povrchov materiálov pred lepením

Súhrnom všetkých príčin, ktoré spôsobujú priľnutie dvoch látok k sebe hovoríme priľnavosť alebo adhézia. Pri bližšom skúmaní princípu lepenia sa rozlišuje adhézia mechanická a adhézia špecifická a v rámci samotného lepidla definujeme pojem kohézia.

Tabuľka 4.2 Označenie typov porušenia lepeného spoja

Vzor porušenia	
Substrát	 <p>Porušenie jedného alebo oboch lepených materiálov</p>
	 <p>Porušenie lepeného materiálu (kohézne porušenie substrátu)</p>
	 <p>Porušenie delamináciou (delaminačné porušenie)</p>
Lepidlo	 <p>Kohézne porušenie</p>
	 <p>Špeciálne kohézne porušenie</p>
	 <p>Adhézne porušenie</p>
	 <p>Adhézne a kohézne porušenie s odlúpením</p>

Mechanická adhézia vzniká pri lepení látok, u ktorých tekuté lepidlo preniká do pórov na povrchu. Po stuhnutí si lepidlo vytvorí mechanické mostíky a spojí obidve lepené časti. Mechanická adhézia je hlavnou zložkou napr. pri lepení dreva; pri lepení kovov má však nepatrný význam.

Špecifická adhézia je spôsobená medzimolekulárnym napätím, ktoré vzniká na hranici medzi lepidlom a kovom. Podmienkou pre priľnutie lepidla na kov je skutočný priamy styk povrchu kovu s lepidlom. Vyžaduje sa, aby lepidlo plochu zmáčalo.

Pod pojmom **kohézia** rozumieme sily, ktoré držia častice lepidla pohromade. Hodnotenie adhézie a kohézie slúži na označovanie typov porušenia lepených spojov pri klasifikácii typov porušenia za účelom lepšieho posúdenia výsledku mechanickej skúšky lepených spojov (tab.4.2).

Pred samotným lepením spojov je veľmi dôležitá príprava povrchu. Pevnosť výsledného spoja závisí hlavne na čistote povrchu, t.j. aby povrch spájaných materiálov nebol zašpinený, zaprášený, prípadne od oleja alebo iných nečistôt.

Hrubé, krehké alebo voľné oxidické vrstvy na povrchu materiálu majú tiež škodlivý vplyv na lepenie. Na druhej strane pórovité, tenké, výrazné oxidické vrstvy môžu byť žiadúce, aby sa zlepšila priľnavosť lepidla.

Mechanická úprava povrchu

Mechanickou úpravou povrchu získavame vhodnú drsnosť povrchu lepených plôch. Vyhovujúca drsnosť povrchu je v rozsahu $Ra = 0,8$ až $5,8 \mu m$. Leštené plochy i plochy príliš drsné sa pre lepenie nehodia. Vhodnými úpravami sú: jemné sústruženie, jemné frézovanie a brúsenie hrubozrnným kotúčom. Väčšinou však stačí akosť plochy po poslednej obrábacej operácii. Ak sa majú lepiť nepokovované plechy, musí sa vždy dokonale odstrániť oxidická vrstva na povrchu. Mechanická úprava povrchu nie je vhodná pre tenké materiály, pretože by mohlo dôjsť k ich deformácii.

Chemická úprava povrchu

Chemickou úpravou sa z povrchu kovu odstraňujú látky, ktoré zabraňujú dobrému priľnutiu lepidla. U niektorých kovov sa chemickou úpravou dosahuje zvýšenie pevnosti spoja (napr. u ľahkých kovov). U všetkých kovov sa musíme postarať o to, aby povrch bol čistý a odmastený.

- *Odmasťovanie organickými rozpúšťadlami* - sú to napr. chlórované uhľovodíky ako trichlóretylén a tetrachlórmétán, acetón, metyletylketon, ľahký benzín a pod.
- *Čistenie alkalickými prostriedkami* - používa sa hydroxid sodný, metakremičitan sodný atď. Odmastený povrch sa opláchne tečúcou teplou vodou a osuší prúdom suchého horúceho vzduchu, aby nedošlo k oxidácii povrchu.
- *Odmasťovanie pastami* - nečistoty sa z povrchu materiálov odstránia tak, že sa miesto niekoľko minút natiera pastou, ktorá sa nakoniec dôkladne z povrchu zotrie.
- *Odmasťovanie kyselinami* - používajú sa napr. kyselina chrómsírová, kyselina fluorovodíková. Po ich aplikácii sa povrch veľmi dobre opláchna a rýchlo osuší.

Elektrochemická úprava povrchu

Najčastejšie sa elektrochemicky odmasťuje v roztoku kyseliny sírovej, fosforečnej a vody pri teplote približne $70^{\circ}C$ po dobu 5 minút.

4.3.1 Druhy lepidiel

V súčasnosti sa používa a stále ešte vyvíja veľké množstvo lepidiel, ktoré poskytujú dostatočnú, resp. požadovanú pevnosť spoja. Spôsobov klasifikácie lepidiel existuje veľa, no väčšina spôsobov sa obmedzuje na jedno alebo dve základné kritériá, takže nové typy lepidiel, ktoré prichádzajú na trh sa niekedy ťažko zaradzujú.

Najznámejšie klasifikačné systémy lepidiel vychádzajú z nasledujúcich hľadísk:

- chemické zloženie, druh väzby,
- nosné médium,
- forma a fyzikálny stav,
- tekutosť,
- spôsob vytvrdzovania, tvorba väzby,
- lepivosť, odolnosť, reaktivnosť,
- použitie atď.

Rozdelenie lepidiel podľa spôsobu vytvárania lepeného spoja:

- *Roztokové alebo disperzné* - tuhnú vsiaknutím a odparením rozpúšťadiel.
- *Lepidlá citlivé na tlak* - napríklad lepiace pásy, spoj vznikne po ľahkom pritlačení.
- *Tavné* - spoj vznikne stuhnutím taveniny.
- *Vytvrdzujúce chemickou reakciou*.

Rozdelenie lepidiel podľa nasledujúcich kritérií:

1. pôvod,
2. úprava,
3. teplota vytvrdzovania,
4. spôsob vytvrdzovania,
5. prostredie, v ktorom bude spoj umiestnený.

1. Rozdelenie lepidiel podľa pôvodu:

- I. prírodné:
 - a) rastlinné: - škroby,
- dextríny,
- prírodné živice,
- prírodný kaučuk.
 - b) živočíšne: - glutínové gleje,
- kazeínové gleje,
- albumínové gleje,
- rybacie gleje.
 - c) minerálne: - cementy,
- vodné sklo.

- II. syntetické:

- a) termoreaktívne:
 - fenolformaldehydové,
 - fenolkrezolformaldehydové,
 - močovinoformaldehydové,
 - melamínformaldehydové.
 - rezorcínformaldehydové,
 - epoxidové,
 - polyesterové,
 - polyuretánové.
- b) termoplastické:
 - akrylátové,
 - vinylické,
 - polyamidové.

2. Rozdelenie lepidiel podľa úpravy:

- I. tekuté - roztoky, disperzné,
- II. tuhé - granule, prášky, fólie,
- III. polotuhé - pasty, tmely, pásy.

3. Rozdelenie lepidiel podľa teploty vytvrdzovania:

- I. vytvrdzujúce pri normálnej teplote (20 až 30°C),
- II. vytvrdzujúce pri zvýšenej teplote (30 až 90°C),
- III. vytvrdzujúce pri vysokej teplote (90 až 220°C).

4. Rozdelenie lepidiel podľa spôsobu vytvrdzovania:

- reaktívne:
 - a) jednozložkové - tuhnuce účinkom zvýšenej teploty alebo vzdušnej vlhkosti,
 - b) dvoj a viaczložkové - tuhnuce vplyvom tvrdiacich katalyzátorov za normálnej a zvýšenej teploty.
- nereaktívne:
 - a) roztokové - tuhnuce v dôsledku vytekania vody alebo organického rozpúšťadla,
 - b) disperzné - tuhnuce v dôsledku difundovania vody do podkladu,
 - c) tavné - tuhnuce po ochladení na normálnu teplotu,
 - d) stále lepivé.

5. Rozdelenie lepidiel podľa prostredia, v ktorom bude spoj umiestnený:

- I. interiérové,
- II. exteriérové.

V závislosti na špecifickom použití musia mať lepidlá nasledujúce vlastnosti:

- pevnosť,
- tuhosť,
- odolnosť voči rôznym kvapalinám a chemikáliám,
- odolnosť voči nepriaznivým vplyvom prostredia vrátane vlhkosti,
- schopnosť zmáčať spájané povrchy.

Z hľadiska akosti spoja je potrebné mať na zreteli objemové zmeny, ku ktorým dochádza pri premene tekutého lepidla na tuhý film. Najmenej sa zmršťujú tavné lepidlá a bezrozpušťadlové reaktívne lepidlá. Naopak najviac znižujú svoj objem lepidlá rozpúšťadlové a disperzné. Vplyvom zmršťovania vrstvy lepidla v spoji môže dôjsť k „prepadávaniu“ lepeného povrchu, čím sa znižuje kvalita výrobku.

4.3.2 Nanášanie lepidiel

Podľa rozdelenia technológie lepenia na jednotlivé fázy je nanášanie medzifázou, ktorá oddeľuje prípravné práce od vlastného vytvorenia spoja. Ako vyplýva z podmienok vytvorenia kvalitného spoja, pri nanášaní je potrebné dosiahnuť súvislú a rovnomernú vrstvu lepidla určitej hrúbky. Lepidlo sa vo väčšine prípadov spájania nanáša na obidve lepené časti.

Spôsoby nanášania je možné z hľadiska ich kategorizácie rozdeliť na štyri hlavné skupiny:

- a) ručné nanášanie,
- b) nanášanie pomocou prípravkov,
- c) nanášanie pomocou veľmi výkonných zariadení,
- d) nanášanie pomocou tepelných procesov.

Tieto spôsoby si vyžadujú určitý sortiment pomôcok a ich použitie je ohraničené druhom a vlastnosťami lepidla.

Ručné nanášanie: používajú sa tieto prostriedky:

- **Štetce** - používajú sa štetce s jemným a tuhším vlasom na presnejšie nanosenie tenkej vrstvy lepidla.
- **Tyčinky** - sú určené spravidla na jednorazové použitie na malé plochy, prípadne do dutín. Sú sklenené alebo drevené.
- **Stierky** - majú rôzne veľkosti a môžu byť z plechu, plastov, prípadne z tvrdej gummy. Podľa šírky lopatky sa mení použiteľnosť pre rôzne šírky lepenej plochy.
- **Tuby** - sú obaly upravené na nanášanie. Jej výhodou je možnosť veľmi jemného odstupňovania dávky lepidla a pri použití rôznych nástavcov sa dá využiť na nanášanie na malé plochy, do tvarových spojov, dutín i do kombinovaných spojov.
- **Sítá** - sú rôznych veľkostí a používajú sa na nanášanie práškovitých lepidiel na rôzne, spravidla predhriate substráty.
- **Nožnice** - na presné strihanie fóliových, resp. páskových lepidiel.

Nanášanie pomocou prípravkov: sem patria jednoduché zariadenia, často prevzaté z iných odborov:

- **Injekčné striekačky** - slúžia na nanášanie veľmi dobre tekutých lepidiel, dobre rozpustných, aby sa ihly ľahko čistili. Výhodne sa používajú pri nanášaní do neprípustných spojov a priestorov.

- **Vytlačacie pištoly** - principiálne sú to injekčné striekačky vybavené pružinovým zariadením alebo zariadením na stlačený vzduch, aby mohli vytláčať aj husté tmely, tesniace hmoty a plnené lepidlá. Ukončené sú nastavkami rozličných tvarov.
- **Ručné valcové natierače** - sú skonštruované na spôsob maliarskych natieracích valcov. Skladajú sa spravidla zo zásobnej vaničky opatrenej rukoväťou, sústavy vlhčiacich valcov a posledného nanášacieho valca.
- **Ručné nožové natierače** - v princípe sa podobajú valcovým natieračom. Hlavným konštrukčným prvkom je prípravok, do ktorého sa montuje natierací nôž z plastu, gumy alebo kovu.

Nanášanie pomocou veľmi výkonných zariadení:

- **Polievacie zariadenie** - využíva sa zvyčajne pri vrstvení. Principiálne je to štrbina, z ktorej sa rovnomerne leje presné množstvo lepidla do šírky danej dĺžkou štrbiny. Polievanie je vhodné len pre určitú viskozitu lepidla, aby nevznikli bubliny, ktoré by mohli negatívne ovplyvniť pevnosť spoja.
- **Valcové zariadenie so stieracím nožom** - valce posúvajú materiál pod stierací nôž. Štrbina medzi nožom a materiálom určuje hrúbku nanesej lepiacej vrstvy. Tento spôsob sa používa hlavne pri nanášaní na fóliové a textilné materiály, papier a pod.
- **Valcové zariadenie so vzdušným nožom** - prúdom vzduchu sa ovplyvňuje hrúbka lepidla a strhávajú sa rozpúšťadlá. Tento spôsob umožňuje vyššie rýchlosti ako nanášanie stieracím nožom.
- **Valcové zariadenie s natieracím valcom** - hrúbka lepiacej vrstvy ovplyvňuje tlak natieracieho valca na nanášaný materiál a otáčky valcov. Dosahujú sa vysoké výkony a veľmi rovnomerná hrúbka lepidla.
- **Striekanie vzduchovými striekacími pištoľami** - pre veľké množstvo nevýhod sa používa len zriedka.
- **Bezvzduchové striekacie zariadenia** - využívajú na nanášanie lepidla vysoký hydraulický tlak.
- **Zariadenia na elektrostatické nanášanie** - princíp spočíva vo vyvolaní elektrostatického náboja na povrchu materiálu a čiastočkách lepidla. Tak vzniknú elektrostatické sily, ktoré rozvírený materiál pritiahnú na povrch a vytvoria rovnomernú vrstvu lepidla. Nanášajú sa tak prášky alebo kvapalné lepidlá.

Nanášanie pomocou tepelných procesov:

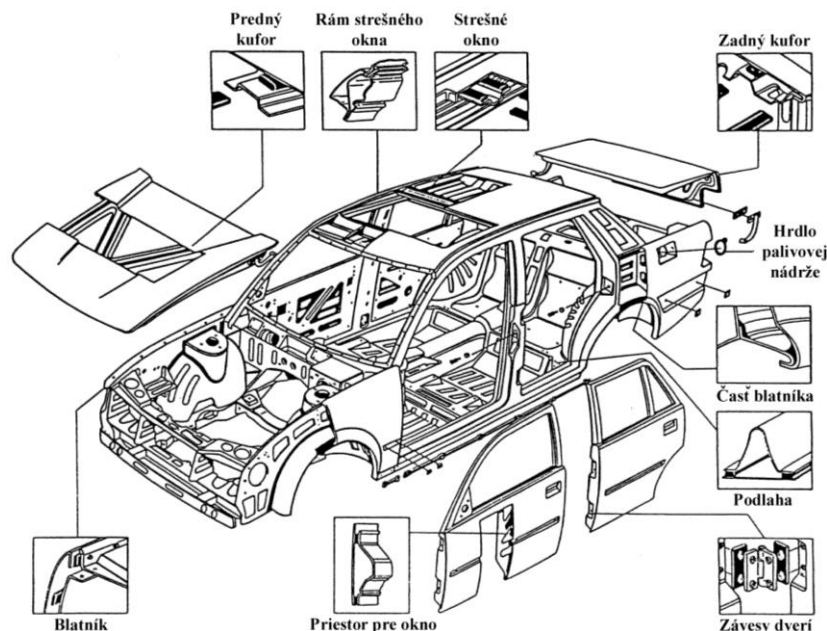
- **Nanášanie lepidiel natavovaním** - klasické tavné lepidlá v tyčiach, platniach alebo kockách sa nanášajú na lepený povrch tavným elementom (kotúčom, valcom). K tavnému elementu sa priloží lepidlo, ktoré sa roztaví a ktoré kotúč preniesie na lepený materiál. Používa sa v obalovej technike a pri výrobe obuvi.
- **Fluidizačné nanášanie a žiarové striekanie** - používajú sa predovšetkým práškové lepidlá. Táto technika je prevzatá z technológie povrchových úprav.

Technika konštrukčného lepenia sa uplatnila aj pri výrobe karosérií automobilov, hlavne pri výrobe dverí a striech automobilov, ale tiež u krytov motorov a batožinového priestoru (obr.4.35).

Lepidla sa nanášajú na neodmastený povrch plechu (vzhľadom k dočasnej ochrane pred koróziou pred výrobou a počas výroby) a musia sa udržať v spoji aj v okamihu vytvrdzovania pri lakovaní karosérie. Lepený spoj musí vykazovať požadovanú pevnosť, napr. pre lemy karosérie je požadovaná pevnosť v šmyku 6 MPa.

Použitie lepenia pri konštrukcii karosérie prináša tieto výhody:

- plošné uchytenie plechov zaisťuje karosérii väčšiu pevnosť a tuhosť,
- povrch spojovaných miest je hladký, odpadajú tak nákladné operácie začišťovania,
- spoje sú tesné, nie je potrebné ich dodatočne utesňovať a zlepšuje sa tým korózna odolnosť karosérie,
- vrstva lepidla je izolant, nemôže dôjsť k elektrolytickej korózii,
- u väčších dielcov je možné nalepením výztuh zväčšiť tuhosť plôch a potlačiť vibrácie,
- nedochádza k poškodeniu ochrannej vrstvy pozinkovaných plechov,
- je možné spojiť ťažko zvariteľné plechy.



Obr. 4.35 Časti karosérie spájané lepením

Samozrejme s použitím technológie lepenia pri konštrukcii karosérie automobilu súvisia požiadavky kladené na samotné lepidlá:

- **Mechanické vlastnosti lepidiel** - požadujú sa lepidlá s malým súčiniteľom tepelnej rozťažnosti alebo dostatočnej pružnosti vzhľadom na vnútorné napätia vo vrstve lepidla, ktoré vznikajú pri zmenšení objemu počas tvrdnutia.
- **Trvanlivosť počas životnosti vozidla** - štrukturálne vlastnosti lepených spojov musia byť samozrejme dodržané počas životnosti vozidla. Rozumie sa tým hlavne pevnosť a schopnosť absorpcie práce kondenzačných zón. Prevádzajú sa časové testy vypovedajúce o trvanlivosti spojov, predovšetkým pri pôsobení slanej vody, zrážkovej vody, zmenami podnebia a teplôt v rozsahu od - 40°C do + 120°C.
- **Prevádzková pevnosť** - skúmanie životnosti lepeného montážneho dielca sa koniec koncov vykonáva skúškami pevnosti počas prevádzky ako aj skúškami jazdy

s ohľadom na vplyv prostredia. Skúšajú sa tie lepidlá v montážnom dielci, ktoré vykazovali v časovom teste najlepšie výsledky.

4.3.3 Kombinácia lepenia s inými metódami spájania materiálov

Každá metóda spájania materiálov má svoje výhody, ale aj nevýhody. Preto sa skúma možnosť kombinácie rôznych metód spájania materiálov s cieľom výrazne zlepšiť výsledné vlastnosti takto vytvorených spojov. Skombinujú sa tak výhody jednotlivých spájacích metód a eliminujú sa ich nedostatky. Metóda lepenia sa najčastejšie kombinuje s nitovaním, skrutkovými spojmi a s bodovým zvaraním.

Pri kombinácii lepenia s nitovaním sa berie do úvahy väčšia odolnosť nitovaných spojov voči zvýšeným teplotám a v niektorých prípadoch aj vyššia pevnosť pri statickom zaťažení. Naproti tomu lepené spoje vykazujú lepšie vlastnosti pri únavových skúškach, sú tesné a odolné voči korózii. Pri tejto kombinácii metód sa používajú dva postupy, a síce najprv lepenie a potom dodatočné nitovanie po vytvrdnutí lepidla alebo súčasné lepenie a nitovanie pre vytvrdnutím lepidla. Uvádza sa, že pri použití prvého spôsobu sú výsledné spoje obvykle pevnejšie, majú lepšiu tesnosť a sú aj technologicky jednoduchšie, pretože nie je potrebné používať prípravky pre zaistenie tlaku. Príkladom použitia týchto spájacích techník sú krídla lietadla, kde sa priamo čerpá palivo (v tomto prípade je lepidlo používané predovšetkým na tesnenie).

Pôvodnou úlohou skrutiek v kombinácii s lepením bolo zaistenie spoja proti odlupovacím silám a rázovým namáhaniam. Pri použití vysokopevnostných skrutiek, zvlášť keď sa do lepidla pridá korundový prášok, ktorý vymedzuje hrúbku vrstvy lepidla, je možné dosiahnuť zlepšenie pevnosti v šmyku.

4.3.4 Kombinácia lepenia a bodového zvarania

Táto kombinácia spájacích techník využíva výhody tak bodového zvarania ako aj lepenia. Použitím lepidla sa znižuje koncentrácia napätia v okolí bodového zvaru. Tiež je odstránený problém korózie medzi vnútornými plochami spájaných materiálov.

V súčasnosti sa táto kombinácia spájacích techník široko využíva v leteckom a kozmickom priemysle a samozrejme aj v automobilovom priemysle, napr. pre vysoko náročné montážne dielce kostry karosérie. Výhody použitia súčasne lepených a zvaraných dielcov sú:

- únavová pevnosť spojov súčasne lepených a zvaraných vzrastie v porovnaní s odpovedajúcimi spojmi, ktoré sú „len“ zvarané,
- vzrastie tuhosť konštrukcie, čím sa znížia vibrácie dynamicky zaťažovaných dielcov,
- spoje vytvorené kombináciou týchto techník sú plynutesné a vodotesné, čo okrem konštrukčných výhod vylúči vznik korózie v oblasti spoja,
- spoje znášajú väčšie rázové a odlupujúce zaťaženie,
- zvýšená pevnosť spojov umožňuje znížiť priemer bodových zvarov a zväčšiť vzdialenosť medzi nimi až dvojnásobne, čo má priaznivý vplyv na výrobné náklady.

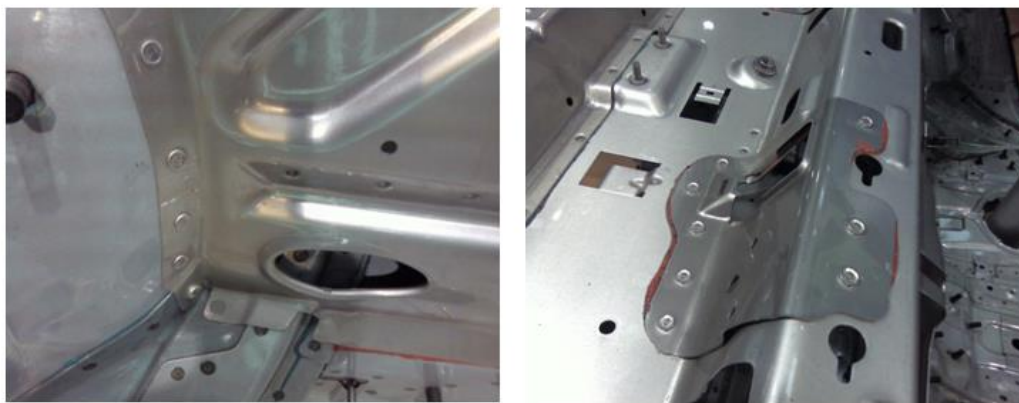
Spoj je zvyčajne vytvorený tak, že sa najprv naniesie lepidlo na jeden z dielcov, ktoré sa následne spoja. Bodový zvar je potom vytvorený cez vrstvu lepidla. Prítlačná sila

zváracích elektród vytlačí vrstvu lepidla, aby sa dosiahol elektrický kontakt medzi spájanými materiálmi a vznikne bodový zvar. Vplyvom vysokej koncentrovanej teploty pri bodovom zváraní dochádza k poškodeniu lepidla v okolí zvaru. Taktiež sa môžu vytvoriť nebezpečné výpary.

Kvalitu výsledného spoja ovplyvňujú viaceré faktory ako napr. tvar a rozmery spojov, hrúbka vrstvy lepidla, či mechanické vlastnosti lepidla a základného materiálu.

4.3.5 Kombinácia lepenia a tlakového spájania

Kombinácia spájacích techník lepenia a tlakového spájania využíva rovnako ako u bodového odporového zvárania a lepenia výhody tak tlakového spoja ako aj lepidla. Použitím lepidla sa aj v tomto prípade znižuje koncentrácia napätia v okolí tlakového spoja. Najčastejšou metódou používanou pre kombináciu s lepením je tlakové spájanie zalisovaním. Príklad kombinácie tlakového spoja a lepenia polyuretánovým lepidlom je uvedený na obr.4.36. Ide o prototyp karosérie Mercedes-Benz triedy E, kde boli všetky bodové odporové zvary nahradené tlakovými spojmi.



Obr. 4.36 Kombinácia lepenia a tlakového spájania na karosérii automobilu

Výsledný kombinovaný spoj sa vytvára tak, že sa najprv naniesie lepidlo na jeden z dielcov, ktoré sa následne spoja. V ďalšom kroku je vytvorený tlakový spoj cez vrstvu lepidla. Prítlačná sila lisovníka a lisovnice vytlačí vrstvu lepidla z miesta tlakového spoja, aby sa dosiahol čo najlepší kontakt medzi spájanými materiálmi.

Literatúra

- [1] ADAMKA, J. - TURŇA, M. - HAVALDA, O. - STYK, J.: *Základy zvárania, delenia a spájkovania kovov*, Alfa, Bratislava, 1983
- [2] BERNASOVSKÝ, P. - BLECHA, A. - BOŠANSKÝ, J. - MAGULA, V.: *Náuka o materiáli a zvariteľnosť ocelí*, Weldtech, VÚZ, Bratislava, 1996
- [3] HRIVŇÁK, I.: *Teória zvariteľnosti kovov a zliatin*, Veda, Bratislava, 1989
- [4] ADAMKA, J. - GRUTKA, E. - VESELKO, J.: *Teória zvárania*, Alfa, Bratislava, 1985
- [5] MALINA, Z. - VITÁLOŠ, I.: *Základný kurz zvárania Z-G1*. Zeross Ostrava 1999
- [6] BAŠISTA, M.: *Učebný text pre základný kurz zvárania plameňom a rezania kyslíkom*. Bratislava, VÚZ 1994

- [7] STN EN ISO 2503 „Zariadenia na plameňové zváranie. Redukčné ventily do 300 barov na fľaše na plyny používané pri zváraní, rezaní a príbuzných procesoch.”
- [8] STN EN ISO 9692-1 „Zváranie a príbuzné procesy. Odporúčania na prípravu spojov. Časť 1: Ručné oblúkové zváranie, zváranie v ochrannej atmosfére, zváranie plynom, zváranie TIG a zváranie ocelí lúčom.“
- [9] PILOUS, V.: Nové postupy svařování, SNTL, Praha, 1988.
- [10] KUNCIPÁL, J. a kol.: *Teorie svařování*, SNTL, Praha, 1986.
- [11] BENKO, B.: *Zváranie*, skripta SVŠT, Bratislava, 1983
- [12] BLAŠČÍK, F. a kol.: *Technológia tvárnenia, zlievarenstva a zvárania*, Alfa, Bratislava, 1988.
- [13] VITÁSEK, M.: *Ručné oblúkové zváranie obalenou elektródou*. In: *Zváracie metódy a zariadenia*, Zeross, Ostrava, 2000.
- [14] STN EN ISO 2560 - „Zváracie materiály. Obalené elektródy na ručné oblúkové zváranie nelegovaných a jemnozrnných ocelí. Klasifikácia”
- [15] STN EN ISO 9692-1 - „Zváranie a príbuzné procesy. Odporúčania na prípravu spojov. Časť 1: Ručné oblúkové zváranie, zváranie v ochrannej atmosfére, zváranie plynom, zváranie TIG a zváranie ocelí lúčom”
- [16] ORSZÁGH, P. - ORSZÁGH, V.: *Zváranie MIG/MAG ocelí a neželezných kovov*, Polygrafia SAV, Bratislava, 1998, s.300
- [17] LIPA, Z. - BEZNÁK, M. - KAPUSTOVÁ, M. - MARÔNEK, M. - PECHÁČEK, F. - ŠKÁRKA, B.: *Priemyselné technológie*, STU v Bratislave, Bratislava, 2003, s. 324.
- [18] ONDREJÍČEK, P.: *Zváranie ocelí v ochrane plynov taviacou sa elektródou*, Eterna press s.r.o, 2003, s. 203
- [19] ORSZÁGH, P. - ORSZÁGH, V.: *Zváranie TIG ocelí a neželezných kovov*, Polygrafia SAV - Vydavateľstvo vedeckej literatúry a časopisov, Bratislava, 1998, s.300
- [20] STN EN ISO 4063 Zváranie a príbuzné procesy. Zoznam spôsobov zvárania a ich číselné označovanie
- [21] STN EN ISO 9692-1 Oblúkové zváranie obalenou elektródou. Oblúkové zváranie v ochrannom plyne a plameňové zváranie. Príprava zvarových plôch ocelí
- [22] BLAŠKOVITŠ, P. - KOSEČEK, M. - VEHNER, M.: *Zváranie pod tavivom*, Alfa, Bratislava 1978
- [23] ŠEFARA, M.: *Strojárska metalurgia*, Lejárstvo, tvárnenie a zváranie, Alfa, Bratislava, 1978
- [24] MALINOVSKÁ, E. - PAVELKA, V.: *Zváranie pod tavivom*. Weldtech, Vydavateľstvo VUZ Bratislava 1999
- [25] MARÔNEK, M. - KOVAČÓCY, P - PÚČIK, V.: *Technológia zvárania, Návody na cvičenia*, STU Bratislava, 2006
- [26] MAARTEN, D. HUISMAN, J.: Rúrkové drôty, produktivita alternatíva za obalené elektródy a plné drôty. *Zváranie - Svařování* 46, 1997. č. 2.
- [27] STN 05 5701 Zváranie. Tavené tavivá na oblúkové zváranie a naváranie. Technické dodacie predpisy
- [28] STN EN 760 - Zváracie materiály. Tavivá na zváranie pod tavivom. Klasifikácia.
- [29] Katalóg prídavných materiálov Lincoln Electric, 2009,
- [30] <http://products.esab.com/Templates/T094.asp?id=70428> (dostupné 03.01.2011)
- [31] LIPA, M.: *Odporové zváranie*, Weldtech, Bratislava 1995
- [32] BENKO, B.: *Zváranie*, skripta SVŠT, Bratislava, 1983
- [33] JANOTA, M.: *Adaptívne riadenie bodového zvárania na robotizovaných pracoviskách*. Bratislava, Výskumný ústav zvaračský 1985.
- [34] JANOTA, M.: *Procesy a riadenie odporového zvárania*. Bratislava, Výskumný ústav zvaračský 1985.

- [35] MORAVEC, J.: *Teorie svařování a pájení - speciální metody svařování*. Skripta Liberec 2009. 151 stran. ISBN 978-80-7372-439-9.
- [36] MOHYLA, M., MOHYLA, P.: *Strojírenské materiály II.*, skriptum VŠB - TU Ostrava, 2006, 1. vydání, 122 s, ISBN 80-248-1019-0.
- [37] ULRICH, K. - KOLEŇÁK, R. - KOVAŘÍKOVÁ, I. - HODÚLOVÁ, E.: *Inšpekcia vo zvaraní*. - 1. vyd. - Trnava : AlumniPress, 2008. - 131 s. ISBN 978-80-8096-075-9
- [38] KAŠČÁK, Ľ. - SPIŠÁK, E.: Evaluations of properties of clinching and resistance spot welding. In: Scientific Bulletins of Rzeszów University of Technology. No. 253 (2008), p. 161-166.
- [39] KAŠČÁK, Ľ. - SPIŠÁK, E.: Konštrukcia nástroja pre tlakové spájanie oceľových plechov, NÁRADIE 2004, Kočovce, 2004, s.57-60.
- [40] KAŠČÁK, Ľ. - SPIŠÁK, E. - MUCHA, J.: Joining of steel sheets for automotive industry using press joining method. In: Mechanika z. 80. No. 273 (2010), p. 121-126.
- [41] LANGE, K.: Handbook of metal forming. New York 1985.
- [42] LENNON, R. - PEDRESCHI, R. - SINHA, B.P.: Comparative study of some mechanical connections in cold formed steel. Construction and building materials, 1999, No.13, s.109-116.
- [43] LIEBIG, H. P.: Druckfügen führt zu neuer Verbindungstechnologie. Industrie - Anzeiger, 9/1989, s. 28 - 31.
- [44] MESSLER, R.W.: Trends in key joining technologies for the twenty-first century. Assembly Automation 20, No.2, 2000, s.118-128.
- [45] MUCHA, J. - KAŠČÁK, Ľ. - SPIŠÁK, E.: Analiza wytrzymałości złączy przetłoczeniowych blach stalowych, stosowanych na elementy nadwozi pojazdów samochodowych. In: Archiwum Motoryzacji : The Archives of Automotive Engineering. No. 3 (2010), p. 185-196.
- [46] SPIŠÁK E.- KAŠČÁK Ľ.: Tlakové spájanie materiálov, Nové smery vo výrobných technológiach 2004, Prešov.
- [47] VARIS, J.P.: The suitability of clinching as joining method for high-strength structural steel. Journal of materials processing technology, 2003, No. 132, s. 242-249.
- [48] ADAMS, R. D.: Testing of adhesives - useful or not. Adhesion 15, Elsevier science publishing Co., INC., England, 1991, s. 1 - 18.
- [49] ALWAN, J.M. - CHOU, C.C. - WU, C.C.: Effect of structural adhesives on energy management of spot-welded hat-section steel components. Fourteenth Engineering Mechanics Conference, Texas (USA) 2000, s.1-7.
- [50] CHANG, B. - SHI, Y. - DONG, S.: A Study on the Role of Adhesives in Weld-Bonded Joints. Welding Research Supplement, 1999, s. 275-279.
- [51] KINLOCH, A. J.: Adhesion and Adhesives. London, Chapman and Hall, UK 1994.
- [52] MELEŽÍNEK, O.: Lepení kovů ve strojírenství. Praha, SNTL 1961.
- [53] PETERKA, J.: Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství. Praha, SNTL 1980.
- [54] TONG, L.: Strength of adhesively bonded single-lap and lap-shear joints. International journal of solids and structures, Vol. 35, 1998, No.20, s. 2601-2616.