

10. ТЕХНОЛОГІЯ БЕЗПЕРЕРВНОЇ РОЗЛИВКИ

10.1. Загальна характеристика процесу безперервного розлиття сталі

За порівняно короткий період процес безперервного розлиття сталі став одним із найпоширенішим у світовому сталеплавильному виробництві. Він докорінно змінив не тільки процес розливання сталі, але й все металургійне виробництво. Приблизно 40% світової виплавки сталі розливається на машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ), які призначені для подальшого прокатування на листових та сортових станах.

Спочатку цей процес застосовували для алюмінію і його сплавів, потім для міді й пізніше для – сталі. Можна вважати, що розливання металу в виливниці при масовому виробництві злитків одного розміру застаріло й у всіх випадках повинно бути замінене безперервним литтям. Це справедливо як для кольорових металів, так і для сталі – від маловуглецевої (киплячої) до самої високолегованої та важкодеформованої.

Україна – один із творців безперервного лиття сталі.

Безперервна розливка сталі в суміщенні з прокатуванням сприяє економії капіталовкладень у зв'язку з виключенням витрат на парк виливниць, забезпечує економію енергії, яка витрачається на підігрів зливків у нагрівальному колодязі, дозволяє знизити екологічне навантаження на атмосферу, підвищити якість металопродукції, поліпшити умови роботи обслуговуючого персоналу. Такий процес дозволяє скоротити цикл отримання готової продукції від декількох суток до декількох годин, зменшити масу обладнання приблизно в 1,5 разів, скоротити чисельність працівників на 30 %, збільшити продуктивність процесу на 25% [16,17].

Принцип безперервного розливання полягає в тім, що рідку сталь із ковша заливають в інтенсивно охолоджувану наскрізну форму прямокутного або квадратного перетину – кристалізатор, де відбувається часткове затвердіння злитка, що безперервно витягається, подальше його затвердіння відбувається при проходженні зони вторинного охолодження. Процес безперервного лиття дозволяє одержувати заготовки (після різання) для прокатних станів, а також його можна сполучити з безперервною прокаткою в одному агрегаті.

Застосування безперервного розлиття сталі в порівнянні з розлиттям у виливниці має такі переваги:

- спрощення процесу та зменшення енерговитрат на собівартість виробництва сталевих заготовок;
- збільшення на 10-15% виходу блюмів і слябів із спокійної сталі;

- поліпшення якості металу, внаслідок, зменшення хімічної неоднорідності заготовок і поверхневих дефектів;
- відпадає необхідність у великому парку виливниць і сталерозливальних візків.

10.2. Обладнання для безперервного розлиття сталі

Схеми машин безперервного лиття заготовок показано на рис. 10.1. В залежності від форми траєкторії руху зливка МБЛЗ поділяються на типи: вертикальна, горизонтальна, криволінійна, радіальна, роторна.

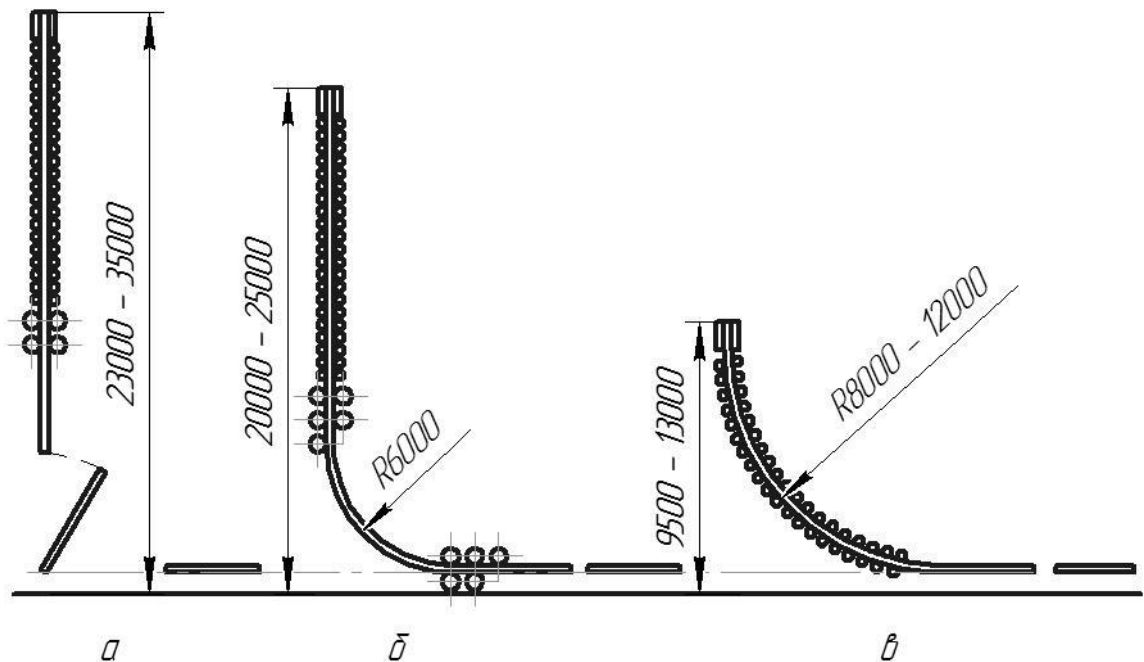


Рисунок 10.1 – Схем машин безперервного лиття заготовок:
 а – вертикальна; б – вертикальна з вигonom заготовки; в – радіальна

У МБЛЗ вертикального типу кристалізатор, зона вторинного охолодження і тягнуча кліть розміщені вертикально на глибину 25-40 м. Рідка сталь з сталерозливального ковша надходить в розігрітий приблизно до 1200° С проміжний ківш. З проміжного ковша рідка сталь потрапляє в кристалізатор, розташований нижче. У цьому кристалізаторі рухливим опускаючим дном служить затравка.

В кристалізаторі (з мідними стінками) відбувається швидке охолодження рідкого металу і при цьому утворюється тверда кірка металу. Заготівля сталева формується у відповідності з розмірами кристалізатора.

Кристалізатор постійно охолоджується циркулюючою під тиском між його стінками водою; при цьому він здійснює зворотно-поступальний рух по вертикалі з амплітудою 15-30 мм у уникнути приварювання рідкого металу.

Застигаюча в кристалізаторі сталь зчіплюється з затравкою і просувається вниз кількома парами тягнучих роликів. В зоні вторинного охолодження заготівля охолоджується водою до повного затвердіння по всьому перерізу. Після цього заготівля в машинах вертикального типу

розрізається на мірні довжини, знаходячись у вертикальному положенні, і подається до прокатним станів.

Висота МБЛЗ вертикального типу, яка залежить від ряду факторів (перерізу, хімічного складу сталі, швидкості витягування, відрізаної довжини і інш.), досягає 40-50 м, що вимагає великих витрат на будівництво і експлуатацію. Разом з тим необхідно відзначити, що вертикальні машини найбільш універсальні; на них розливають сталь широкого сортаменту і отримують заготовки різного призначення і різної величини - як найменші, так і найбільші по перетину, причому для лиття заготовок великої товщини вони є найбільш простими і зручними.

МБЛЗ вертикальні з вигином відрізаних заготовок почали споруджувати пізніше. Їх особливість полягає в тому, що на виході з тягнучих роликів передній кінець заготовки згинається до горизонтального положення, правиться і розрізається на мірні довжини в горизонтальному положенні. Це дозволяє зменшити висоту машини, спростити в цілому весь процес розливання, підвищити його продуктивність. Машини з вигином найчастіше використовують для відливання невеликих, переважно сортових заготовок. Однак ці машини вимагають великої площі і потужного обладнання для випрямлення заготовок.

МБЛЗ горизонтального типу займають показано на рис. 10.2. Такі машини мають дуже велику довжину і займають дуже велику площу цеху. Вони не мають широкого промислового призначення через недостатню конструктивну відпрацьованість їх вузлів.

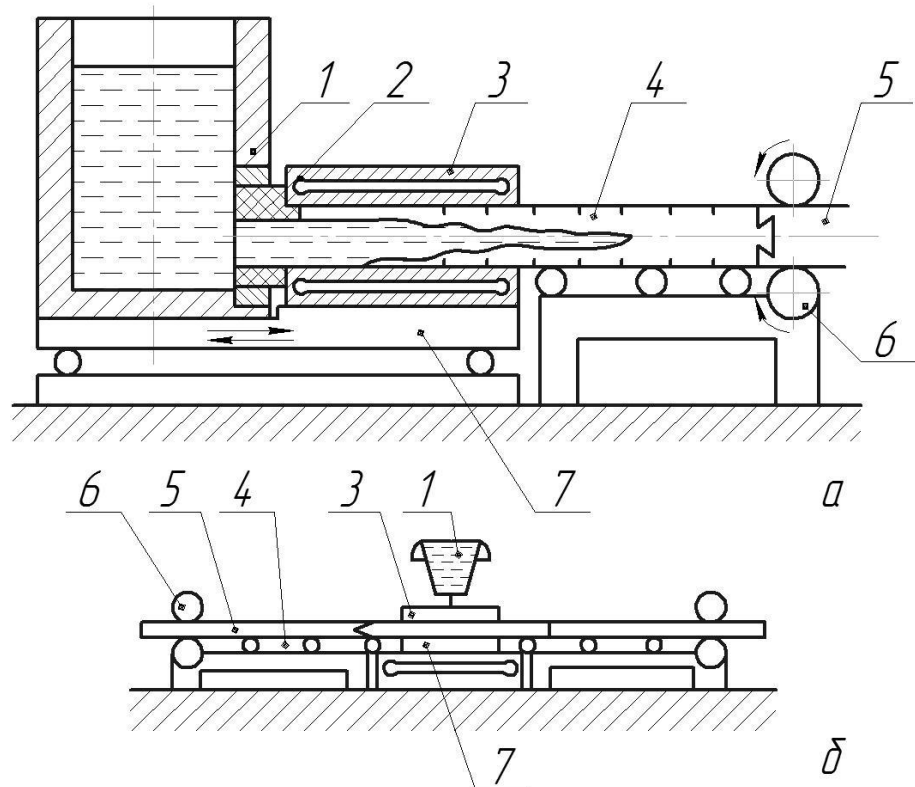


Рисунок 10.2– Схеми горизонтальних МБЛЗ: *а*– з однобічним; *б*– двобічним витягуванням злитка: *1*– металоприймач; *2*–стакан-живильник; *3*– кристалізатор; *4*– злиток; *5* – затравка; *6*– тягнуча кліть; *7*– візок механізму хитання

З метою зменшення висоти МБЛЗ були створенні у 60-ті роки ХХ століття *машини радіального типу* (рис. 10.3). Через що виникли умови для суміщення безперервного лиття і прокатки металу в одному комплексі. У цьому разі кристалізатор і спрямуючі пристрої зігнуті по дузі постійного радіуса. Досвід показав, що заготовки, одержані на машинах радіального типу не поступаються за якістю заготовок, отриманих на машинах вертикального типу. При цьому висота радіальних МБЛЗ значно менше, ніж вертикальних, і звідси безсумнівна їх економічна вигода. На машинах радіального типу можна досягати більш високих швидкостей розливання за рахунок зміни довжини ділянки вторинного охолодження і високого ступеня автоматизації, а отже, продуктивності та якості готової продукції. Однак і ці машини вимагають великих площ і потужного розгинаючого обладнання.

Зауважимо також, що при випрямленні профілів литих заготовок спотворюється поверхня заготовок з деяких марок сталі і на них з'являються тріщини.

Діючі на вітчизняних заводах МБЛЗ зазвичай мають декілька струмків. Взагалі ж число заготовок, що можуть одночасно виливатися на вертикальних машинах безперервного лиття залежить від ємності сталерозливного ковша, а також перерізу литої заготовки. Кількість струмків може дорівнювати восьми.

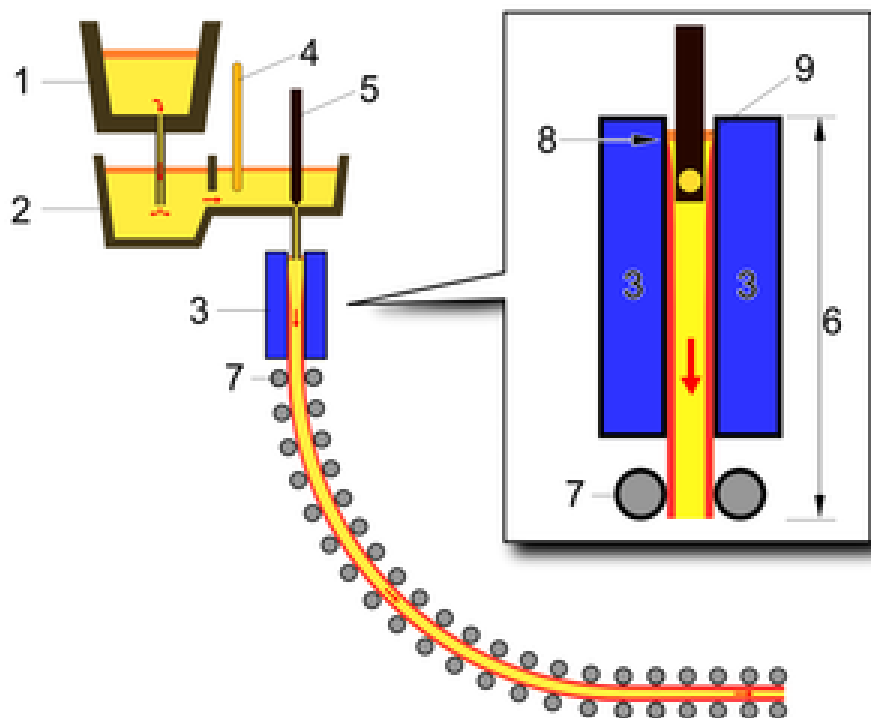


Рисунок 10.3 – Схема установки безперервної розливки сталі:

- 1 – сталерозливний ківш; 2 – проміжний ківш; 3 – мідяний кристалізатор;
 4 – нагрівальний пристрій для підтримки температури; 5 – стопор; 6 – зона
 первинного охолодження і початку кристалізації; 7 – ролики, що тягнуть зливоч; 8 – зона
 початку кристалізації; 9 – рівень рідкого металу

Тривалі випробування показали, що процес суміщення безперервного лиття злитка великого перетину, що не може утворювати петлю, і прокатки в

принципі можливий. Злиток після відливання зберігає температуру, достатню для його наступної прокатки без підігріву, і процес синхронізації руху конвеєрів ливарної машини й прокатного стану здійснювався успішно.

Однак через наявність стиків у траків ланцюгів конвеєрів, тобто в окремих ланках кристалізатору, викликала в цих місцях підвищений розпал і, як наслідок, затікання металу в канавки, що утворюються між ланками ланцюга. Це приводило до поганої поверхні злитка і утворенню тріщин.

Із кристалізаторів інших систем (наприклад, у яких стінки рухаються одночасно з металом) тривалим випробуванням піддавали кристалізатор, зроблений у вигляді обода колеса й зовні обтягнутий на кут близько 180° і більше сталеву стрічкою.

Така конструкція є роторною, її детально випробовували при литті різних металів: алюмінію, цинку, олова, міді й сталі. Як правило, кристалізатор такої системи при випробуваннях виявлявся працездатним. Деяке ускладнення, особливо для сталі, викликало здійснення подачі рідкого металу до його затвердіння в кристалізаторі.

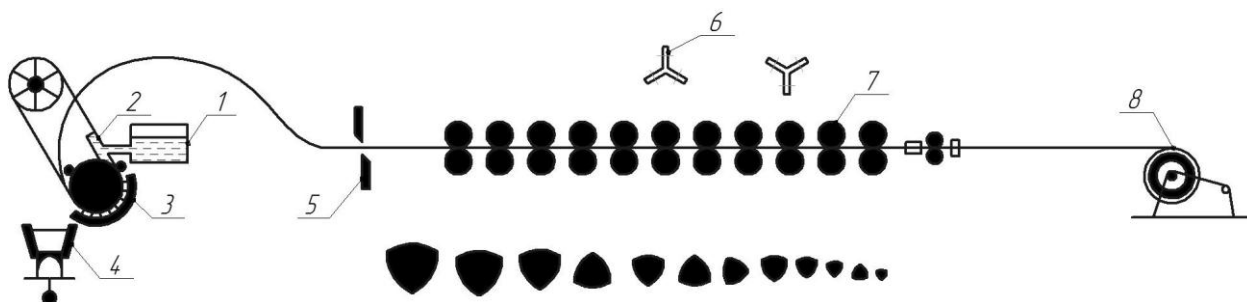


Рисунок 10.4 – Схема ливарно-прокатного стану із кристалізатором роторного типу для алюмінієвого дроту: 1 – проміжна ванна; 2 – дозатор; 3 – кристалізатор; 4 – поперечний переріз кристалізатора; 5 – летучі ножиці (аварійні); 6 – схема розташування валків у двох суміжних клітках; 7 – тривалковий безперервний стан; 8 – моталка

Завдяки повній безперервності технологічного процесу, при якому дріт прокатується нерозривним потоком (плавильна піч – міксер – кристалізатор – прокатний стан), різко підвищилася продуктивність праці й була досягнута практично повна автоматизація виробництва. Обслуговуючий персонал повинен тільки спостерігати за ходом процесу.

Залежно від числа зливків, що відливаються одночасно, МБЛЗ поділяють на одно-, дво-, чотири-, шести- та восьмиструмкові. Число струмків, які працюють паралельно визначає загальну продуктивність МБЛЗ.

Технологія виробництва безперервних заготовок, близьких за розмірами до готової продукції, і розробки прокатних станів для прокатки тонких слябів, які появились за останні десятиліття, представляють агрегати, здатні виробляти безпосередньо з рідкої сталі рулони гарячекатаної смуги, товщиною, типовою для холоднокатаної смуги.

Вважається, що першим для виробництва сталевий катанки став ливарно-прокатний модуль (дослідний зразок), який створений у

ВНДІМЕТМАШ та введено в дію в 1963 році. Він складався з радіальної машини безперервного лиття заготовок з кристалізатором перерізом 38x45 мм, універсального планетарного стану і чистої групи клітей для прокатування катанки діаметром 6 мм [20].

Схема розміщення основного обладнання ливарно-прокатного модуля показано на рис. 10.5 [21].

Пошуки процесів відливання тонких смуг ішли головним чином у двох напрямках: - з використанням стрічкового кристалізатора (наприклад, процес DSC), а також – з використанням кристалізатора валкового типу.

10.3. Валкова розливка сталі

Подальшим розвитком ливарно-прокатних агрегатів потрібно вважати утворення агрегатів з валковою розливкою сталі. На теперішній час створено багато установок для розливання сталі між двома обертовими валками, які охолоджуються. Такий процес є найбільш перспективною і енергозберігаючою технологією виробництва тонких штаб [22-24].

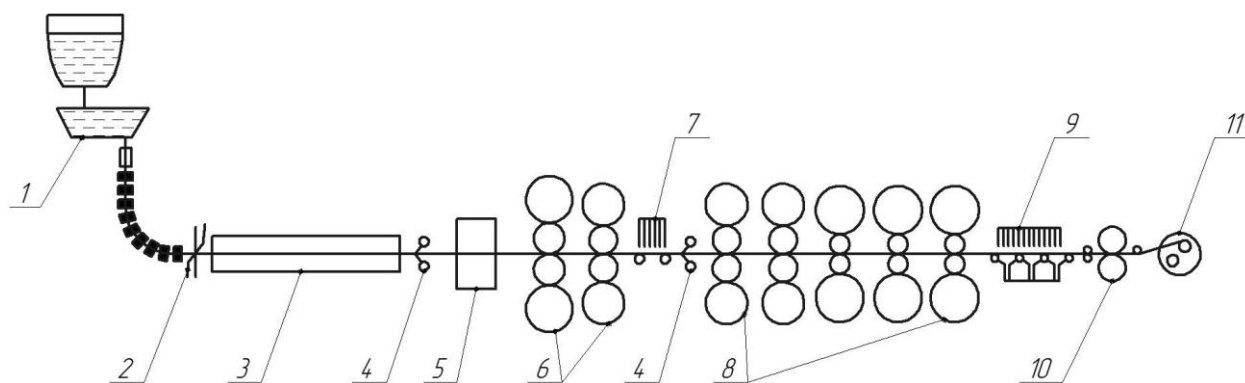


Рисунок 10.5 – Схема агрегату DSP [17]:

- 1 – машина для лиття тонких слябів; 2 – маятникові ножиці; 3 – нагрівальна тунельна піч; 4 – устаткування для видалення окалини; 5 – кліть з вертикальними валками; 6 – чорнові кліті; 7 – устаткування для переміжного охолодження; 8 – безперервна чистова група клітей; 9 – холодильник; 10 – летучі ножиці; 11 – моталка

Отримання тонкого плоского прокату полягає у формуванні смуги безпосередньо з рідкого металу шляхом кристалізації і деформації його між двома валками, що обертаються. На відміну від звичайного безперервного лиття-прокатування сталевих виробів, при валковому литті має місце два суміщених процесу: кристалізація розплаву і пластична деформація спочатку тієї частини, що закристалізувалася, а потім і всієї маси металу [17].

Для виготовлення виробів за цим способом розливання сталі відбувається у валки, які розташовані безпосередньо під проміжним розливочним ковшем, рідка сталь, контактуючи з охолодженими валками кристалізується. При цьому здійснюється обтиснення металу у двофазному стані, тобто суміщуються безперервна розливка з прокаткою в одному агрегаті. М'яке обтиснення відбувається в той момент, коли внутрішні шари безперервно литої штаби знаходяться ще у рідкому стані. Швидко

охолодження фронтів кристалізації з обох валків одночасно сприяє високій швидкості кристалізації та поліпшення якості штаби. У процесі обертання валків рідкий метал рівномірно твердіє [17]. М'яке обтиснення є ефективним засобом зменшення товщини смуги. Витікання розплаву з торців попереджається боковими стінками і ущільненнями [16]. Товщина смуг при такому розлитті звичайно дорівнює 1,5-15 мм. смуга з валків видається з температурою, близько 1300°C.

Швидке затвердіння при литті штаби зменшує мікроліквацію і сприяє більш тонкому розповсюдженню включень, у результаті чого поліпшується якість сталей [17]. У лінії агрегату можлива установка прокатних клітей для одержання особливо тонких штаб. Можливість вибору температурного режиму обробки тонкої смуги між валками-кристалізаторами і моталкою дозволяє управляти властивостями і розробляти метал з новими комбінаціями властивостей. Мала довжина агрегатів (20-60 м) та гнучкість виробництва є також перевагами двовалкової розливки-прокатки смуги.

Загальний вигляд і схема розташування експериментальної установки для проведення досліджень валкової безперервної розливки сталі наведено на рис. 10.6, де видно, як розливається рідка сталь з ковша у валки-кристалізатори [17], де відбувається м'яке обтиснення сталі, при виході з кліти-кристалізатора смуга отримує подальше охолодження і надходить у прокатну кліть.

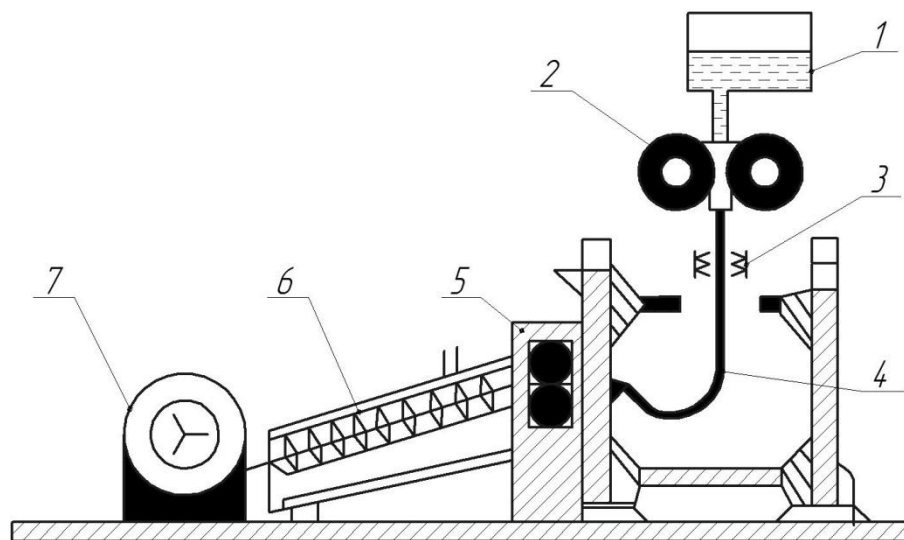


Рисунок 10.6 – Схема дослідної установки:

- 1 – рідка сталь в ковші; 2 – валковий кристалізатор; 3 – зона охолодження зливка;
4 – петля; 5 – прокатна кліть; 6 – холодильник; 7 – моталка

Для дослідження процесу і створення дослідно-промислових установок, де сталь з проміжного ковша надходить у ливарно-прокатні кліті з метою прокатування тонких смуг, було почато розробку проектів «Eurostrip» і «Castrip».

Дослідження [17] показало переваги використання валкових ливарно-прокатних агрегатів над ливарно-прокатними агрегатами: зменшення капітальних витрат на 68%, зменшення питомих капіталовкладень на 35%,

енерговитрати зменшуються в два рази. Так, валкова розливка забезпечує отримання більш якісного матеріалу. В процесі лиття-прокатування відкривається можливість уникнення осевої ліквіації та пористості, за рахунок використання так званого «м'якого обтиснення», де деформація металу відбувається при наявності рідкої серцевини. Таким чином, відбувається обтиснення зливків в двофазному стані. Але нова технологія має і недоліки: ширина смуг не регулюється і коливається за довжиною.

Одним з факторів, що забезпечує якісне лиття заготовок є оптимально-швидкісний режим, що залежить від температури кристалізації конкретної марки сталі в залежності від її хімічного складу.

Для успішного застосування «м'якого обтиснення» необхідно [27]:

- дані про оптимальне відношення твердої та рідкої фази на ділянці обтиснення металу стосовно конкретних вимог;

- визначити оптимальне значення обтиснення металу і динаміки прикладення обтиснення.

Існують і інші методи зовнішньої дії на рідкий метал при литті прокатуванні:

- електромагнітне перемішування металу при його затвердінні. Цей спосіб дозволяє примусово перемішувати потоки розплавленого металу при литті сталі як у вертикальному, так і у горизонтальних площях, керувати рухом рідкої фази, швидкістю течії струї. Все це зменшує поверхневі та внутрішні дефекти при безперервному литті;

- віброімпульсна обробка розплавів під час затвердіння заготовок. Така обробка сприяє здрібненню литої структури сталі, змінює форму усадкової раковини та зменшує глибину її проникнення в зливку, зменшує фізичну та хімічну неоднорідність металу, сприяє покращенню його механічних властивостей;

- віброімпульсна дія на кристалізатор дозволяє покращити тепловідведення від заготовки через стінки кристалізатора, покращує проскальзування заготовок при русі кристалізатора уверх, що зменшує вірогідність згинання або злому коки металу. Але інтенсивність віброобробки має свої обмеження, що обумовлені міцністю кристалізатора;

- обробка розплаву коливаючим стрижнем. Цей спосіб істотно впливає на зміну теплового та масового обміну у зоні функціонування стрижню. Це сприяє утворенню дрібнодисперсної структури зливка в зоні стовбчастих кристалів;

- акустичні та ультразвукові методи дії на рідку фазу металу використовують в металургії кольорових металів та сплавів;

- електрогідроімпульсна обробка металу, де на затверділий метал діють короткочасні електричні імпульси великої потужності, що робить можливим використання цього способу для обробки металу великої маси.

Існують технології, де рідку сталь пропонується розливати безпосередньо в консольні прокатні валки, які є кристалізаторами [17] і швидко зменшувати перегрів металу перед розливанням використовуючи суспензійне розлиття [15] (рис. 10.7).

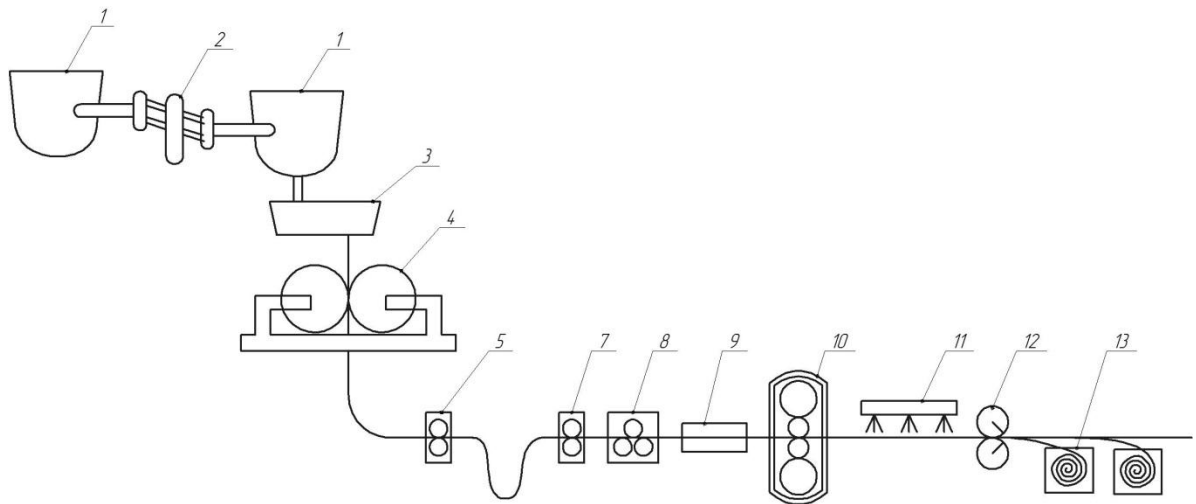


Рисунок 10.7 – Схема розташування обладнання промислового двовалкового ливарно-прокатного модуля для виробництва тонкої сталеві смуги в Крефельді (Німеччина) [2]: 1 – розливні ковші; 2 – повертальний стенд; 3 – проміжний ківш; 4 – ливарно-прокатна машина; 5 – тягнучі ролики; 6 – петленакопич; 7 – спрямовуючі ролики; 8 – трироликівий блок; 9 – індукційний підігрівач; 10 – прокатна кліть; 11 – дільниця ламінарного охолодження; 12 – ножиці; 13 – моталки

Недоліками такого розлиття-прокатування є:

- складність організації відводу тепла з зони кристалізації з швидкістю охолодження 10^2 - 10^4 °C;
- утримання рідкої сталі від бокового витікання з валків кристалізатора;
- забезпечення рівномірної подачі рідкої сталі у валки-кристалізатори і забезпечення постійності рівня сталі в кристалізаторі з точністю ± 2 мм;
- одержання смуг необхідної точності за товщиною та шириною.

Недоліки долаються використанням сучасних матеріалів, удосконаленням конструкцій машин та комп'ютерного управління технологічними процесами.

Для виготовлення валків-кристалізаторів використовуються сплав мідь-хром, інколи з нікелевим покриттям. Для виготовлення бокових стінок кристалізаторів використовують нітрид бора чи нітрид кремнію. Вивчається можливість використання електромагнітного поля для бокового утримання рідкої сталі, використання додаткових центрів кристалізації. Пропонується нова конструкції ливарно-прокатної кліті [15] (рис. 10.8), яка дозволяє надійно утримувати рідку сталь між валками за допомогою буртиків, що напрусовані на валки. В якості додаткових центрів кристалізації пропонується використовувати здрібнену сталеву стружку, що дозволить збільшити швидкість кристалізації рідкої сталі, зменшити витрати металу, збільшити швидкість охолодження та швидкість лиття, підвищити продуктивність процесу, зменшити його собівартість.

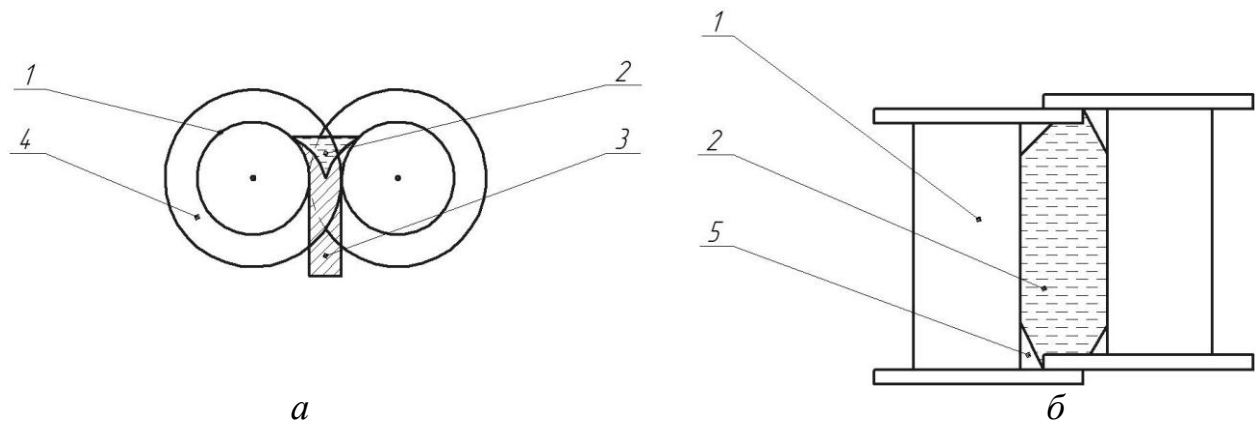


Рисунок 10.8 – Ливарно-прокатна кліть [15]:

a – вид з боку, *б* – вид зверху; 1 – прокатні валки-кристалізатори; 2 – рідка сталь;
3 – затравка; 4 – напесовані буртики; 5 – здрібнена чавунна стружка

Технологія валкової безперервної розливки сталі: у кристалізатор перед початком розлиття вводиться заправка, яка править за його дно. Верх заправки має паз у вигляді „ластів’ячого хвоста” для зчеплення із сформованим у кристалізаторі зливком. Затравка проходить зону вторинного охолодження і входить у тягнучі валки. З ковша на горизонтальні циліндричні валки-кристалізатори (рис. 10.8), які обертаються 1 виливається рідка сталь 2, одночасно з цим насипаються на валки-кристалізатори з двох бункерів, що встановлені з обох боків валків, шар здрібненої чавунної стружки 5 у вигляді тригранної піраміди. Для стабілізації цієї піраміди на кінцях валків напесовано буртики 4, для підтримання рідкої сталі використовується затравка 3, яка до початку розливки рідкої сталі була введена в робочу порожнину кристалізатора.

Далі відбувається м’яке обтиснення сталі валками-кристалізаторами до заданої товщини смуги, де одночасно з цим відбувається охолодження валків водою.

При обертанні валків затравка витягує за собою зливком. Виходячи з кристалізатора, зливком має всередині рідку фазу. Для запобігання розбуханню зливка від тиску рідкого металу передбачено обмежувальні бруски та ролики. Затравку в міру пересування зливка забирають частинами.

Зливком розрізається на мірні частини кисневим різакком.

Відрізаний виріб рольгангом транспортують до пристроїв для подальшої її обробки або на склад.