



**AKADEMIA GÓRNICZO – HUTNICZA**  
*im. Stanisława Staszica*  
w Krakowie



**WYDZIAŁ INŻYNIERII METALI  
I INFORMATYKI PRZEMYSŁOWEJ**

**Prof. dr hab. inż. Andrzej Łędzki**  
**Dr inż. Andrzej Michaliszyn**  
**Dr inż. Arkadiusz Klimczyk**

# **METALURGIA EKSTRAKCYJNA ŻELAZA**

**CZEŚĆ VII**

**ODLEWANIE STALI**

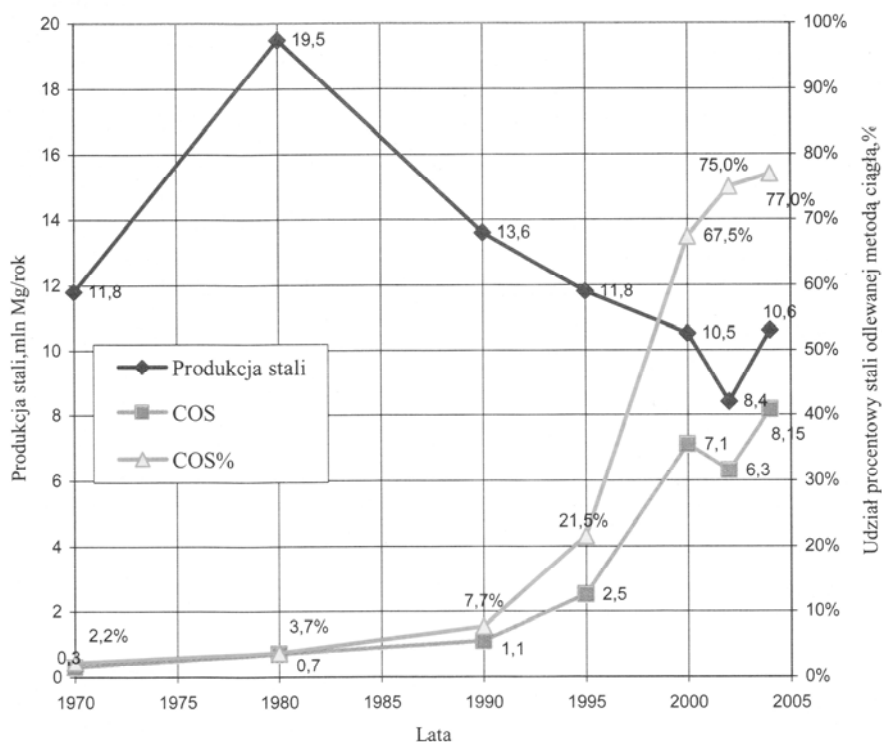
*/do użytku wewnętrznego AGH/*

**Kierunek: Metalurgia, Rok: II, Semestr: IV**

---

## ODLEWANIE STALI

Odlewanie jest ostatnim etapem wytwarzania stali. Podczas odlewania i krzepnięcia stali zachodzą procesy fizyczne i fizykochemiczne, mające bezpośredni wpływ, na jakość wlewka, a tym samym na jakość wyrobów po przeróbce plastycznej. Stały wzrost wymagań dotyczących wydajności, jakości i kosztów wymusił wprowadzenie procesu ciągłego odlewania stali / COS/ do praktyki stalowniczej w Polsce. Pierwsze urządzenie uruchomiono w Hucie Baildon w 1960 roku. Do roku 1990 udział stali odlanej w sposób ciągły w Polsce rósł powoli i wyniósł wówczas 7,6%. Lata dziewięćdziesiąte to dynamiczny rozwój procesu COS w Polsce: 1993 r.- 10,2%, 1997 r. – ok.50%, by obecnie przekroczyć 77%. Aktualnie zdolność produkcyjna urządzeń COS w Polsce wynosi ponad 9,6 mln Mg/rok i jest tylko o około 1 mln Mg niższa od produkcji stali. Na rysunku 1 przedstawiono udział COS w krajowej produkcji stali.



Rys.1. Produkcja stali i udział COS w krajowej produkcji stali.

Ten nowoczesny sposób odlewania stali umożliwia zwiększenie do 98% uzysku stali w postaci wlewków ciągłych oraz obniżenie o 15-25% jednostkowego zużycia energii w porównaniu z odlewaniem tradycyjnym. Nie eliminuje to jednak całkowicie wszelkich wad.

Wady wlewków ciągłych są często wynikiem niewłaściwego przygotowania ciekłej stali do procesu COS oraz odstępstwami od technologii /temperatura i szybkość odlewania, intensywność chłodzenia, jakość zasypek itp./. Niezależnie od sposobu odlewania stal przekazywana do odlewania winna być odpowiednio „przygotowana”. Polega to na:

- Zapewnieniu właściwej temperatury stali w kadzi stalowniczej.
- Uzyskanie wymaganego składu chemicznego i stopnia odtlenienia.
- Homogenizacja składu chemicznego i temperatury.
- Ograniczenie zawartości pierwiastków szkodliwych i wtrąceń niemetalicznych.

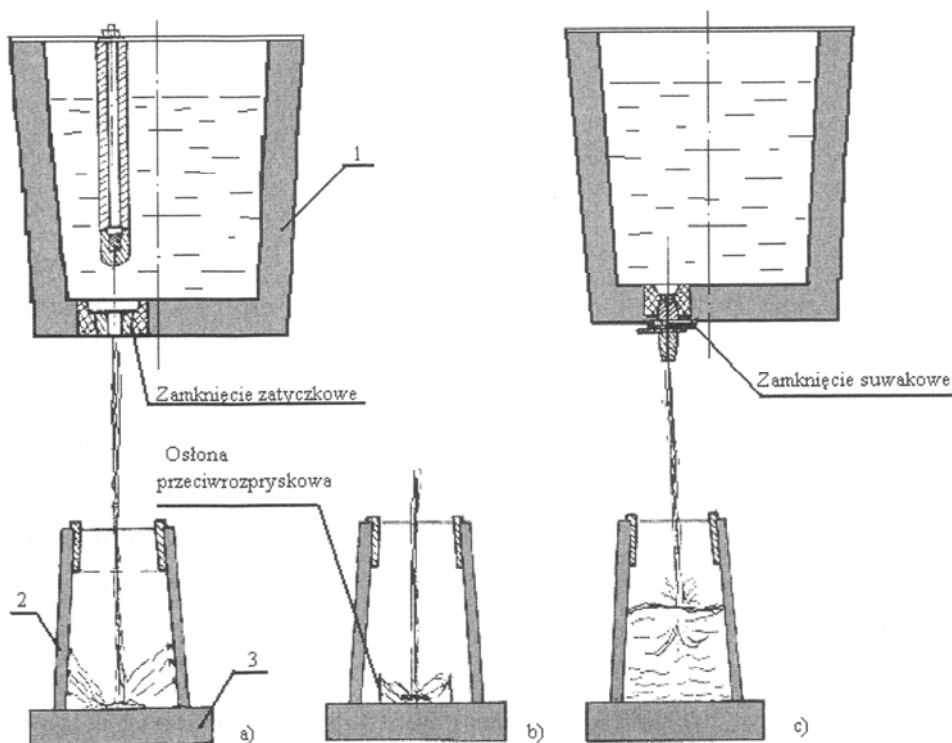
### ***Metody odlewania stali.***

Metody, którymi odlewana jest stal podzielić można na:

1. Odlewanie stali do wlewnic /nazywane odlewaniem tradycyjnym lub konwencjonalnym/, które może być:
  - Z góry.
  - Syfonowe.
2. Ciągłe odlewanie stali.

#### *Odlewanie stali do wlewnic z góry.*

Polega ono na bezpośrednim napełnianiu wlewnic stalą wypływającą z kadzi stalowniczej otworem wylewowym, umieszczonym w dnie. Zamykanie i otwieranie otworu wylewowego oraz regulacja szybkości odlewania może być za pomocą zatyczki /dawniej/ lub zamknięcia suwakowego /obecnie/. Zestaw do odlewania stali metodą z góry przedstawia rysunek 2.



Rys.2. Odlewanie stali z góry.

Do głównych zalet odlewania z góry zalicza się:

- Prostotę sprzętu do odlewania.
- Większy uzysk metalu.
- Korzystniejsze ukształtowanie jamy skurczowej.
- Niewielkie zanieczyszczenie stali wtrąceniami pochodzenia egzogenicznego.
- Duża wydajność.

Odlewanie stali uspokojonej z góry zawsze wpływa korzystnie na proces tworzenia się w górnej części wlewka pierwotnej jamy skurczowej. Górna część wlewka krzepnie w ostatniej kolejności, a utworzona w niej jama skurczowa charakteryzuje się korzystnym kształtem i małą głębokością zalegania.

Odlewanie stali nieuspokojonej do wlewnic sposobem z góry charakteryzuje się „gotowaniem” się stali we wlewnicy, które jest spowodowane zajściem reakcji utleniania węgla tlenem i intensywnym wydzielaniem się pęcherzyków CO. Intensywność i czas gotowania się stali we wlewnicy decyduje o makrostrukturze wlewka. Odpowiednie sterowanie parametrami technologicznymi procesu odlewania z góry, szczególnie szybkością odlewania zapewnia uzyskanie wlewków o dobrej makrostrukturze i wymaganej grubości

zewewnętrznej warstwy bezpęcherzykowej. Stosowanie dużych szybkości odlewania z góry, zmniejsza grubość warstwy bezpęcherzykowej, co jest niekorzystnym zjawiskiem. Ten niekorzystny wpływ, można jednak ograniczać poprzez stosowanie intensyfikatorów gotowania stali. Są to nośniki tlenu wspomagające przebieg reakcji utleniania węgla.

Ostatnim procesem podczas odlewania stali nieuspokojonych z góry jest moment przerywania gotowania stali. Można to zrobić w sposób mechaniczny lub chemiczny.

#### *Odlewanie stali do wlewnic metodą syfonową.*

W przeszłości ten sposób odlewania stali był jedynym zapewniającym uzyskanie wlewków o wysokiej, jakości makrostruktury i dobrej powierzchni. Obecnie odlewanie stali do wlewnic, w tym syfonowe jest systematycznie ograniczane. Tym sposobem odlewa się jeszcze niektóre wlewki.

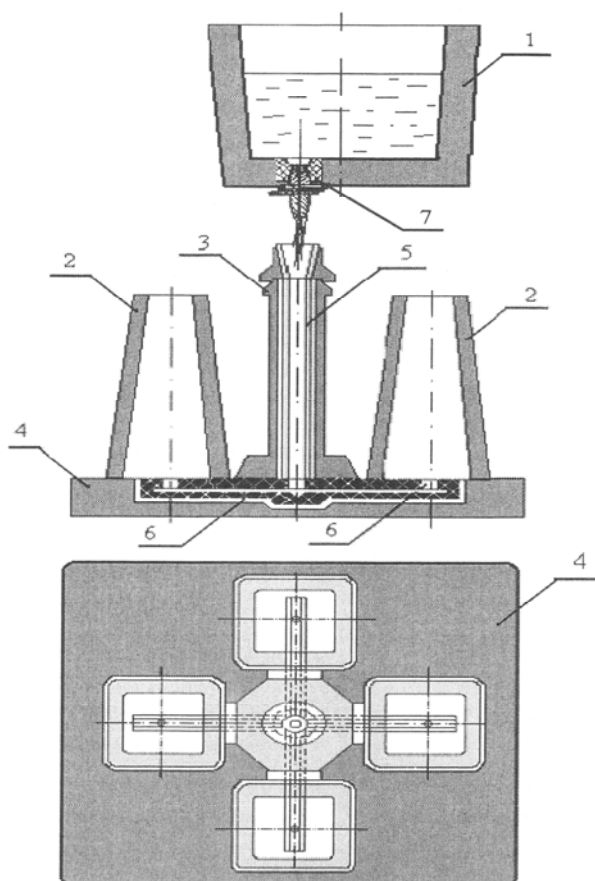
Odlewanie syfonowe polega na równoczesnym napełnianiu wlewnic ciekłą stalą od dołu za pomocą układu kanałów. Wykorzystuje się tu zasadę naczyń połączonych. *Rysunek 3* przedstawia zestaw do syfonowego odlewania stali. Ciekła stal z kadzi stalowniczej /1/ po otwarciu zamknięcia suwakowego /7/ wypływa z kadzi do leja centralnego zestawu /3/. Lej jest wewnątrz wyłożony ceramicznymi kształtkami lejowymi /5/. Lej centralny ustawiony jest na kształtce środkowej, z której to stal wypływa poziomymi kształtkami kanałowymi /6/ do wlewnic/2/. Ostatnia kształtka kanałowa posiada otwór wypływowy, którym to ciekła stal wpływa do wlewnic. Kształtki ceramiczne układu syfonowego są materiałami, jednorazowego użytku, a ich zużycie ma wpływ na koszty odlewania stali.

Główną zaletą syfonowego odlewania stali jest:

- Dobra jakość powierzchni wlewka.
- Możliwość odlewania stali uspokoionej pod warstwą zasyпки izolacyjno-smarującej.

Do wad zalicza się:

- Większy koszt odlewania stali.
- Mniejszy uzysk stali.
- Pracochłonność.
- Stosowanie materiałów ceramicznych.
- Konieczność stosowania wyższych temperatur odlewania.



Rys.3. Zestaw do syfonowego odlewania stali.

### ***Urządzenia do odlewania stali do wlewnic.***

#### *Kadź odlewnicza*

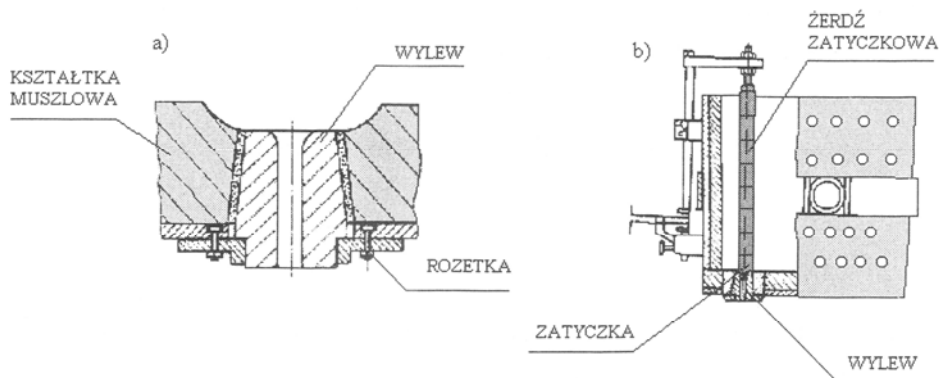
Stal spuszczana z pieca stalowniczego jest transportowana do pozapiecowej rafinacji stali a następnie do stanowiska odlewania stali. Kadź zbudowana jest z:

- Stalowego pancerza.
- Wyłożenia ogniotrwałego.
- Wylewu.
- Zamknięcia otworu wylewowego.
- Kształtki gazoprzepuszczalnej do przedmuchiwania stali argonem.

Pancerz opasany jest stalowym pierścieniem z dwoma czopami służącymi do podniesienia kadzi przez suwnicę. Warstwa robocza wyłożenia współczesnych kadzi stalowniczych wykonywana jest z nowoczesnych materiałów ogniotrwałych typu: magnezjowo-węglowych, magnezjowo-chromitowych a także magnezjowo-spinelowych. Dzięki zastosowaniu tych

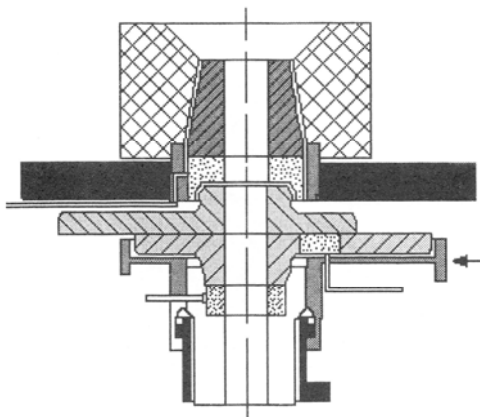
nowoczesnych materiałów a także ich strefowej zabudowie znacznie zwiększyła się żywotność kadzi, osiągając ok.70 wytopów.

Wylew w starego typu kadziach zamykany był zatyczką żerdziową /rys.4/.



Rys.4. Wylewowa kształtka muszłowa /a/ oraz żerdziowe zamknięcie kadzi /b/

Taki sposób zamykania otworu wylewowego kadzi był bardzo nieskuteczny, powodował często niekontrolowany wypływ stali a ponadto był bardzo pracochłonny w przygotowaniu. Dlatego obecnie stosuje się zamknięcie suwakowe, którego zasadę działania przedstawiono na rys.5.



Rys.5. Suwakowe zamknięcie wylewu kadzi.

Działanie zamknięcia suwakowego polega na przesuwaniu ruchomej płyty ceramicznej z wylewem, względem nieruchomej płyty ceramicznej z wylewem nieruchomym.

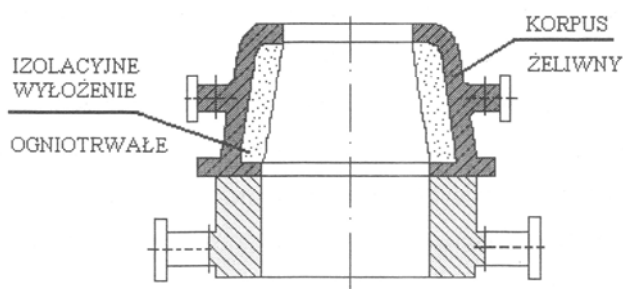
Współczesne kadzie stalownicze posiadają zabudowaną w dnie kształtkę gazoprzepuszczalną, służącą do przedmuchiwania stali gazami obojętnymi.

### *Wlewnice.*

Jest to rodzaj formy metalowej, do której wlewa się stal z góry lub syfonowo. Wykonywane są najczęściej z żeliwa szarego. Mogą mieć przekrój: kwadratowy, prostokątny, okrągły lub wieloboczny. W celu ułatwienia procesu ich rozbrajania /wyjęcia wlewnika z wlewnicy/ są one zbieżne ku górze lub ku dołowi. Zużycie wlewnic w sposób istotny wpływa na koszt odlewania, stąd w celu przedłużenia ich żywotności poddaje się je naprawie i regeneracji. Ilość napełnień wlewnicy przed jej wycofaniem z obiegu jest na poziomie 80-100 wytopów.

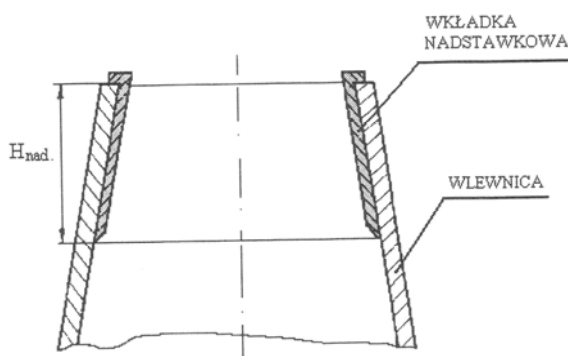
### *Nadstawki i wkładki wlewnikowe.*

Nadstawki stosowane są podczas odlewania stali uspokojonych. Jej zadaniem jest korzystne kształtowanie jamy skurczowej w części nadstawkowej. Z nadstawki uzupełnia się ubytek stali we wlewku związany z jej skurczem. Część nadstawkowa /nadlew/ w czasie procesu przeróbki plastycznej jest obcinana i stanowi tzw. odpad technologiczny.



*Rys. 6. Nadstawka żeliwna wraz izolacyjnym wyłożeniem ogniotrwałym.*

Stosowanie nadstawek jest pracochłonne, stąd zastępowane są one wkładkami nadstawkowymi /rys. 7/.



*Rys. 7. Wkładka nadstawkowa.*



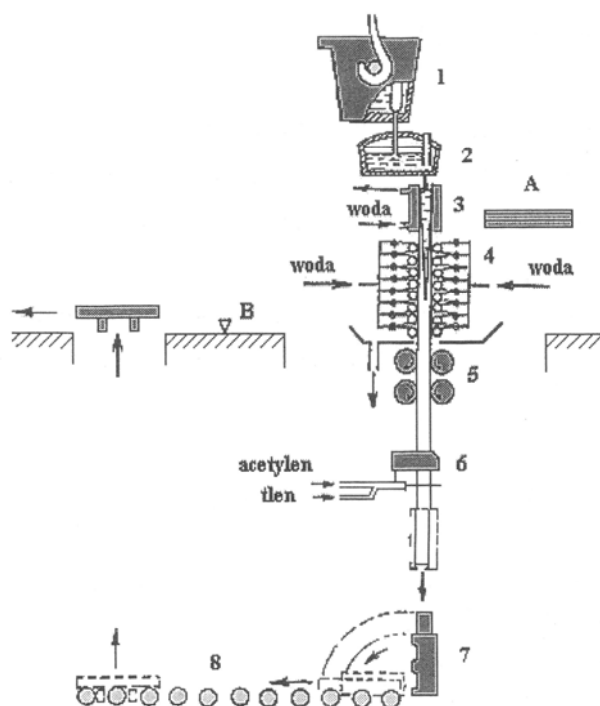
Wykonywane są one z masy składającej się z piasku kwarcowego, glinki ogniotrwałej, trocin, odpadów papierowych, koksiku i szkła wodnego, jako lepiszcza. Są materiałem jednorazowego użycia. Wkładki mogą być izotermiczne lub egzotermiczne.

#### *Płyty podwlewnicowe.*

Płyta podwlewnicowa niezależnie od sposobu odlewania stali stanowi dno wlewnicy i służy do ustawienia na niej wlewnic. Wykonywane są podobnie jak wlewnice z żeliwa lub modyfikowanej surówki. W czasie odlewania stali zużywają się. Ich zużycie można zmniejszać poprzez stosowanie podkładek, powłok ceramicznych umieszczanych na dnie wlewnicy.

#### **Ciągłe odlewanie stali.**

Zasadę ciągłego odlewania stali można przedstawić na przykładzie pionowego urządzenia COS /rys.8/.

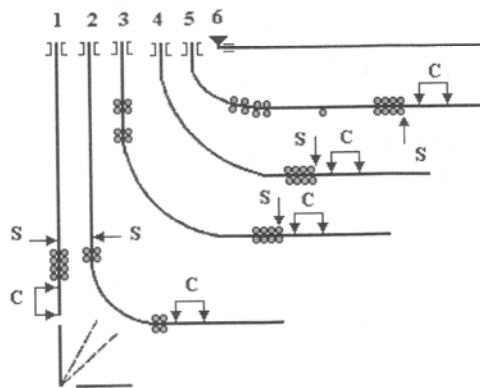


Rys.8. Urządzenie do pionowego ciągłego odlewania stali.

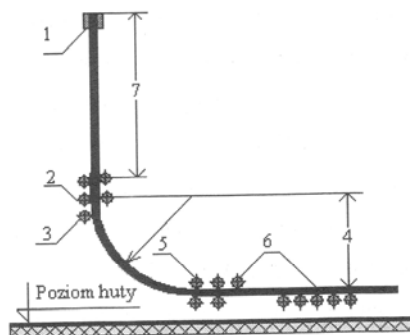
Z kadzi stalowniczej /1/ stal wpływa do kadzi pośredniej /2/, z której poprzez otwory wylewowe w dnie wypływa do poszczególnych krystalizatorów /3/. W krystalizatorze z

uwagi na chłodzenie wodą następuje proces krzepnięcia stali od ścianek do osi wlewka. Tu rozpoczyna się proces tworzenia wlewka ciągłego. Aby nie dopuścić do przyspawania się wlewka do ścianek krystalizatora, krystalizator wykonuje pionowe ruchy posuwisto-zwrotne. W strefie wtórnego chłodzenia wlewek poddawany jest chłodzeniu bezpośrednim natryskiem wodnym. Pod strefą wtórnego chłodzenia znajduje się zespół klatek walców ciągnących /5/, które mają za zadanie wyciąganie wlewka z krystalizatora z założoną prędkością. Następnym i ostatnim etapem jest cięcie pasma na odcinki o żądanej długości. Najczęściej wykonuje się to palnikami acetylenowo-tlenowymi lub gazowo-tlenowymi /6 /. Po pocięciu wlewki wędrują poprzez pochylacz /7/ na samotok /8/.

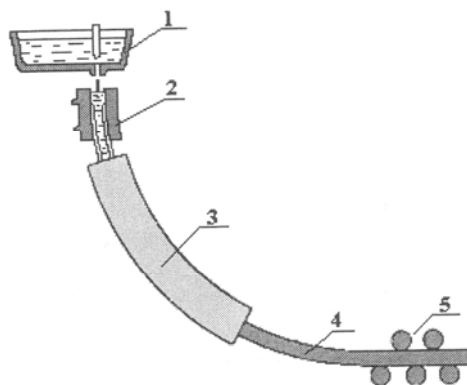
Rozwój konstrukcji urządzeń COS przedstawiono na *rys.9*. Pierwsze urządzenia to pionowy COS, który z uwagi na swoje wady został zastąpiony nowymi rozwiązaniami /*rys.9*/. Wady te to: konieczność podwyższania hali odlewniczej lub budowy tzw. „studni” pod COS, ograniczona szybkość odlewania i brak możliwości zwiększania wydajności urządzenia. Pierwszą modyfikacją pionowego COS było urządzenie z zaginaniem wlewka poniżej strefy wtórnego chłodzenia pod kątem  $90^\circ$  /*rys.9b*/. Na skutek częstego występowania na zewnętrznej powierzchni zaginanego wlewka pęknięć, rozwiązanie takie nie znalazło większego zastosowania w praktyce. Dało ono jednak początki rozwiązań najczęściej obecnie stosowanych rozwiązań urządzeń typu promieniowego. W urządzeniu takim wlewek ciągły przez cały okres krzepnięcia przesuwa się po łuku okręgu. Następnie po całkowitym zakrzepnięciu jest prostowany do pozycji poziomej /*rys.10*/



Rys. 4.29. Rozwój konstrukcji urządzeń COS (S- koniec krzepnięcia wlewka, C - strefa cięcia wlewka): 1 - pionowe, 2 - pionowe z zagiętym wlewkiem, 3 - promieniowe z pionowym (prostym) krystalizatorem, 4 - promieniowe z łukowym krystalizatorem, 5 - krzywoliniowe z łukowym krystalizatorem, 6 - poziome



Rys.9. Rozwój urządzeń COS



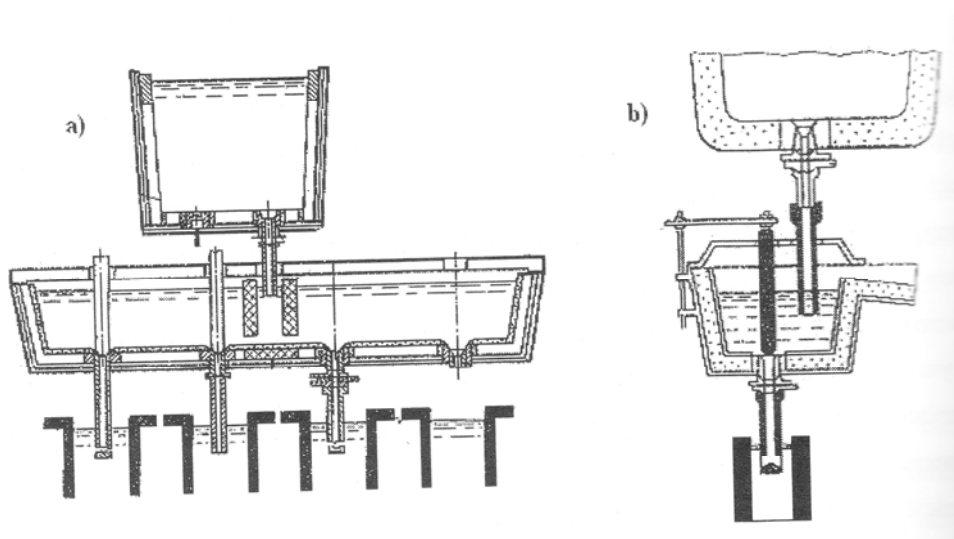
Rys.10. Promieniowe urządzenie COS

### Elementy urządzenia COS.

Do głównych elementów urządzeń COS należą kadź pośrednia i krystalizator.

Zadaniem kadzi pośredniej jest:

- Zapewnienie ciągłości dostarczania ciekłej stali do krystalizatora /przy odlewaniu sekwencyjnym/.
- Równomierne dostarczanie stali do krystalizatorów.
- Zapewnienie stałej szybkości odlewania oraz możliwość jej regulacji.
- Zmniejszenie ciśnienia ferrostatycznego ciekłej stali a przez to zmniejszenie turbulencji ruchu stali w krystalizatorze.



Rys. 11. Kadź pośrednia COS

Do innych zadań kadzi pośrednich należy zapewnienie jednorodności termicznej i chemicznej stali a także eliminacja wtrąceń niemetalicznych /stosowanie filtrów ceramicznych/.

Do zadań krystalizatora należy:

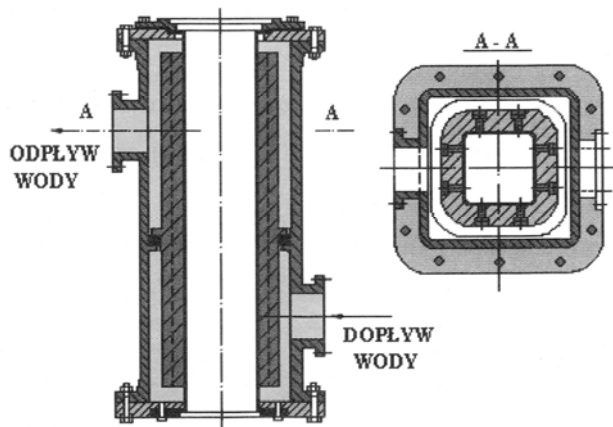
- Intensywne odprowadzenie ciepła od krzepnącej stali, zapewniające powstanie odpowiednio grubej i wytrzymałej warstwy, która gwarantować będzie bezawaryjną pracę urządzenia.
- Nadawanie wlewkowi wymaganych kształtów i wymiarów.
- Kształtowanie stałej zewnętrznej warstwy wolnej od wad powierzchniowych.

Krystalizator jest miejscem pierwotnego chłodzenia stali, w którym odprowadza się 15-30% ciepła odlewanej stali. Podstawowym kształtem przekroju poprzecznego krystalizatora jest kwadrat, prostokąt.

Ze względu na sposób wykonania roboczej części krystalizatora krystalizatory dzieli się na:

- Rurowe cienko i grubościennie.
- Płytowe cienko i grubościennie.

W rurowych krystalizatorach część roboczą tworzy rura wykonana z miedzi lub stopów miedzi o przekroju okrągłym, kwadratowym lub prostokątnym, wbudowana w korpus stalowy /rys.12/.



Rys.12. Schemat rurowego cienkościennego krystalizatora o kwadratowym przekroju poprzecznym.

Ja wynika z rys. 12. pomiędzy miedzianą ścianką rury a stalowym korpusem przepływa woda chłodząca. Długość krystalizatora winna zagwarantować tworzenie dostatecznie grubej i wytrzymałej zakrzepłej zewnętrznej warstwy wlewka. Z reguły długość krystalizatora wynosi 0,7-0,9 m. Odporność na ścieranie ścianek krystalizatora poprawia się poprzez pokrywanie miedzi cienką warstwą chromu, niklu i chromu lub też molibdenu. Wówczas trwałość krystalizatora w zależności od rodzaju powłoki, rodzaju kształtu wewnętrznego przekroju, może przekroczyć 1000 odlanych wytopów stali.

### *Technologia ciągłego odlewania stali.*

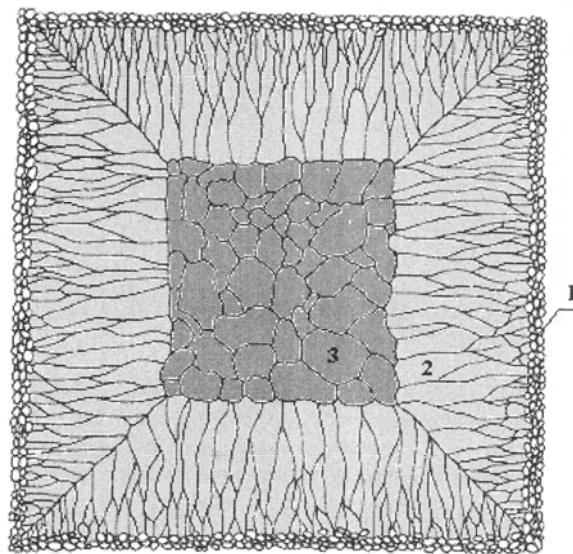
Za początek technologii COS przyjmuje się moment otwarcia otworu wylewowego głównej kadzi stalowniczej. Napełnianie stalą kadzi pośredniej winno być możliwie szybkie. Po napełnieniu ok. 2/3 pojemności kadzi i zanurzeniu się w stali rury osłonowej, ciekłą stal w kadzi pośredniej przykrywa się warstwą zasyпки izolacyjnej. Po napełnieniu 3/4 kadzi pośredniej otwiera się zamknięte do tej pory otwory wylewowe kadzi pośredniej. Wówczas stal zaczyna wpływać do krystalizatora. Kiedy lustro metalu w krystalizatorze osiągnie poziom poniżej 20 cm od górnej krawędzi i zanurzy się w metalu wylew zanurzeniowy, wówczas powierzchnie stali przykrywa się warstwą zasyпки krystalizatorowej oraz uruchamia ruch posuwisto-zwrotny krystalizatora, system pomiaru poziomu stali w krystalizatorze, wtórnego chłodzenia oraz zespół walców ciągnących. Z pomocą drąga startowego rozpoczyna się proces wyciągania z krystalizatora krzepnącego wlewka. Podstawową zasadą technologii COS jest utrzymywanie stałego poziomu ciekłej stali w krystalizatorze i w kadzi pośredniej. W momencie przejścia drąga startowego przez ostatnią parę walców ciągnących następuje automatyczne odłączenie drąga od wlewka. Ostatnim etapem jest cięcie pasma na określone długości.

Docelową technologią ciągłego odlewania stali jest odlewanie wlewków o kształcie przekroju poprzecznego zbliżonym do wyrobu gotowego. Jest to zintegrowane odlewanie i walcowanie.

### *Struktura wlewków.*

Niezależnie od rodzaju odlewania w strukturze wlewka wyróżnić można następujące strefy /rys.13/:

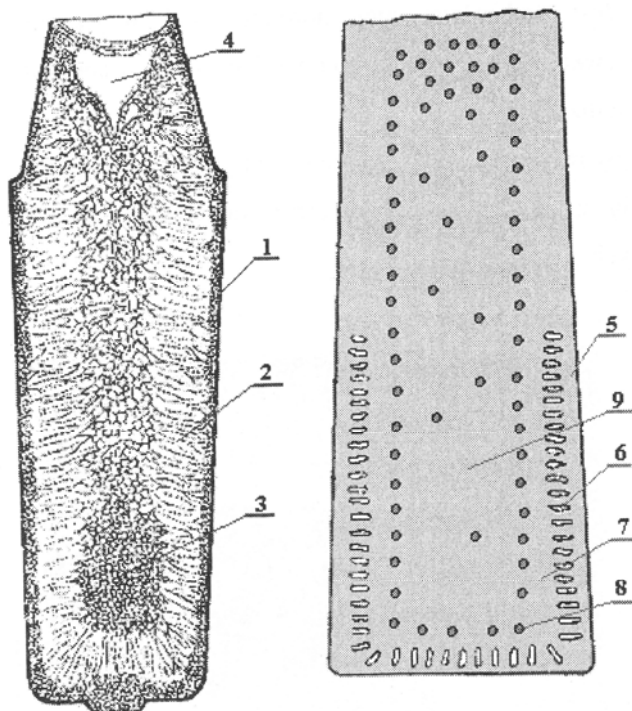
- Strefa kryształów zamrożonych, która jest wynikiem przechłodzenia ciekłej stali spowodowanego jej kontaktem z zimnymi ściankami wlewnicy lub krystalizatora. Zbudowana jest z drobnych, globularnych nieorientowanych kryształów równoosiowych o składzie chemicznym stali /1/.
- Strefa kryształów słupkowych o wydłużonym kształcie, usytuowanych równoległe do kierunku odpływu ciepła /2/.
- Strefa kryształów równoosiowych. Jest centralną strefą składającą się z dużych kryształów globularnych różnie ukierunkowanych /3/.



*Rys.13. Struktura wlewka stalowego.*

Na rys. 14 przedstawiono strukturę wlewka stali uspokoionej /a/ i nieuspokoionej /b/.

Makrostruktura wlewka ciągłego stali uspokoionej /podobnie jak odlanego do wlewnicy/, zbudowana jest również z 3 podstawowych stref, przy czym stwierdza się większą grubość strefy kryształów zamrożonych i słupkowych oraz mniejszą strefę kryształów równoosiowych. Oznacza to, że struktura wlewka ciągłego jest bardziej jednorodna pod względem fizycznym od wlewka konwencjonalnego.



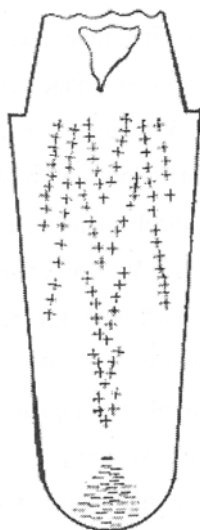
Rys. 14. Struktura wlewków stalowych: a- stali uspokoijonej, b- nieuspokoijonej

1- Strefa kryształów zamrożonych, 2- strefa kryształów słupkowych, 3- strefa kryształów równoosiowych, 4- pierwotna jama skurczowa, 5- bezpęcherzowa warstwa zewnętrzna, 6 – strefa pęcherzy wydłużonych, 7 – strefa pośrednia bezpęcherzowa, 8 – strefa pęcherzy wtórnych /równooosiowych/, 9 – strefa środkowa kryształów równoosiowych

Wlewki stalowe nie są jednorodne pod względem składu chemicznego. Jest to tzw. segregacja pierwiastków. Wyróżnia się: segregację strefową wlewka /makrosegregację/, dendrytyczną i międzydendrytyczną. Jeśli w dowolnym miejscu wlewka zawartość składnika jest większa od przewidzianej w analizie wytopowej to mamy wówczas do czynienia z dodatnią /+/ segregacją pierwiastków. W przypadku odwrotnym występuje segregacja ujemna /-/.

Na rys.15. przedstawiono segregację dodatnią i ujemną pierwiastków. Segregacja pierwiastków we wlewkach stalowych, jako skutek procesów likwacyjnych zachodzących w czasie krzepnięcia, jest spowodowana mniejszą rozpuszczalnością składników stali w stałym żelazie niż w ciekłym.





Rys. 15. Strefy dodatniej i ujemnej segregacji pierwiastków we wlewkowi stali uspokoionej

#### ***Wady wlewków stalowych odlanych do wlewnic.***

Wady takich wlewków można podzielić na:

- Wady powierzchniowe – powstające podczas odlewania i bezpośrednio po odlaniu.  
Najważniejsze z nich to;
  - Pęknięcia podłużne i poprzeczne.
  - Łuska.
  - Pęcherze powierzchniowe i podpowierzchniowe.
  - Nakłucia.
  - Niespawy.
  - Nafałdowania
- Wady struktury:
  - Pęknięcia wewnętrzne.
  - Pęcherze wewnętrzne.
  - Niejednorodność fizyczna i chemiczna.
  - Wtrącenia niemetaliczne.
  - Zbyt płytko zalegające pęcherze podskórne.
  - Wtórna i głęboko zalegająca jama skurczowa.

### ***Wady wlewków ciągłych.***

Głównymi wadami są;

- Wady powierzchniowe:
  - Pęknięcia – podłużne, poprzeczne a także wielokierunkowe pęknięcia powierzchniowe.
  - Pęcherze i pory w warstwie przypowierzchniowej – otwarte w postaci tzw. nakłuc lub w warstwie przypowierzchniowej.
  - Zażużenia i makrowtrącenia na powierzchni lub w warstwie przypowierzchniowej.
- Wady wewnętrzne:
  - Porowatość osiowa – są to nieciągłości w środkowym obszarze wlewka /rzadziwa osiowa/.
  - Pęknięcia wewnętrzne w obszarze brzegowym wlewka / pęknięcia uchylone/.
  - Pęknięcia wewnętrzne w obszarze dendrytów słupkowych wlewka.
  - Pęknięcia wewnętrzne w obszarze środkowym wlewka.
  - Pęknięcia diagonalne.
  - Pęcherze.
  - Wtrącenia niemetaliczne.
  - Segregacja składu chemicznego.
- Wady geometrii wlewka ciągłego:
  - Rombowość.
  - Owalność.
  - Wklęsłość i wypukłość.