

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Гірничо-металургійний факультет
Кафедра металургії чорних металів і ливарного виробництва

Пояснювальна записка
до випускної атестаційної роботи магістра

зі спеціальності 136 – Металургія
ОП «Ливарне виробництво чорних та кольорових металів і сплавів»

на тему:

**Удосконалення технології отримання біметалевих
виливків відцентровим способом**

Виконав: студент групи ЛВ-24-1м
Керівник випускної роботи

Нормоконтролер

Завідувач кафедри

Белоусов Д.В.
Плотніков В.В.

Плотніков В.В.

Савельєв С.Г.

Кривий Ріг
2025 р.

ВІДОМОСТІ ОБСЯГУ МАТЕРІАЛІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Примітка
				<u>Документація</u>		
A4		1	КНУ.РМ.136.25.500с-01 ПЗ	Пояснювальна записка		
				<u>Графічні матеріали</u>		
A4		2	КНУ.РМ.136.25.500с-01 ПР	Презентація		
A4		3				
A4		4				
A4		5				

					КНУ.РМ.136.25.500с-01 ВМ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ		
Розроб.		Белоусов Д.В.					
Перевір.		Плотніков В.В.					
Н. Контр.		Плотніков В.В.					
Затверд.		Савельєв С.Г.			ЛВ-24-1М		
					Лім.	Арк.	Акрушіє
						2	1

РЕФЕРАТ

Магістерська робота присвячена дослідженню технології виготовлення біметалічних мелючих валків методом відцентрового лиття.

Мета роботи – дослідження особливостей технологічного процесу одержання заготовок мелючих валків методом відцентрового лиття та впровадження отриманих результатів у виробництво.

Робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел. Робота містить 24 таблиці, 15 рисунків, 5 розділів, загальний обсяг сторінок.

У першому розділі подано аналіз сучасного стану виробництва валків, вимог до їх якості, впливу хімічного складу чавуну та напрямків удосконалення технології.

Другий розділ присвячено дослідженню процесів формування біметалічних заготовок у полі відцентрових сил, зокрема гідродинамічного стану рідини у формі, кінетики затвердіння та впливу швидкості охолодження на структуру металу.

У третьому розділі подано результати розробки технології виготовлення валків: вибір параметрів форми, оптимізацію теплоізоляційного покриття, удосконалення конструкції заливального пристрою, визначення режимів заливання і складу чавуну.

Четвертий розділ містить оцінку умов праці та безпеки виробничих процесів після впровадження технології.

У п'ятому розділі наведено техніко-економічне обґрунтування ефективності розробленої технології.

Результати досліджень.

Встановлено, що використання масивної виливниці з покриттям і пульвербакелітової теплоізоляції підвищує якість робочого шару валка, усуває тріщини та забезпечує рівномірну твердість. Розроблена технологія дозволила підвищити стійкість валків у 3–3,5 раза порівняно зі стаціонарним методом лиття.

Ключові слова: відцентрове лиття, біметалічні валки, робочий шар, затвердіння, гідродинаміка, теплоізоляційне покриття

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ I СУЧАСНИЙ СТАН ВИГОТОВЛЕННЯ ВАЛКІВ

- 1.1 Сучасні вимоги до якості мелющих валків
 - 1.1.1 Загальні вимоги до заготовок валків
 - 1.1.2 Умови експлуатації й технічні характеристики мелющих валків
- 1.2 Аналіз і тенденції розвитку перспективних процесів виробництва біметалічних мелющих валків
- 1.3. Основні напрямки вдосконалювання технологічних процесів виробництва біметалічних мелющих валків
- 1.4 Вплив хімічного складу чавуну на якість робочого шару валків

Висновки до розділу

РОЗДІЛ II ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ БІМЕТАЛІЧНИХ ЗАГОТОВОК ВАЛКІВ У ПОЛІ ДІЇ ВІДЦЕНТРОВИХ СИЛ

- 2.1 Дослідження гідродинамічного стану рідини в обертівій формі
- 2.2 Дослідження особливостей процесу затвердіння виливка в масивній виливниці
- 2.3 Визначення кінетики затвердіння робочого шару валків
- 2.4 Вплив швидкості затвердіння на властивості металу робочого шару валків

Висновки до розділу

РОЗДІЛ III ДОСЛІДЖЕННЯ Й РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛІЧНИХ МЕЛЮЩИХ ВАЛКІВ

- 3.1 Дослідження й вибір параметрів форми для лиття мелющих валків
- 3.2 Оптимізація складу й способу нанесення теплоізоляційного покриття на внутрішню поверхню виливниці
- 3.3 Удосконалювання конструкції заливального пристрою для лиття валків
- 3.4 Технологічний регламент обертання форми
- 3.5 Термочасові параметри режиму заливання двох різнорідних металів у форму
- 3.6 Дослідження й вибір складу чавуну робочого шару мелющих валків
- 3.7 Експериментально-виробниче відпрацювання технології виливу біметалічних валків методом відцентрового лиття
- 3.8. Рекомендації щодо впровадження технології виготовлення біметалічних мелющих валків

Висновки до розділу

РОЗДІЛ IV ОЦІНКА СТАНУ УМОВ ПРАЦІ І БЕЗПЕКИ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ПІСЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

РОЗДІЛ V ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ВСТУП

Завданням сучасного машинобудування є підвищення надійності й довговічності обладнання, у тому числі працюючого в умовах підвищених питомих навантажень і інтенсивного зношування робочих елементів.

Передчасний вихід з ладу мелючих валків розмелених агрегатів приводить до зупинки всього переробного устаткування, що працює в синхронному режимі, і віднімає до 25% корисного часу у зв'язку з перевалкою валків.

Складність технології виготовлення біметалічних мелючих валків полягає в необхідності досягнення високої твердості поверхневого робочого шару при наявності «м'якої» серцевини з досить високою пластичністю металу, що приводить до утруднень при виготовленні цільної заготовки, яка повинна мати диференційовані властивості по перетину.

Традиційна технологія виготовлення заготовок мелючих валків методом «промивання» у стаціонарний кокіль відрізняється низькою ефективністю процесу. Хоча вона й дозволяє одержувати диференційовану структуру по перетину вилівка, однак не забезпечує рівномірної твердості й однакової глибини вибіленого шару по довжині й окружності валків, що є однією з основних причин їх низької експлуатаційної стійкості.

Тривалість роботи, наприклад, борошномельних валків, отриманих стаціонарним способом, у край низька й оцінюється в 3,5...4,0 місяця до першого переточування рифлів при роботі на системах грубого млива, у той час як валки закордонного виробництва в аналогічних умовах працюють в 2,0...2,5 рази довше.

Найбільш ефективним способом виготовлення мелючих валків, з диференційованою структурою є відцентрове лиття з послідовним заливанням в обертovu форму металів робочого й внутрішнього шарів, що дозволяє не тільки забезпечити їхні високі експлуатаційні характеристики, але й у максимальному ступені механізувати процес їх виготовлення.

Однак, незважаючи на ряд виконаних робіт за участю фахівців різних організацій, експлуатаційна стійкість мелючих валків, виготовлених способом відцентрового лиття, усе ще не відповідає зростаючим вимогам машинобудування.

В основному це пов'язане з відсутністю стабільної технології застосовуваного способу відцентрового лиття, що веде до підвищеного браку по розшаруванню, тріщинах, спаях, появі бугристості на поверхні виливків, і пов'язаної із цим «плямистості», тобто нерівномірної твердості на поверхні виливка, що багато в чому пояснюється недостатньою вивченістю процесу формування різномірних складів чавуну в полі дії відцентрових сил.

У зв'язку із цим проблема виготовлення надійних і довговічних в експлуатації, тобто конкурентоспроможних мелючих валків для машинобудування, є актуальною.

Мета і завдання роботи.

Метою роботи є дослідження особливостей технологічного процесу одержання заготовок мелющих валків методом відцентрового лиття з наступним впровадженням отриманих результатів .

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- дослідження особливостей процесів заповнення й розподілу рідкого металу у формі з урахуванням дії відцентрових сил і визначення їх впливу на якість виливків;
- вивчення кінетики й швидкості затвердіння робочого шару валків і їх впливу на структуру й властивості металу, а також взаємозв'язок їх температурно-часових умов заливання двох різнорідних складів чавуну;
- розробка технологічного регламенту відцентрового лиття бочок, мелющих валків по основних його параметрах: швидкість і температура заливання металу, спосіб і режим уведення металу в обертову форму, частота обертання форми, склад і спосіб нанесення теплоізоляційного покриття в виливницю, інтервал часу між заливаннями двох металів і ін.

РОЗДІЛ І СУЧАСНИЙ СТАН ВИГОТОВЛЕННЯ ВАЛКІВ

1.1 Сучасні вимоги до якості мелющих валків

1.1.1 Загальні вимоги до заготовок валків

Широке поширення в легкій і харчовій промисловості одержало устаткування для переробки різних матеріалів, зокрема, їх розмелу у валкових млинах.

Головним робочим інструментом млинів, у яких відбувається розмел, є мелющі валки, від якості яких залежить стабільна робота й продуктивність усього комплексу переробного устаткування, а також якість продукції, що випускається.

Мелючі валки працюють у складних умовах, випробовуючи більші динамічні навантаження й вплив механічних факторів зношування. Передчасний вихід з ладу мелющих валків, пов'язаний не тільки із зупинкою групи млинів, але й усього виробничого циклу, що приводить до значних часових і економічних втрат.

У зв'язку із цим питанню експлуатаційної стійкості мелющих валків надається першорядне значення.

Виходячи зі специфічних умов експлуатації мелющих валків, їх стійкість багато в чому обумовлена диференційованим характером структури й властивостей металу по перетину вилівка, тобто наявністю поверхневого вибіленого шару товщиною 0,020...0,025 м з досить високими значеннями твердості (як міри пружності поєрхні 62...72 HSD, що приблизно відповідає 500 HB), рівномірно розподіленими по довжині й перетину бочки валка, і «м'якої» серцевини із твердістю 180...230 HB [1].

Застосування легованих хромом і нікелем чавунів для формування робочого шару мелющих валків, [1, 2] приводить до необхідності в чіткій диференціації макроструктурних зон у перетині бочки валка, оскільки при достатній довжині вибіленого (робочого) шару та наявності тендітного структурно-вільного цементиту в серцевині валка запресовування сталевих півосей з торців бочки супроводжується появою тріщин.

Разом з наявністю диференційованої структури бочка валка повинна мати 100% суцільність, тобто міцне зварювання металу робочого шару й серцевини, а також відсутність дефектів у тілі вилівка.

Традиційна технологія виготовлення мелющих валків, методом «промивання» у стаціонарний кокіль, яка відрізняється низькою ефективністю процесу, не забезпечує оптимального співвідношення структурних зон по перетину бочки валка, а також рівномірного розподілу твердості й глибини вибіленого шару по довжині й окружності валків, що є однією з основних причин їх низької експлуатаційної стійкості (оцінюється на рівні 40...50% від стійкості валків сучасного закордонного виробництва).

Тому існуюча практика використання мірошницьких валків передбачає їхню закупівлю за кордоном.

Technical drawing of a table with dimensions and assembly details. The main dimensions are 1000mm (width), 1250mm (depth), and 800mm (height). The drawing includes a side view and a top view. The side view shows a table with a width of 1000mm and a depth of 1250mm. The height is 800mm. The table has a rectangular top with a thickness of 20mm. The legs are 110mm wide and 70mm high. The table is assembled with 2 M75x2 screws and 10 screws. The drawing also shows a detail of the table top with a 20mm thickness and a 7mm hole.

Робочим органом мелючих валків (рис. 1.1) є біметалічна чавунна бочка (1), а в якості опорних елементів застосовуються сталеві півосі (2) запресовані із двох торців бочки. Зовнішній (робочий) шар бочки валків (3) виготовляють із вибіленого легованого чавуну, а внутрішній шар - із сірого чавуну. Товщина зовнішнього шару валків становить 0,02...0,025 м, а внутрішнього шару 0,06...0,08 м. Твердість зовнішнього шару металу становить 62...72 HSD, твердість внутрішнього шару металу становить 180...230 HB.

1.1.2 Умови експлуатації й технічна характеристики мелющих валків

На рис. 1.2 представлена конструктивна схема млина типу А 1-БЗН. Млин розділений суцільною перегородкою на дві половини секції), кожна з яких працює самостійно.

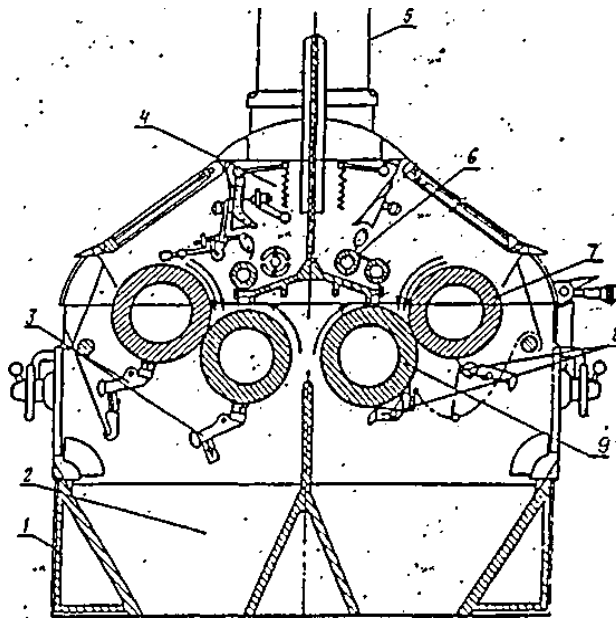


Рисунок 1.2 - Млин типу А 1-БЗН

1 - станина, 2 - бункер, 3 - щітки, 4 - механізм живлення, 5 - приймальня труба, 6 - живильні валки, 7 - швидко обертовий валок, 8 - ножі для очищення, 9 - повільно обертовий валок

Як видно з наведеної схеми, млин складається з наступних основних вузлів: 1 - станина, 2 - бункер, 3 - щітки, 4 — механізм живлення, 5 - приймальня труба, 6 - живильний валик, 7 - швидко обертовий валок, 8 — ножі для очищення, 9 - повільно обертовий валок.

Валки в кількості 4 штук установлені парами у двох секціях млина й працюють автономно. При цьому лінія, що з'єднує їхні осі обертання, утворює кут 30° з горизонталлю. Зменшення цього кута сприяє поліпшенню живлення валків, а також підвищенню коефіцієнта заповнення площі здрібнювання.

Матеріал, що подрібнюється по прийомній трубі - 5 надходить на живильні валики — 6, за допомогою яких рівномірно розподіляється по всій довжині розташованих нижче мелючих валків 7 і 9. Регулювання величини робочого зазору між мелючими валками, здійснюється шляхом переміщення нижнього валка, закріпленого в рухливих буксах.

Верхній валок обертається з більш високою швидкістю, ніж нижній, що забезпечує інтенсивне здрібнювання продуктів.

Відмінною рисою млинів подібного типу є використання порожніх по конструкції бочок валків. При цьому внутрішня порожнина бочки швидко обертового валка охолоджується водою, що впливає на властивості продукції, що подрібнюється.

Мелючий валок для млинів А 1-БЗН має наступні характеристики: зовнішній діаметр бочки валка - 1 становить 0,25 м, довжина бочки становить 1 м, маса 2646 Н, діаметр внутрішньої порожнини бочки - 0,158 м [3] (рис. 1.3).

По торцях бочки запресовані цапфи - 2, діаметр запресованої частини 0,16 м, шийка цапфи має три частини: перехідну циліндричну діаметром 0,1 м, опорну, що складається із циліндричної й конічної частин (0,075...0,080 м), і кінцеву циліндричну 0,065 м. На конусній частині - 3 цапфи встановлені

підшипники - 4, а кінцева циліндрична служить насадкою приводного шківів або шестірни - 5 міжваликової передачі (13 - мала шестірна).

Мелющий валок проохолоджується водою, яка надходить через трубку - 6 і заповнює внутрішню порожнину. При нормальній роботі системи охолодження температура швидкообертового валка не повинна перевищувати 60°C. По даним випробувань температура поверхні валка не перевищує 36°C, а самого продукту після здрібнювання не більш 25°C.

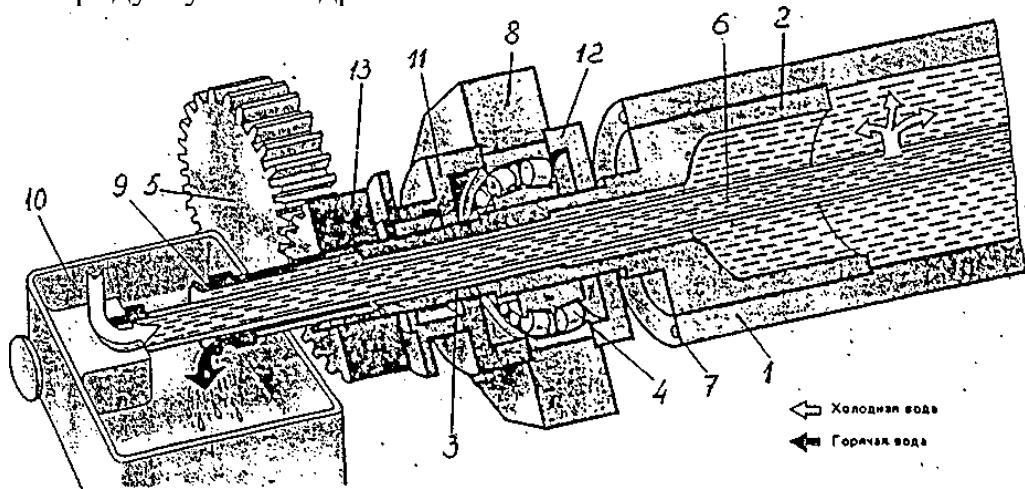


Рисунок 1.3 - мелющий валок А 1-БЗН із системою охолодження
1 - корпус, 2 - цапфа, 3 - конус цапфи, 4 - підшипник, 5 - шестірна, 6 - труба,
7 - порожнина для балансування, 8 - корпус підшипника, 9 - втулка, 10 -
камера, 11, 12 - кришки підшипника, 13 - мала шестірна

Мелющі валки із суцільним перетином бочки, призначені для млинів ЗМ2 і БВ2, мають розміри по зовнішньому діаметру 0,25 м і по довжині 1, 0,8 і 0,6 м, відповідно масою 3822, 3116 і 2411Н.

Аналіз технічних характеристик мелющих валків з полою й суцільною бочками дозволяє зробити висновок про краще використання валків з порожньою бочкою по таким причинам:

- зменшується на 50% витрата металу на виготовлення заготовок валків і знижується маса готових валків на 33% у порівнянні з масою суцільного валка;
- знижується теплове розширення при нагріванні валків у результаті охолодження водою внутрішньої порожнини бочки й стабілізується розмір зазору, тобто підвищується якість розмелу;
- зменшується витрата електроенергії при експлуатації;
- збільшується контактна поверхня порожнини бочки із запресованою частиною цапфи й у зв'язку із цим знижуються радіальні внутрішні напруження приблизно на 40%, а також зусилля при запресовуванні цапф приблизно в 3 рази. поліпшуються якісні показники здрібненої продукції в результаті охолодження внутрішньої порожнини бочки.

Представлені переваги використання мелющих валків з порожньою бочкою дозволяють порушувати питання про необхідність зміни конструкції валків для млинів типу ЗМ2 і БВ2 із суцільною бочкою на порожню.

Традиційний спосіб їх виготовлення методом стаціонарного лиття стримує такий прогресивний шлях найбільш ефективного виготовлення валків, тому що сполучений зі значними труднощами технологічного виконання.

У той же час, незважаючи на нові можливості, що виникають при використанні відцентрового методу для одержання валків з порожньою бочкою, у цей час відсутні розроблені чіткі рекомендації з його використання для реалізації цього важливого для борошномельної галузі завдання.

1.2 Аналіз і тенденції розвитку перспективних процесів виробництва біметалічних, мелючих валків

Суперечливість вимог до службових властивостей біметалічних чавунних валків полягає в необхідності утворення твердого поверхневого шару для протидії абразивному зношуванню й порівняно «м'якого» внутрішнього шару для можливості розточення й запресовування сталевих півосей, що в значній мірі ускладнює технологічне завдання одержання біметалічних литих виробів.

Для реалізації цього завдання були розроблені способи стаціонарного заливання валків «промиванням» [4] і «напівпромиванням» [5].

За методом «промивання» у форму (рис. 1.4) заливається метал до рівня отвору в надливній частині валка. Після утворення на бочці шару твердого металу здійснюється заливання іншого металу необхідної товщини у форму. Незатверділий легований метал витісняється з форми сірим чавуном для утворення серцевини валка.

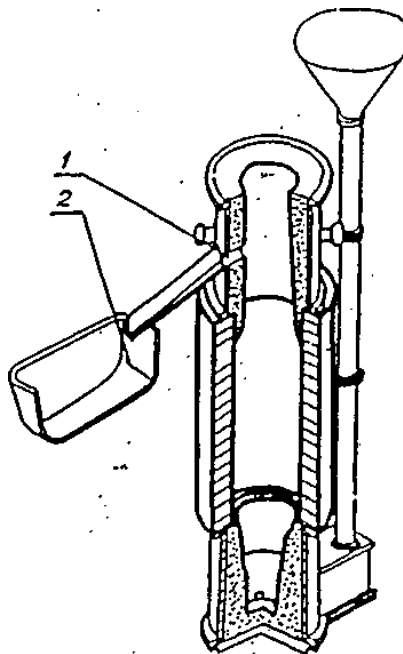


Рисунок 1.4 – Стаціонарна кокільно-піщана форма для лиття валків методом «промивання» 1 — отвір у надливній частині валка, 2 - прийомний пристрій для зливу чавуну

Промивний отвір закривається й форма заповнюється сірим чавуном до верхнього краю надливу [4].

Метод «напівпромивання» застосовується для одержання валків з високоміцного чавуну. При цьому способі після затвердіння робочого шару валка (із чавуну, що має 0,4...0,5% кремнію й обробленого магнієм) у форму заливається чавун з підвищеним вмістом кремнію (7...10%), що перешкоджає утворенню відбилу [4, 5], для того, щоб після змішання двох металів одержати склад чавуну зі вмістом кремнію 2,0...2,3%.

Зазначені способи одержання біметалічних валків мають суттєві недоліки: велика витрата рідкого металу, особливо легованого, нестабільність процесу, труднощі одержання рівномірного відбілу по довжині й перетину бочки валка, значна тривалість технологічного циклу.

Незважаючи на складність і трудомісткість виготовлення необхідної товщини, стаціонарними способами й низька якість одержуваних валків вони продовжують знаходити застосування в сучасній практиці.

Так, усі валки типу ЗМ із суцільною конструкцією бочки, що становлять 35-40% обсягу всього виробництва, виготовляють тільки стаціонарним способом.

Багато валків з пустотілою бочкою для млинів типу А 1-БЗН виготовляють також стаціонарним способом з використанням центрального стрижня у формі.

На рис. 1.5 представлена схема заливання порожнього мелючого валку у кокіль із центральним стрижнем.

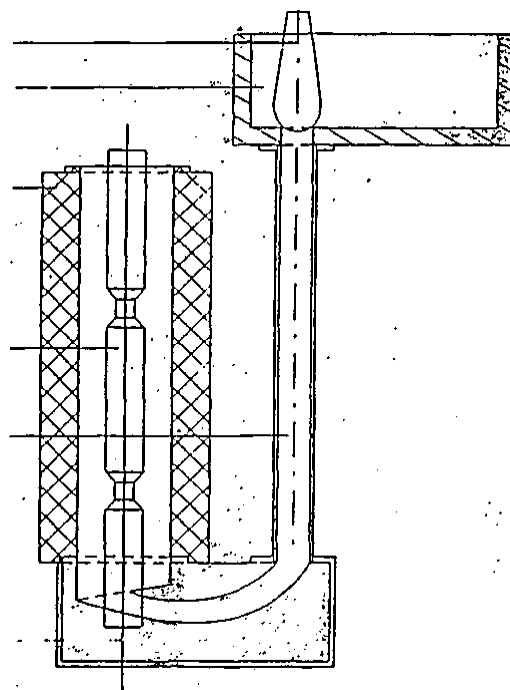


Рисунок 1.5 - Схема стаціонарного заливання порожнього валка
1 - стопор, 2 - заливальна чаша, 3 - кокіль, 4 - стрижень, 5 — ливниковий канал

Стрижні для формування внутрішньої порожнини валка виготовляються із суміші кварцового піску з метилакриловою смолою, котру отверджує вуглекислий газ.

Матеріалом виливків є нелегований сірий чавун, а вибілений робочий шар становить по глибині 0,010. ..0,015 м.

Використання стаціонарного способу виготовлення бочок валків пов'язане як з великими витратами в процесі їх виробництва (низький вихід придатного 40-50%, велика витрата формувальних матеріалів, висока трудомісткість процесу), так і низькими якісними характеристиками: нерівномірність твердості по довжині й перетину бочки валка, а також нерівномірність товщини робочого шару, що в значній мірі знижує їхню експлуатаційну стійкість (3,5...4,0 місяця до першого переточування рифлів) [1].

Практика виробництва біметалічних валків показує, що перераховані недоліки, характерні для стаціонарного лиття, усуваються при використанні відцентрового способу виготовлення валків.

Про переваги способу відцентрового лиття, у порівнянні зі стаціонарним, згадувалося в ряді вітчизняних і закордонних публікацій, у яких підкреслювався вдалий розв'язок проблеми якості виливків і економії металу.

Аналіз літературних даних показує, що у світовій практиці розроблені й застосовуються різні способи відцентрового лиття біметалічних валків [1, 6. 7]:

1. Заливання робочого шару й серцевини металу валка на машинах з вертикальною віссю обертання .
2. Лиття двошарових валків на машинах з похилою віссю обертання .
3. Заливання робочого шару у форму з горизонтальною віссю обертання з наступним заповненням серцевини у вертикальному положенні .
4. Заливання робочого шару на машинах з горизонтальною віссю обертання.

Кожний із зазначених способів має свої переваги й недоліки. Так, наприклад, перший з них характеризується складністю конструкції, а також нерівномірною товщиною робочого шару по довжині бочки валка.

Другий спосіб (з похилою віссю обертання форми) також відрізняється певною складністю конструкції машин, вимагає її заглиблення й також не забезпечує рівномірної товщини робочого шару бочки валка. Цей спосіб не знайшов широкого застосування.

Третій спосіб одержання біметалічних валків має два різновиди.

Один з них полягає в наявності поворотного пристрою виливниці, за допомогою якого форма після заливання металу робочого шару при горизонтальній осі обертання і його кристалізації встановлюється у вертикальне положення, а потім проводиться заливання металу серцевини.

Цей спосіб прийнятний для невеликих по масі валків, у яких інтервал між заливанням робочого шару й серцевини обмежений за часом, однак його застосування через складність конструкції машини теж обмежене.

Другим різновидом цього способу є заливання металу серцевини валка у форму, розташовану у вертикальному положенні поза зоною розташування машини (кесон), після кристалізації робочого шару при горизонтальній осі обертання.

Зазначений спосіб знайшов застосування в ряді країн для виробництва переважно великих валків, при виготовленні яких інтервал між закінченням кристалізації робочого шару й заливанням металу серцевини досить великий [7].

Четвертий спосіб відрізняється простотою конструкції відцентрової машини, не вимагає заглиблення й забезпечує рівномірну товщину робочого шару бочки валка.

Враховуючи, що при виготовленні валків для харчової промисловості півосі не відливаються, а запресовуються, то виготовлення порожньої бочки найбільше доцільно робити на відцентрових машинах з горизонтальною віссю обертання шляхом послідовного заливання поверхневого робочого шару, а потім і внутрішнього.

Використання цього способу для одержання біметалічних валків відзначається в роботах [1, 6, 8] (рис. 1.6).

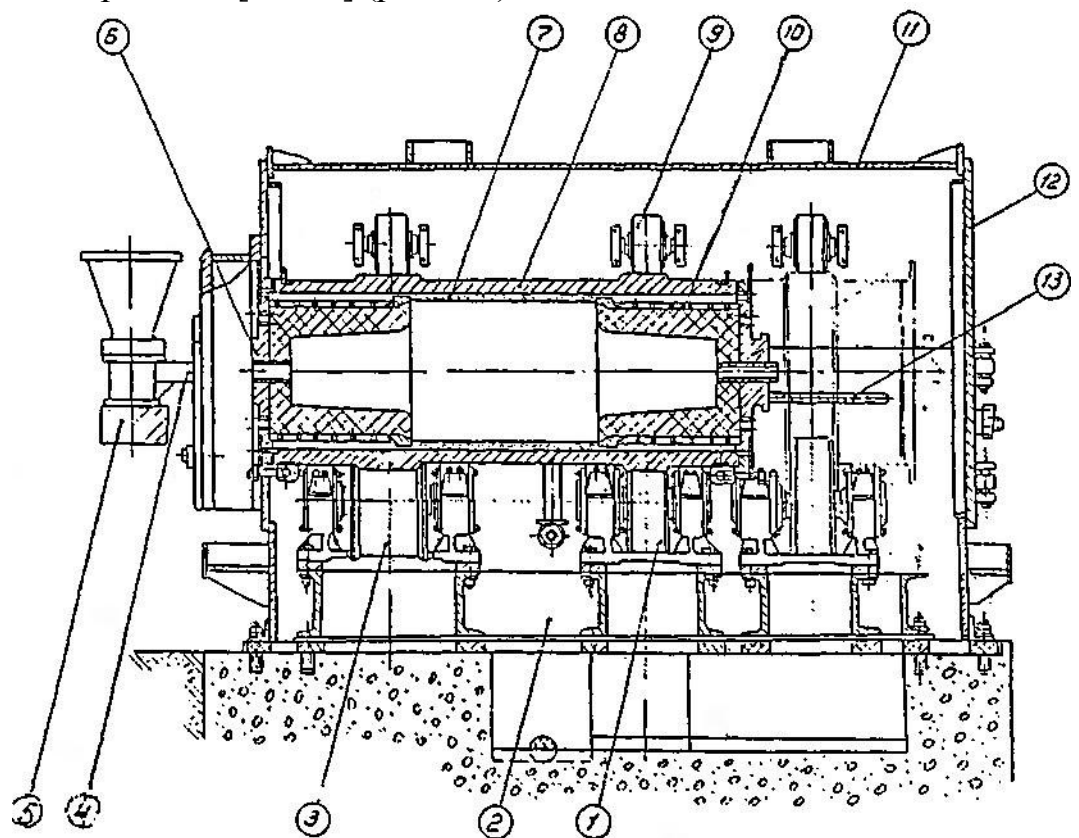


Рисунок 1.6 - Відцентрова машина для лиття прокатних валків
1 - ролик, 2 - станина, 3 - ролик приводний, 4 - траверси, 5 - заливальний пристрій - кришка виливниці, 7 - теплоізоляційне покриття, 8 - виливниця, 9 - ролик натискний, 10 - склянка, 11 - кожух, 12 - кришка задня, 13 - система охолодження

Він знайшов застосування в металургійному виробництві ряду закордонних країн (США, Японія, Німеччина, Франція) для виготовлення двошарових валків стосовно до дрібносортового, дротового і трубопрокатного станів.

Відзначається ряд переваг відцентрового лиття двошарових валків у порівнянні зі стаціонарним способом їх виготовлення, наприклад:

- структурна однорідність робочого шару по глибині й довжині бочки;
- рівномірна твердість металу робочого шару по перетину й довжині бочки;
- більш щільна структура;
- економічне й гнучке виробництво.

Однак відомості про технологічні особливості виготовлення мелючих валків відцентровим способом є недостатньо повними і найчастіше носять рекламний характер .

Тому вихідним щаблем даної роботи була та база наукових і практичних розробок в області виробництва відцентроволитих біметалічних чавунних виробів, яка була близька по технічних характеристиках (геометрії, матеріалам, фізико-механічним властивостям) до мелючих валків харчової промисловості.

Ближче всього до такого роду розробок належить дослідження в області виготовлення відцентроволитих біметалічних сортопрокатних валків діаметром бочки 0,25...0,46 м і довжиною 1,0...1,5 м [6, 8].

1.3 Основні напрямки вдосконалювання технологічних процесів виробництва біметалічних мелючих валків

Технологічний процес одержання заготовок розробляється з урахуванням особливостей процесу їх формування в ливарній формі й повинен забезпечувати необхідні службові властивості виробу.

Суттєву роль у формуванні службових властивостей відіграє ливарна форма, її теплоізоляційне покриття, що забезпечують певний тепловідвід, швидкість затвердіння металу і, як наслідок, характер його структури й фізико-механічні властивості.

Теплоізоляційні покриття, використовувані на внутрішній поверхні виливниці, впливають також на чистоту поверхні бочки валка, визначаючи трудомісткість подальших операцій при механічній обробці заготовок.

Скорочення працезатрат на зазначені операції здобуває особливу актуальність у зв'язку зі складністю механічної обробки високотвердих матеріалів, до яких належить робочий шар мелючих валків з рівнем твердості 65...72 HSD і з вимогою високої якості поверхні бочки валка.

Розв'язок зазначеної проблеми в значній мірі залежить від якості застосовуваних теплоізоляційних покриттів.

При виготовленні заготовок з різних сплавів способом відцентрового лиття широке поширення одержали сипучі теплоізоляційні покриття на основі кварцового піску.

У роботі [1] у якості ливарної форми для одержання борошномельних валків розглядається тонкостінна сталева виливниця, товщиною стінки 0,035...0,040 м, покрита зсередини сипучим теплоізоляційним шаром і інтенсивно охолоджувана водою спрейерним способом.

У якості сипучого теплоізоляційного покриття використовується сухий кварцовий пісок, марок K0315, K02С, товщиною шару 0,003...0,005 м і шар протипригарного матеріалу (цирконове борошно або маршалит зернистістю 0,020...0,005 мм) товщиною 0,001...0,0015 м [6]. Таке покриття вводять в обертovu виливницю за допомогою піскосипа, що представляє собою трубу з поздовжнім пазом, рівним довжині бочки валка.

Піскосип, заповнений піском, повільно повертають проти напрямку обертання виливниці, висипаючи пісок, який, під дією відцентрових сил, розподіляється по внутрішній поверхні виливниці. Потім на поверхню піску таким самим способом наносять шар цирконового борошна.

Незважаючи на наявність шару протипригарного покриття із цирконового борошна на поверхні виливка іноді спостерігається пригар, а також хвилястість, через появу нерівностей на поверхні теплоізоляційного покриття (рис. 1.8).



Рисунок 1.7 - Пригар на поверхні мелющих валків з використанням сипучої футеровки

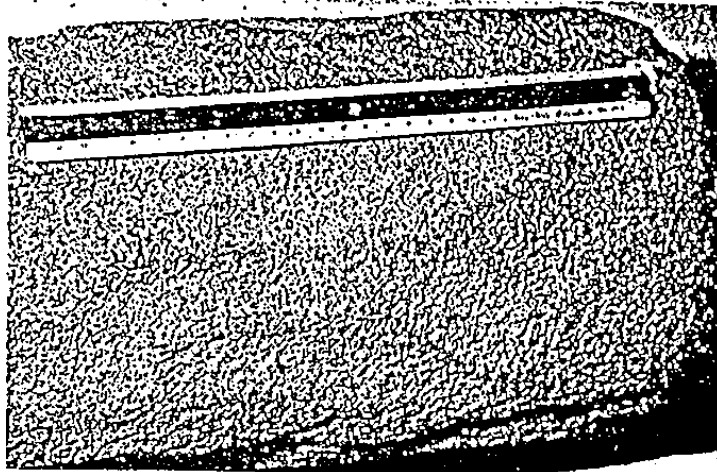


Рисунок 1.8. Нерівності й бугристість на поверхні мірошницьких валків з використанням сипучої футеровки

Поряд із цим при використанні сипучого покриття на внутрішній поверхні виливниці в зоні падіння струменя металу часто відбувається вимивання піщинок і проникнення металу усередину покриття, що викликає появу додаткового пригару кільцевої форми.

Така поверхня валка важео піддається механічній обробці твердосплавним інструментом і це приводить до необхідності збільшення припуску на механічну обробку.

При цьому мають місце випадки влучення зрушених піщинок і часток цирконового борошна на границю розділення двох шарів металу [1].

У роботі [8] проведено дослідження температурного поля заготовки валка діаметром 0,25 м і довжиною 1,5 м з робочим шаром із хромонікелевого чавуну, отриманої в тонкостінній виливниці із сипучим покриттям.

На рис. 1.9 представлена зміна температури металу робочого шару на глибині 0,01 м.

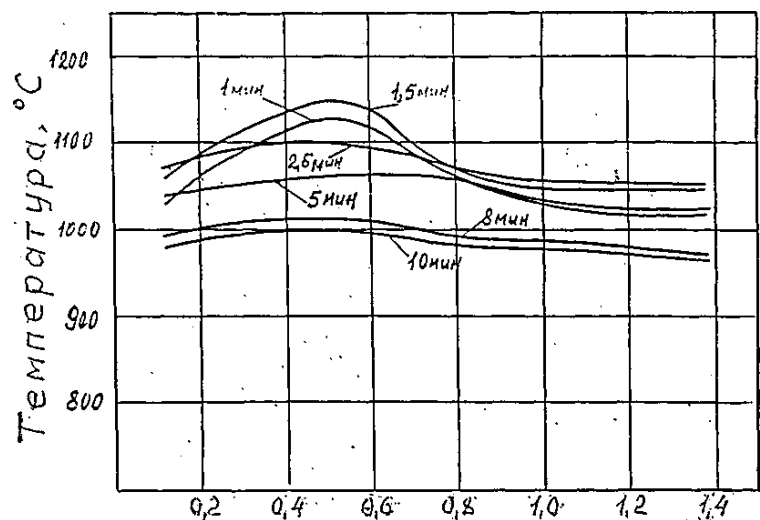


Рисунок 1.9. Підвищення температури робочого шару в місці падіння струменя металу у форму

Як видно із представленого графіка в зоні падіння струменя металу на відстані 0,5 м від заливального краю виливниці спостерігається підвищення температури металу в порівнянні з температурою сусідньої ділянки виливка. Ця різниця температур у виливку не зникає протягом усього періоду затвердіння робочого шару валка.

При цьому вказується, що при заливанні другого металу ця зона падіння струменя металу з підвищеною температурою додатково нагрівається, що приводить до небажаної зміни структури й твердості металу робочого шару, а також розмиву струменем металу робочого шару [8].

Автором висловлюється пропозиція робити заливання другого металу із протилежної сторони стосовно першої, що набагато ускладнює технологічний процес виготовлення валків.

Сипуче теплоізоляційне покриття, поряд з наведеними недоліками, має ряд переваг, які виражаються в доступності й дешевині покриття у вигляді кварцового піску, а також простоту введення в виливницю і його розподілу на внутрішній поверхні під дією відцентрових сил.

Протягом ряду десятиліть метод використання сипучого теплоізоляційного покриття на внутрішній поверхні виливниці при відцентровому литті був широко розповсюджений на ряді підприємств і зіграв свою позитивну роль. Однак, у зв'язку з розвитком машинобудування й широкого застосування ряду виробів зі спеціальними властивостями, наприклад прокатних валків, валків для харчової промисловості, труб для машинобудування й ін., де необхідна суворі рівномірність структурних складових і фізико-механічних властивостей по довжині й перетину виробу, а також чистота їх поверхні з низькими припусками на механічну обробку, сипучі покриття повинні були поступитися своїм місцем отверджувальним покриттям, що задовольняють усім перерахованим вище вимогам.

Тому в даній роботі питанню використання отверджувального теплоізоляційного покриття приділяється особлива увага.

Поява дефектів у виливку в зоні падіння струменя металу у форму сприяє також розповсюджений спосіб заливання металу в напрямку осі обертання виливниці.

Дослідження гідродинамічного стану рідкого потоку в обертовій формі свідчать про те, що при заливанні рідини в осьовому напрямку в обертovu форму відбувається гідравлічний удар («стрибок») [9]. Тому ділянка форми в місці падіння струменя металу є найнебезпечнішим з погляду розбризкування струменя й захвату пухирців повітря в потік металу.

У роботі [10] показано, що при осьовому витіканні струменя металу із заливального пристрою розмивання сипучої теплоізоляції в обертовій формі можна уникнути при відповідному куті нахилу струменя стосовно форми й величини гравітаційного коефіцієнта $K > 20$.

Однак зі збільшенням маси заготовок, коли використовується більш товстий шар сипучого покриття 0,004...0,006 м і підвищена швидкість заливання металу енергія удару струменя металу зростає й частки піщаного шару вимиваються більш інтенсивно, утворюючи кільцевий шар пригару.

Тому зміна способу заливання металу в обертову форму для зм'якшення впливу струменя на теплоізоляцію є одним з етапів дослідження даної роботи.

Поряд із цим виникає проблема використання тонкостінних водоохолоджуваних виливниць із товщиною стінки 35...40 мм, які використовуються при виготовленні біметалічних валків способом відцентрового лиття.

Така виливниця, інтенсивно охолоджувана водою, працює в режимі передавачі тепла від виливка в навколишнє середовище й зазнає значні термоциклічні навантаження в різні періоди технологічного процесу, що приводить до зниження її експлуатаційної стійкості.

Крім цього, у процесі формування біметалічних заготовок, близьких по розмірах і складу металу до мірошницьких валків, виникають значні напруження у виливках через високий перепад температур (400...500°C) між водоохолоджувальною тонкостінною виливницею і виливком [8], що приводить до появи тріщин у робочому й внутрішньому шарах валка.

У зв'язку із цим виникає завдання, пов'язане із застосуванням товстостінних виливниць, товщина стінки яких (0,12...0,15 м) порівнянна з товщиною стінки виливка. Така виливниця виконує вже роль акумулятора тепла, виділюваного виливком і може не охолоджуватися водою. [11]

Одним з розповсюджених дефектів при литті біметалічних чавунних валків є незварювання металу на границі двох сплавів і, як правило, причиною появи такого дефекту служить відсутність чітких уявлень про кінетику затвердіння металу робочого шару валка, і неможливість розрахунків і призначення оптимального температурно-часового режиму процесу заливання двох металів.

При надмірно великому інтервалі між закінченням затвердіння робочого шару й початком заливання другого металу, коли робочий шар повністю затвердів і встигнув остудитися нижче певної температури, спостерігається незварювання шарів.

А при короткому інтервалі, коли робочий шар ще не затвердів, при заливанні другого металу відбувається змішування двох шарів із проникненням карбідоутворюючих елементів у серцевину валка, у зв'язку із чим з'являються труднощі при розточенні отвору бочки при запресовуванні півосей.

У наведених роботах на основі результатів визначення тривалості затвердіння металу робочого шару валка даються рекомендації з поліпшення зварюваності робочого шару й серцевини прокатних валків, отриманих у тонкостінній водоохолоджувальній виливниці, покритої зсередини сипучим теплоізоляційним матеріалом.

Для забезпечення зварювання двох шарів металу (робочого шару із хромонікелевого чавуну й серцевини із сірого) необхідно забезпечити температуру в зоні зварювання рівну 1050...1100°C, тобто на 100...150°C нижче температури затвердіння легованого чавуну.

При цьому необхідно використання флюсу для запобігання утворення на внутрішній поверхні робочого шару плівки окислів, що утрудняє зварювання двох шарів металу.

Із цією метою пропонується флюс наступного складу[8]:

- | | |
|---|-----|
| - силікат натрію ($m\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$) | 25% |
| - окис кальцію (CaO) | 35% |
| - фтористий кальцій (CaF_2) | 25% |
| - бура ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) | 15% |

Температура плавлення флюсу становить 820°C .

Способи введення флюсу в виливницю, як правило, полягають у його засипанні на струмінь металу, що заливається, при подачі в заливальну чашу або наприкінці процесу заливання після виходу струменя металу із заливальної воронки.

Зазначені способи відрізняються необхідністю додаткового використання конструктивних елементів для введення флюсу й відсутністю їх надійності, що сприяє забрудненню металу неметалічними включеннями.

Особливістю виробництва двошарових мірошницьких валків є значна (в 1,8...2,1) різниця в діаметрах зовнішнього й внутрішнього шарів, тому дуже важлива рекомендація з визначення частоти обертання форми.

У більшості випадків автори для визначення частоти обертання форми, мають на увазі тонкостінні виливки (труби, втулки, гільзи) з відношенням зовнішнього й внутрішнього діаметрів у межах 1,10...1,15, як, наприклад, у формулі Константинова Л.С.:

$$n = \frac{5520}{\sqrt{\rho \cdot r}}, \quad (1.1)$$

де n - частота обертання форми, хв^{-1} ;

ρ - щільність сплаву, г/см^3 ;

r - внутрішній радіус вилівка, см ;

5520 – емпіричний числовий коефіцієнт.

Формула (1.1) виведена із припущення, що на вільній поверхні вилівка коефіцієнт гравітації для чавунних заготовок становить 47.

При виготовленні тонкостінних виливків ця формула дає позитивні результати, але при литті товстостінних заготовок якими є мелючі валки, її використання приводить до занижених значень гравітаційного коефіцієнта на внутрішній поверхні вилівка й, як наслідок, появи структурної неоднорідності.

Стосовно до лиття товстостінних заготовок у більшій мері підходить розрахункова формула Цветненко К.У. для визначення частоти обертання сталевих заготовок [12].

Однак при виготовленні біметалічних заготовок і ці рекомендації для визначення швидкості обертання форми не підходять, тому що не враховують умов заповнення двох металів, їх залучення в круговий рух і поздовжнє переміщення у формі, тобто особливостей гідродинамічного стану потоку, а також теплових умов, які, в остаточному підсумку, визначають властивості вилівка.

Аналіз технологічного процесу виготовлення двошарових біметалічних заготовок відцентровим способом показує, що для одержання мелючих валків з однорідною щільною структурою робочого шару, високим по якості зварюванням двох різнорідних металів робочого шару й серцевини з високої відбійністю робочого шару необхідні вирішення низки завдань, що дозволяють забезпечити:

- рівномірне тепловідведення від виливка в навколишнє середовище;
- міцне зварювання двох металів;
- плавне й швидке введення металу в обертову форму;
- заміна сипучого покриття на отверджувальне;
- удосконалення ряду елементів конструкції відцентрової машини, що сприяють ефективному використанню процесу виливка валків.

1.4 Вплив хімічного складу чавуну на якість робочого шару валків

Основною вимогою до якості валків, як показали умови їх експлуатації, є висока зносостійкість робочого шару, яка багато в чому обумовлена високими показниками твердості.

Однак, у зв'язку з тим, що на робочій поверхні валків нарізають рифлі, до металу пред'являються вимоги достатньої в'язкості для запобігання викрашування рифлів при експлуатації валків.

Разом з тим, як показують результати вивчення експлуатації мелючих валків, рифлена поверхня, застосовувана на первинних системах млива, зазнає підвищені на 20...30% навантаження у порівнянні з валками, що мають мікрошорсткувату поверхню, які використовуються на кінцевих стадіях розмелу.

Тому фізико-механічні властивості робочого шару й структура металу, обумовлені багато в чому його хімічним складом, повинні бути різні, відповідно до різних службових вимог.

Незважаючи на цю обставину, практика виробництва мелючих валків показує, що валки, які виготовляються по одному хімічному складу, що встоявся, експлуатуються як на первинному мливі, так і на кінцевій стадії млива - на розмелених системах.

Так, наприклад, ДСТУ 2789-59 регламентує хімічний склад робочого шару валків для нелегованого (білого) і легovanого чавунів незалежно від особливостей їх експлуатації (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 - Хімічний склад робочого шару валків

Тип робочого шару	Вміст елементів, має. %						
	Вуглець	Кремній	Марганець	Фосфор	Сірка	Хром	Нікель
Нелегований	3,2-3,7	0,4-0,7	0,2-0,8	<0,5	<0,14	<0,25	<0,25
Легований	3,4-3,7	0,4-0,8	0,2-0,8	<0,5	<0,14	<0,35	0,5-0,8

Нелегований чавун як робочий шар валка використовується переважно при стаціонарному литті валків.

Утворення білого чавуну пов'язане з високою швидкістю затвердіння його поверхневих шарів, що стикаються (через шар фарби) з масивною металевою виливницею і утворенням перлитно-цементитної структури.

У міру зниження швидкості затвердіння металу в центральних зонах виливка вуглець виділяється у вигляді графіту, при цьому, чим далі від зовнішньої поверхні, тим його більше.

Використання білого чавуну як вибіленого шару на поверхні бочки валка виявилось малоефективним при їхній експлуатації.

Так борошномельні валки, що відливаються в стаціонарні форми із глибиною вибіленого шару до 0,01 м, після однієї-двох переточувань настільки втрачали зносостійкість через наростання кількості графітових включень по глибині шару, що подальше їхнє використання ставало недоцільним.

При цьому зносостійкість валків виявилось досить низкою й становила близько 50 діб до першого переточування рифлів [1].

Тому подальші роботи були зосереджені на використанні валків з робочим шаром з легovanого чавуну, що дозволило підвищити їхню стійкість до 4 місяців, хоча й цей строк вважається незадовільним, тому що не вписується в річний період міжремонтних робіт, установлений на великих комбінатах.

Хімічний склад легovanого чавуну для робочого шару валків був трохи скоректований у порівнянні з діючими нормативами за ДСТУ 2789-59 (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 - Хімічний склад легovanого чавуну для робочого слою валків

Номер технічних умов	Вміст елементів, %						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
ТУ14-2-241-79	3,4-3,7	0,4-1,0	0,3-0,8	<0,5	<0,16	<0,4	0,5-1,0

Твердість металу такого робочого шару з легovanого чавуну, що має склад, наведений у таблиці 1.2, повинна відповідати 62...72 HSD на відстані 0,01 м від поверхні бочки валка, однак ця умова на практиці часто порушується.

Наявність хрому й нікелю в легovanому чавуні обумовлена, поряд з одержанням заданої твердості, необхідністю підвищення міцності й в'язкості металу робочого шару валків, на поверхні яких нарізаються рифлі.

Хром, будучи карбідоутворюючим елементом, збільшує глибину вибіленого шару й підвищує його твердість.

У роботі [4] показано, що хром сприяє збільшенню перехідної зони валків, що може позначитися на появі карбідів у серцевині бочки валків і

утрудненні процесу розточення отворів з торцевих її поверхонь для запресовування півосей.

Нікель сприяє здрібнюванню перліту, створенню більш рівномірної структури чавуну й усуненню мікропористості виливків у вибіленому шарі, легуючи феррит і подрібнюючи включення графіту, і в такий спосіб сприяє підвищенню їх міцності й в'язкості.

Разом з тим нікель є графітизуючим елементом, тому підвищення його вмісту, за даними роботи, сприяє зменшенню чистоти металу в робочому шарі валка.

Таким чином, легування чавуну робочого шару мелющих валків хромом і нікелем забезпечує одержання необхідної твердості, знижує передчасний вихід з ладу через викрашування рифлів, а з іншої сторони забезпечує одержання чистого по графіту вибіленого шару й короткої перехідної зони.

У зв'язку з вищевикладеним, удосконалювання хімічного складу матеріалів валків є актуальним завданням і підвищення якості матеріалу робочого шару повинне здійснюватися з урахуванням особливостей їх експлуатації.

Висновки до розділу

1. Використання традиційного методу виготовлення мелющих валків «промиванням» в умовах стаціонарного лиття не задовольняє зростим вимогам харчового машинобудування по якісних і економічних характеристиках.
2. Перспективним є напрямок у виробництві біметалічних мелющих валків способом відцентрового лиття з горизонтальною віссю обертання шляхом послідовного заливання металу робочого шару й серцевини, що дозволяє гарантувати їхні експлуатаційні властивості на рівні кращих світових показників.

РОЗДІЛ II ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ БІМЕТАЛІЧНИХ ЗАГОТОВОК ВАЛКІВ У ПОЛІ ДІЇ ВІДЦЕНТРОВИХ СИЛ

2.1 Дослідження гідродинамічного стану рідини в обертовій формі

Характер стану рідкого металу в процесі заливання в обертову форму й після його закінчення багато в чому визначає властивості майбутнього виливка.

У зв'язку з тим, що заготовки бочок валків відносяться до розряду довгомірних і товстостінних, то для розробки технологічного процесу їх виробництва необхідне уявлення про особливості руху потоку в обертовій формі в поздовжньому й круговому напрямках, а також про режим його течії (турбулентній або ламінарній).

Недостатня швидкість поздовжнього переміщення рідкого потоку може стати причиною появи спаїв і неслитин на поверхні виливка, а надмірна тривалість вирівнювання кутових швидкостей вільної поверхні рідини й форми може стати причиною утворення «полосчатості» і появи неоднорідної грубозернистої структури.

При турбулентному режимі течії потоку, на відміну від ламінарного, з'являється сприятлива можливість регулювання кількістю неметалічних включень у сплаві, завдяки їхньому інтенсивному спливанню на внутрішню поверхню виливка, що видаляється при механічній обробці.

Вивчення гідродинамічного стану рідини в поздовжньому напрямку проводилося в обертовій формі з відношенням довжини до діаметра $\frac{L}{D} \gg 1$

Дослідження проводилися на виливниці з горизонтальною віссю обертання діаметром 0,56 м і довжиною 3,5 м.

У якості рідини застосовували воду, підфарбовану чорнилом з температурою 18°C.

Дослідження поздовжньої течії рідини у формі показало (табл. 2.1), що існують три характерні стадії цього процесу залежно від частоти обертання форми (рис. 2.1).

Таблиця 2.1 — Вплив гравітаційного коефіцієнта на характер течії рідини уздовж виливниці і її середню швидкість

Гравітаційний коефіцієнт	Тривалість течії, сек.	Середня швидкість поздовжньої течії, м/с	Критерій Рейнольдса	Характер течії
0	9,8	1,10	$2,00 \cdot 10^4$	струмковий (рідина не підхоплюється формою)
1	10,8	0,80	$1,40 \cdot 10^4$	
2	13,6	0,63	$1,10 \cdot 10^4$	
3	19,5	0,44	$0,77 \cdot 10^4$	
4	43,0	0,20	$0,36 \cdot 10^4$	
5	41,0	0,21	$0,37 \cdot 10^4$	нестійкий

6	39,0	0,22	$0,38 \cdot 10^4$	(наявність хвиль і «дощування» рідини)
7	35,8	0,24	$0,42 \cdot 10^4$	
9	34,4	0,25	$0,44 \cdot 10^4$	
10	28,7	0,30	$0,52 \cdot 10^4$	
13	26,1	0,33	$0,58 \cdot 10^4$	кільцева (суцільна течія потіку)
20	20,3	0,42	$0,74 \cdot 10^4$	
30	17,9	0,43	$0,75 \cdot 10^4$	
40	14,6	0,59	$1,04 \cdot 10^4$	
50	13,0	0,66	$1,16 \cdot 10^4$	
56	12,8	0,67	$1,18 \cdot 10^4$	
60	12,3	0,71	$1,25 \cdot 10^4$	
65	12,0	0,72	$1,27 \cdot 10^4$	
75	11,6	0,74	$1,30 \cdot 10^4$	

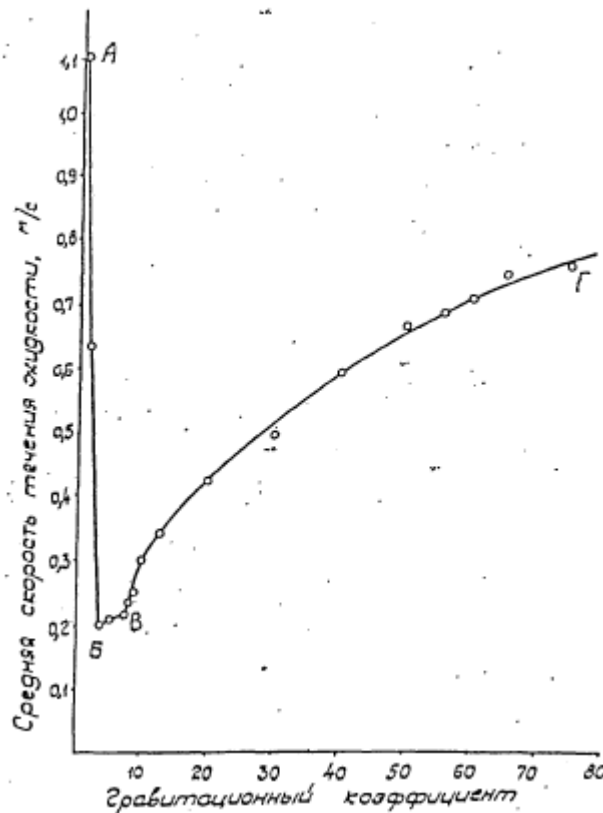


Рисунок 2.1 -Вплив гравітаційного коефіцієнта на поздовжню швидкість потоку

АБ- рідина, не підхоплена формою

БВ - нестійкий стан потоку ВГ - стійкий кільцевий потік

Перша стадія (крива АБ на рис. 2.1) відноситься до низьких значень гравітаційного коефіцієнта $\left(\frac{\omega^2 R}{g} < 5\right)$,

Коли рідина не підхоплюється формою, а поздовжня швидкість її знижується з підвищенням числа обертів. Рідина на цій стадії рухається у вигляді струмкового потоку.

Друга стадія (крива БВ на рис. 2.1) характеризується нестійкою поведінкою з появою так званого стану «дощування» у межах значень

$$\frac{\omega^2 R}{g} = 5 \dots 10.$$

гравітаційного коефіцієнта

Третя стадія (крива ВГ, рис. 2.1) при гравітаційному коефіцієнті більш 10 характеризується утворенням стійкого суцільного кільцевого потоку, середня швидкість течії якого в поздовжньому напрямку форми підвищується з підвищенням гравітаційного коефіцієнта.

За даними, наведеним у табл. 2.1, залежність величини поздовжньої швидкості потоку від гравітаційного коефіцієнта описується формулою:

$$V_{\text{прод.}} = 0,09 \sqrt{K} \text{ м/сек}$$

У такий спосіб експериментальні дані свідчать про збільшення поздовжнього переміщення металу у формі з підвищенням швидкості її обертання, всупереч існуючій думці про її зниження.

Дані таблиці 2.1 свідчать також про те, що режим течії рідкого потоку у формі характеризується як турбулентний ($Re > 4000$), що сприяє ефективному спливанню на внутрішню поверхню виливка неметалічних включень і його очищенню від шкідливих домішок.

Для визначення впливу частоти обертання форми на поведінку кругового потоку рідини з різною товщиною шару, вивчали стан нерозривності потоку («дощування»), а також тривалість вирівнювання кутових швидкостей рідини й форми.

Вивчення особливостей поведінки кругового потоку рідини в обертовій формі вивчали в виливниках з відношенням довжини до діаметра, близьких до 1. У якості рідини застосовували воду, підігріту до 90°C , при якій її в'язкість ставала такою ж як у рідкого чавуну [13]. Критичну частоту обертання визначали шляхом поступового зниження числа обертів форми із залитої в неї рідиною, розкрученої до високих обертів, з наступною фіксацією перших крапель падаючої рідини з її внутрішньої поверхні.

Результати дослідів по визначенню моменту появи ефекту «дощування» при критичній частоті обертання форми для різних по товщині шарів рідини представлено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Критична частота обертання форми при «дощуванні» рідини з різною товщиною шару

Номер з/п	Товщина шару рідини, м	Обсяг рідини, м^3	Критична частота обертання	
			об/хв	$\frac{\omega^2 R}{g} = 5 \dots 10.$
1	0,018	0,002	400	25
2	0,026	0,003	500	39
3	0,037	0,004	560	49
4	0,050	0,005	620	60

Як видно з таблиці зі збільшенням товщини шару рідини критична частота обертання форми, при якій настає «дощування», зростає, тобто

для втримання в обертовій формі шару рідини з більшою товщиною потрібні більш високі значення відцентрової сили.

Результати досліджень по вирівнюванню кутових швидкостей вільної поверхні рідини й форми показали, що при поздовжньому заливанні рідини у форму зі збільшенням гравітаційного коефіцієнта з 55 до 175 тривалість вирівнювання скорочується в 1,5...1, 8 рази, а при збільшенні товщини шару з 0,026 до 0,050 м зростає в 1,6...1, 9 рази (табл. 2.3 і рис. 2.2).

Таблиця 2.3 -Тривалість вирівнювання кутових швидкостей вільної поверхні рідини й форми залежно від відцентрових сил при поздовжньому й бічному заливанні

Гравітаційний коефіцієнт	Маса рідини, кг	Товщина шару рідини, м	Тривалість заливання, с	Швидкість заливання, кг/с	Тривалість вирівнювання вільної поверхні рідини й форми, с	
					поздовжня	бічна
55	3,0	0,026	15,0	0,200	42	34
	4,0	0,037	20,0	0,200	58	46
	5,0	0,050	25,5	0,196	80	64
95	3,0	0,026	15,0	0,200	35	28
	4,0	0,037	20,0	0,200	43	34
	5,0	0,050	25,0	0,200	60	47
140	3,0	0,026	15,0	0,200	30	25
	4,0	0,037	20,5	0,195	39	30
	5,0	0,050	25,0	0,200	49	40
175	3,0	0,026	15,5	0,193	28	24
	4,0	0,037	20,0	0,200	35	31
	5,0	0,050	25,0	0,200	45	38

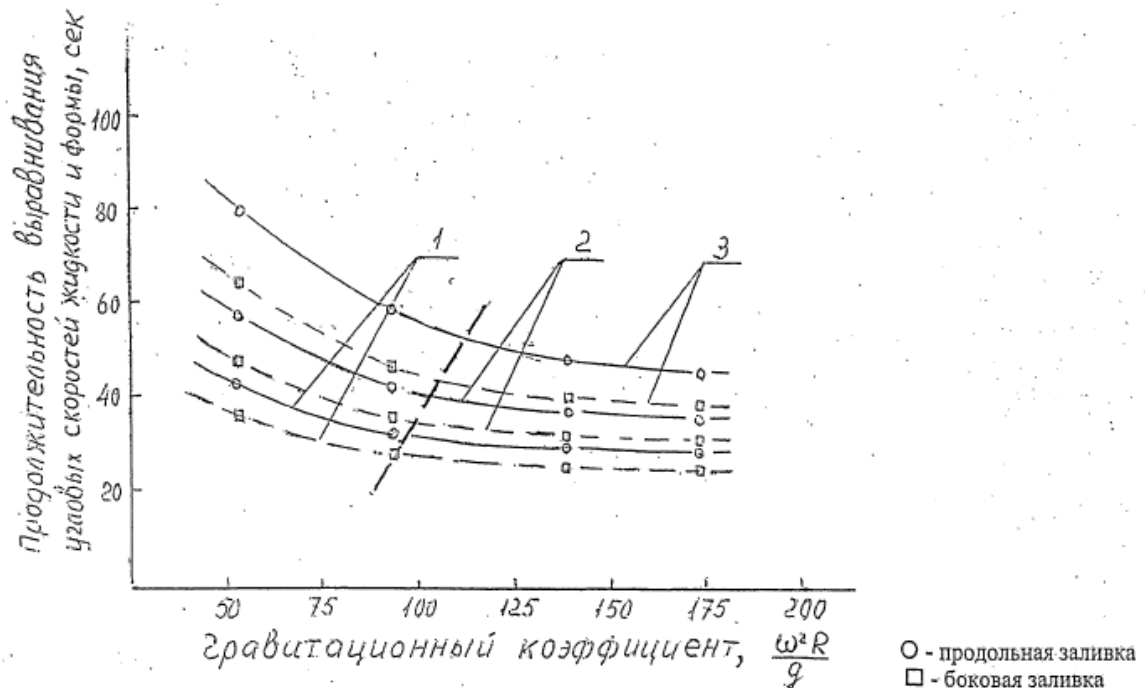


Рис. 2.2. Вплив гравітаційного коефіцієнта на тривалість вирівнювання кутових швидкостей ' рідини й форми (1 - 0,026 м, 2 - 0,037 м, 3 - 0,05 м)

Порівняльні дослідження, проведені при бічній подачі рідини у форму, показали, що при всіх інших рівних умовах тривалість вирівнювання кутових швидкостей вільної поверхні рідини й форми на 20...25% менше, чим при поздовжньому заливанні (табл. 2.3 і рис. 2.2).

Перевага бічної подачі металу в порівнянні з поздовжньою полягає й у запобіганні розбризкування струменя металу при взаємодії з формою, руйнування теплоізоляції в зоні її падіння, появи пригару й нерівномірної товщини вибіленого шару (рис. 2.3).

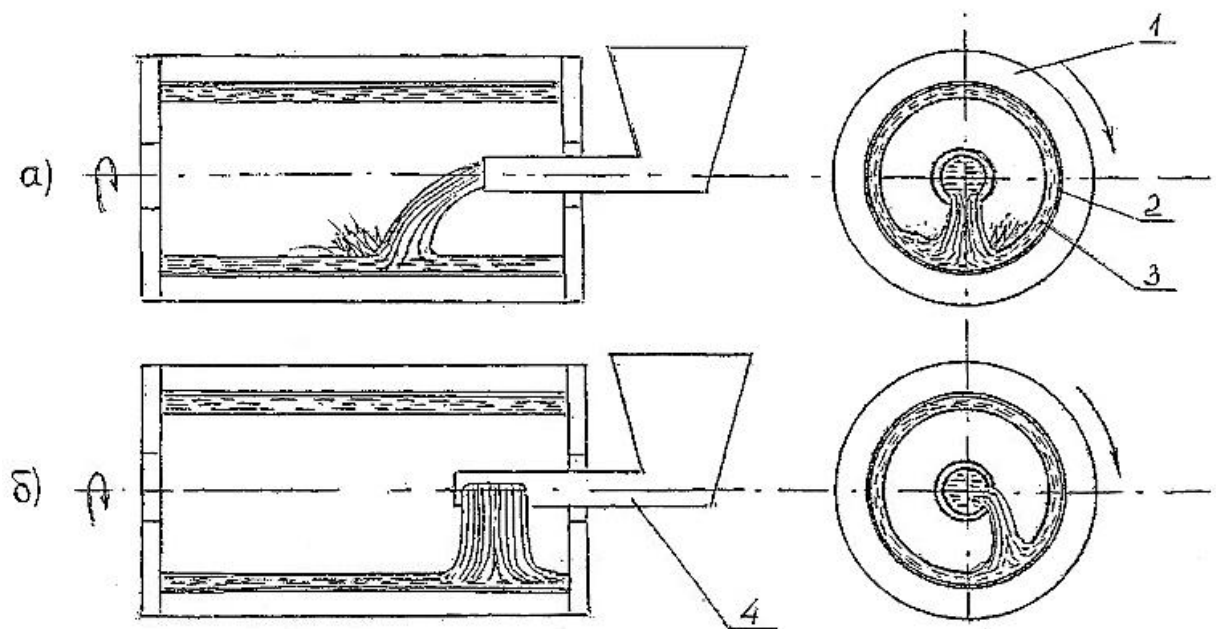


Рисунок 2.3 - Схема заливання металу в обертovu форму

1 - виливниця; 2 - покриття; 3 - рідкий метал; 4 - литник а - поздовжній злив, б - бічний злив

Дослідження показали також, що при підвищенні гравітаційного коефіцієнта понад 100... 110 вирівнювання кутових швидкостей вільної поверхні рідини з товщиною шару 0,026...0,050 м і форми стає менш помітним (штрихова лінія на рис. 2.2).

У зв'язку із цим доцільно частоту обертання форми при литті заготовок визначати виходячи із зазначених значень гравітаційного коефіцієнта стосовно до конкретної товщини їх стінки.

За результатами досліджень, представлених у таблиці 2.2, складений графік змінності кривих (рис. 2.4), що відбивають рівень гравітаційного коефіцієнта при «дощуванні» рідини в обертovій формі (крива 1) і при максимально швидкому наближенні потоку до швидкості обертання форми (крива 2).

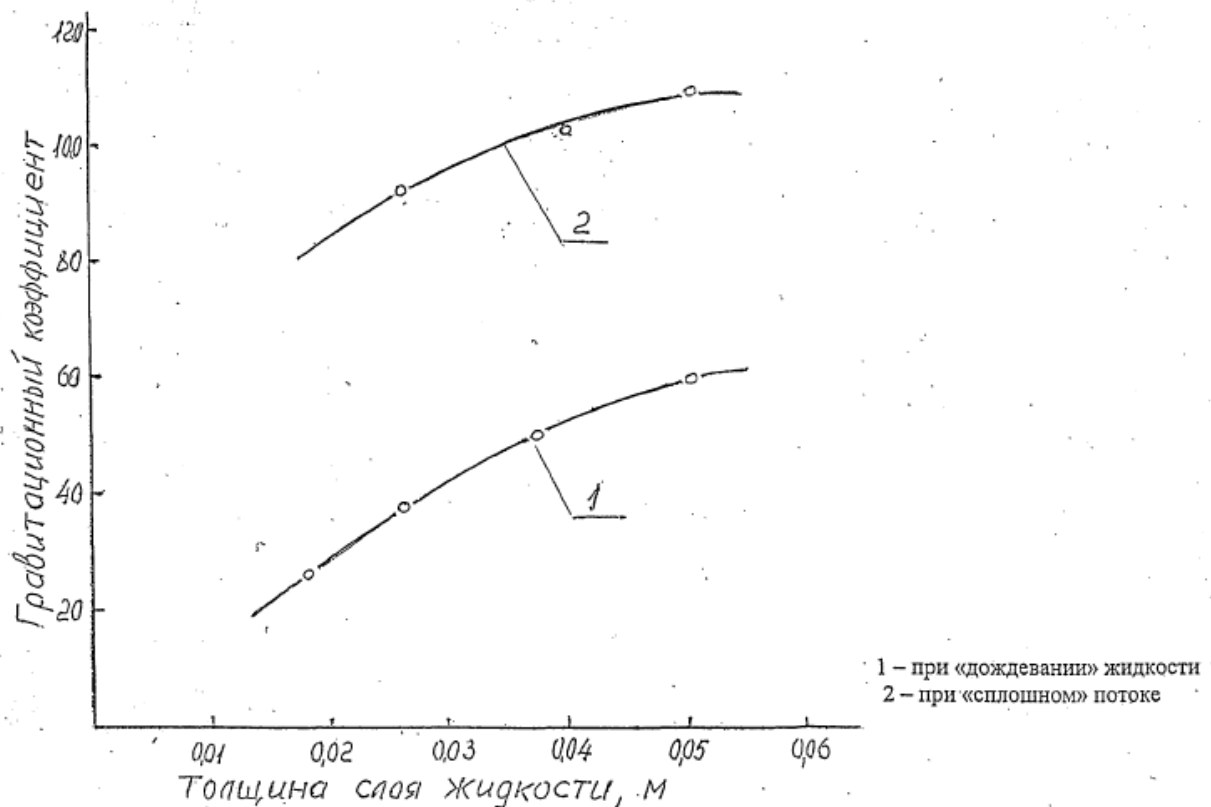


Рисунок 2.4 - Вплив гравітаційного коефіцієнта на стан потоку рідини з різною товщиною шару

Із цих даних випливає, що для створення суцільного в перетині потоку шару рідини необхідно величину гравітаційного коефіцієнта збільшати приблизно вдвічі в порівнянні зі станом рідкого потоку при «дощуванні».

Таким чином, результати дослідження гідродинамічного стану рідини дозволили виявити найбільш важливі особливості кругового й поздовжнього переміщення рідини в обертовій формі залежно від величини гравітаційного коефіцієнта, товщини шару потоку рідини й способу подачі металу у форму.

2.2 Дослідження особливостей процесу затвердіння виливка в масивній виливниці

Значна частина властивостей виливка формується в процесі затвердіння металу, тобто переходу його з рідкого стану у твердий.

На процес затвердіння виливка впливають безліч факторів, таких як властивості металу й форми, зазор між ними, режим течії металу, інтенсивність охолодження й ін. Урахування цих факторів настільки утрудняє загальний розв'язок по оптимізації процесу затвердіння, що більшість авторів прибігає до ряду спрощень, наприклад, виділенню умов лиття, коли нехтують другорядними факторами, залишаючи вирішальні з них.

У нашому випадку найбільш загальними ознаками лиття є відносні геометричні характеристики системи « виливка-зазор-форма». Їхній вибір обумовлений особливостями акумулюючої здатності окремих елементів цієї системи.

Акумуляюча здатність визначає ту кількість теплоти, яку здобуде тіло (або втратить) при зміні його температури й залежить від маси тіла і його теплоємності.

У роботі [11] пропонується при оцінці властивостей окремих елементів системи замінити точне значення акумулюючої властивості, виливка, зазору й форми їх масою, обсягом або іншими геометричними характеристиками.

У якості визначального розміру виділимо товщину циліндричного виливка (рис. 2.5):

$$X_x = R - r$$

де R - зовнішній радіус виливка, м;

r - внутрішній радіус виливка, м.

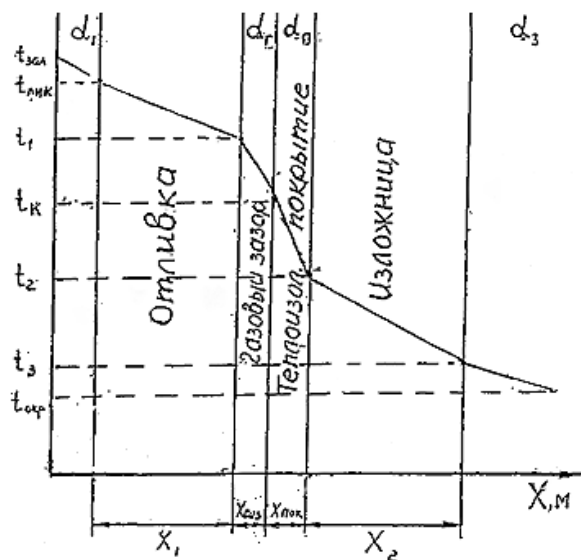


Рисунок 2.5 - Схема розподілу температур у системі «виливок-форма»

Товщину зазорів позначимо: $X_{\text{пок.}}$ - товщина покриття, м; $X_{\text{газ.}}$ - товщина газового прошарку.

Товщина стінки виливниці X_2 , $R_{\text{зовн.вил.}}$ - зовнішній радіус виливниці, м; $r_{\text{внутр.вил.}}$ - внутрішній радіус виливниці, м.

$$X_2 = R_{\text{зовн.вил.}} - r_{\text{внутр.вил.}}$$

У нашому випадку використовується масивний кокіль ($X_2 = 0,14$ м, 1161,3 кг) акумулююча здатність якого порівнянна зі акумулюючою здатністю виливка.

При цьому частина тепла, що виділилося, при затвердінні виливка буде акумульована виливницею, а частина загублена в навколишнє середовище.

При розгляді даного завдання вноситься допущення про нехтування кількістю теплоти, акумульованої зазором між виливком і формою, через її незначну величину, при обов'язковому ураженні акумулюючої здатності виливниці й втратами тепла в навколишнє середовище.

Особливість теплової взаємодії системи «виливок-форма» з урахуванням переважаючого значення акумулюючої здатності виливка й виливниці полягає в тому, що навколишнім середовищем у цьому випадку для

виливка є зазор, тобто виливок віддає тепло в зазор, як у навколишнє середовище, а форма прогрівається теплом від зазору, що відіграє роль навколишнього середовища.

У цьому випадку процес затвердіння вилівка й прогріву виливниці можна розглядати як два незалежні процеси.

Зв'язок між температурними полями вилівка й виливниці в цьому випадку може здійснюватися через середню калориметричну температуру системи t_k (рис. 2.6).[11]

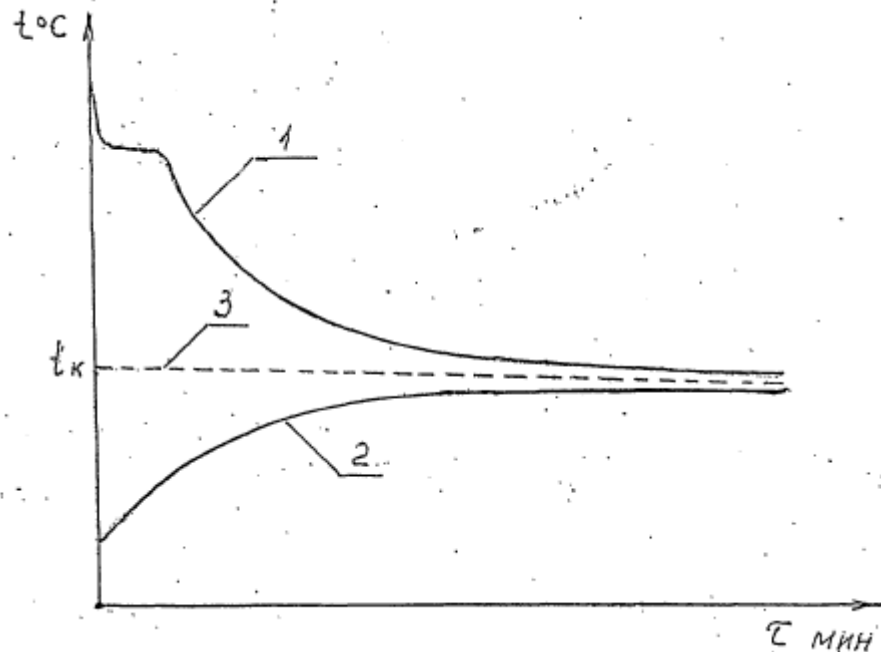


Рисунок 2.6 - Криві охолодження вилівка - 1 і масивної виливниці - 2, 3 - середня калориметрична температура системи

Значення середньої калориметричної температури (t_k) визначається з рівняння теплового балансу, у якому прирівнюється кількість теплоти, втраченої виливком при її охолодженні від температури заливання до температури t_k і кількістю теплоти, придбаної виливницею при її нагріванні від початкової температури до температури t_k :

$$t_k = \frac{t_{\text{зал}} + \frac{G_1}{C_1} + m t_2}{1 + m} ^\circ\text{C}$$

$$m = \frac{G_2 \cdot C_2}{G_1 \cdot C_1} .$$

де G_1 - маса вилівка, н; G_2 — маса виливниці, н;

C_1 - питома теплоємність металу вилівка, Дж/кг- $^\circ\text{C}$;

C_2 - питома теплоємність металу виливниці, Дж/кг- $^\circ\text{C}$

t_2 - температура зовнішньої поверхні виливниці;

У реальних умовах лиття зовнішня поверхня виливниці охолоджується водою (або повітрям), втрачаючи із зовнішньої поверхні кількість тепла $Q_{\text{окр}}$.

Тоді

$$t_k = \frac{t_{\text{зал.}} + \frac{P_1}{C_1} + m t_{\text{нагр.}} - \frac{Q_{\text{опр.}}}{G_1 \cdot C_1}}{1 + m} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Зазначена температура використовується для оцінки затвердіння виливка й прогріву форми.

Для повної оцінки теплового стану виливка виливниці необхідне знання коефіцієнта тепловіддачі в зазорі, який перебуває з урахуванням термічного опору зазору між виливком і виливницею.

Представлене вище вираження по визначенню середньої калоритмічної температури дозволяє оцінити тепловий стан товстостінного виливка, який у нашому випадку є бочкою мелющего валка, затвердіння якої здійснюється в масивній виливниці, акумулююча здатність якої є переважаючою в порівнянні з тепловіддачею в навколишнє середовище.

Зазначена здатність дозволяє з великою вірогідністю оцінити тепловий стан виливка з урахуванням особливостей теплообміну в зазорі між виливком і виливницею або термічного опору зазору, а також коефіцієнтів тепловіддачі на зовнішній і внутрішній поверхні виливниці.

2.3. Визначення кінетики затвердіння робочого шару валків

Оцінка тривалості й швидкості затвердіння робочого шару валків у масивній виливниці необхідна для визначення часового інтервалу між закінченням затвердіння робочого шару металу й початком заливання металу внутрішнього шару валка, а також її впливу на фізико-механічні властивості металу.

Для розрахунків тривалості затвердіння бочки валка в полі дії відцентрових сил приймемо наступні значення геометричних і теплофізичних параметрів [14].

Розміри й маса:

зовнішній діаметр заготовки	0,26 м
внутрішній діаметр робочого шару	0,18 м
внутрішній діаметр заготовки	0,08 м
довжина заготовки	1,2 м
маса металу робочого шару	239,1 кг
маса металу заготовки	421,4 кг
поверхня охолодження	1,1 м ²
зовнішній діаметр виливниці	0,504 м
внутрішній діаметр виливниці	0,264 м
маса виливниці	1161,3 кг
товщина теплоізоляційного покриття	0,002 м

Термофізичні коефіцієнти:

питома вага чавуну (рідкого)	6860 кг/м ³
питома теплоємність рідкого чавуну	837,4 Дж/кг·°C

питома теплоємність матеріалу виливка	753,6 Дж/кг·°C
питома теплоємність матеріалу виливниці	481,5 Дж/кг·°C
коефіцієнт теплопровідності виливка	37,21 Вт/м·°C
коефіцієнт теплопровідності покриття	0,7234 Вт/м·°C
питома теплота кристалізації	267929 Дж/кг.

Температури:

температура ліквідус	1270°C
температура солідус	1130°C
початкова температура виливниці	180°C
температура заливання чавуну	1350°C

Робочий шар мелючого валка із хромонікелевого чавуну з хімічним складом: C = 3,2...3,4%, Si = 0,35...0,45%, Mn = 0,5...0,6%, S < 0,10%, P < 0,15%, Cr = 0,3...0,4%, Ni = 0,6...0,8%.

Внутрішня поверхня виливниці покривається теплоізоляційною сумішшю, що складається із кварцового піску марки K16 у кількості 95% і смоли СФП-011Л у кількості 5%.

Тривалість затвердіння робочого шару бочки валка (τ) складається із трьох періодів:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 \text{ сек.}$$

де τ₁ - період заливання металу, с;

τ₂ - період відводу теплоти перегріву, с;

τ₃ - період затвердіння металу, с.

Перша стадія формування визначається тривалістю течії металу, яка із практичних даних відповідає часу τ₁ = 0,15 с.

У другій стадії, завдяки природній конвекції, температура металу по перетину рідкого металу вирівнюється при незначній інтенсивності охолодження. У цьому випадку величину газового зазору можна опустити.

Тривалість відводу теплоти перегріву τ₂ визначається за формулою [11]:

$$\tau_2 = \frac{G_1 \cdot C (t_{\text{зл}} - t_{\text{лик}})}{9,8 F_1 \alpha_1 (t_{\text{зл}} - t_r)} \text{ сек} = 44 \text{ с}$$

Третя стадія охолодження виливка (затвердіння) характеризується утворенням газового прошарку між нею й формою.

У процесі охолодження виливка, величина газового шару змінюється від нуля до знайденого значення 0,0008 м. Тому середнє значення за процес може бути приблизно 0,0004 м. При цій величині зазору τ₃ = 255

Таким чином, загальна тривалість затвердіння робочого шару бочки валка складе 314 сек (5,23 хв).

Аналіз отриманих результатів свідчить про близьку збіжність розрахункових і експериментальних даних, отриманих при використанні введення свинцю в обертову форму, що дозволяє з високим ступенем

надійності користуватися розрахунковими методами для визначення часових параметрів інтервалу між заливаннями двох металів.

2.4 Вплив швидкості затвердіння на властивості металу робочого шару валків

Вплив швидкості затвердіння на якість чавунних виливків є одним з вирішальних факторів технологічного процесу.

Для робочого шару валка найбільш характерним є зміна його структури й твердості під впливом різної швидкості затвердіння металу, яка для масивних виливниць в основному залежить від товщини шару покриття.

Дослідження проводилися на трьох виливках, отриманих при однакових температурах заливання металу з товщиною шару покриття 0,001, 0,002 і 0,0035 м.

Вплив товщини покриття й швидкості затвердіння виливка на твердість металу, глибину вибіленого шару і його структурні характеристики представлено в таблиці 2.4 і на рис. 2.7. Твердість і характеристики мікроструктури визначалися на відстані 0,005 м від поверхні виливка.

Величина середньої швидкості за розрахунковими і експериментальними даними становить 10,52, 7,65 і 5,88 мм/хв відповідно при товщині шару теплоізоляційного покриття 0,001, 0,002 і 0,0035 м.

Таблиця 2.4 — Вплив швидкості затвердіння на твердість і структуру металу

Товщина шару покриття, м	Середня швидкість затвердіння, мм/хв	Глибина вибіленого шару, м	Твердість, HSD	Характеристика мікроструктури
0,001	10,52	0,030	73, 71, 74	В/бейнит, н/бейнит, троостит, цементит 47%, зерно дрібне
0,002	7,65	0,025	70, 68, 69	В/бейнит, н/бейнит, троостит, цементит 40%, зерно дрібне
0,0035	5,88	0,012	64, 62, 63	В/бейнит, троостит, цементит 20%, зерно велике

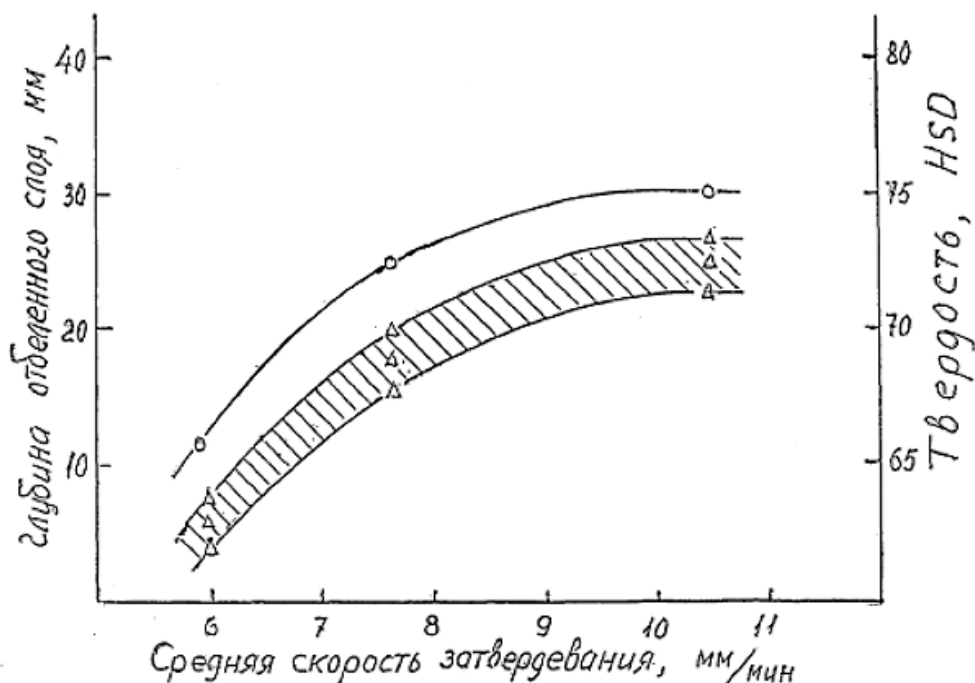


Рисунок 2.7 - Вплив швидкості затвердіння на глибину вибіленого шару й твердість металу .

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що зі зниженням швидкості затвердіння падає твердість робочого шару, зменшується глибина вибіленого шару й погіршуються характеристики мікроструктури металу.

При зменшенні швидкості затвердіння структура металевої матриці помітно грубіє. Включення цементиту й перліту стають крупніше. При цьому загальна кількість цементиту зменшується: так, якщо при товщині покриття 0,001 і 0,002 м, кількість вільного цементиту становить 47 і 40% відповідно, при товщині шару покриття 0,0035 м - 20%.

З підвищенням середньої швидкості затвердіння металу робочого шару валка величина твердості, при товщині шару в 0,002 м, приймає значення, що задовольняють технічним умовам (68...71 HSD). При значеннях середньої швидкості, відповідній до товщини шару 0,001 м, твердість металу наближається до верхніх значень технічних умов, а при товщині шару 0,0035 м - до нижніх, тому найбільш прийнятної в плані стабільного одержання потрібної твердості є товщина шару 0,002 м.

Для задоволення необхідної твердості й глибини вибіленого шару робочого шару валка найбільш прийнятною є швидкість затвердіння, відповідна до товщини шару покриття 0,002 м, тобто 7,65 мм/хв.

Виводи по розділу

1. Установлено, що течія рідкого металу в обертовій формі має турбулентний характер, а параметри потоку залежать від частоти обертання форми й лінійної швидкості наростання товщини його шару.

2. Показано, що на структуру виливка впливає тривалість придбання металом частоти обертання, рівній частоті обертання форми. Чим триваліше цей процес, тим грубіше мікро- і макроструктура чавуну, тим більше

ймовірність утворення дефектів на стику металу робочого шару й серцевини валка.

3. Установлено, що при бічному zalиванні вирівнювання кутових швидкостей потоку з товщиною шару 0,026...0,050 м і форми скорочується на 20...25% у порівнянні з поздовжнім zalиванням.

4. Експериментально й розрахунковим методом визначена швидкість затвердіння робочого шару мелющих валків із хромонікелевого чавуну в умовах тепловідведення через масивну виливницю, що повністю акумулює тепло виливка.

5. Показаний вплив товщини теплоізоляційного покриття на внутрішній поверхні виливниці й швидкості затвердіння металу на його твердість, глибину вибіленого шару й структурні характеристики чавуну.

РОЗДІЛ III ДОСЛІДЖЕННЯ Й РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ, БІМЕТАЛІЧНИХ МЕЛЮЩИХ ВАЛКІВ

3.1 Дослідження й вибір параметрів форми для лиття мелющих валків

Обертова форма, у якій відбувається заливання й розподіл металу, його затвердіння й формування основних властивостей заготовки, є визначальною ланкою технологічного процесу одержання двошарових заготовок.

Форма складається з виливниці із кришками й теплоізоляційного покриття на її внутрішній поверхні й функціонально пов'язана із заливальним пристроєм, який і визначає видаткові й термочасові характеристики розплаву, що вводиться в неї.

Від стану кожного з елементів форми, їх теплофізичних і геометричних характеристик залежить характер розподілу металу, інтенсивність його охолодження й, в остаточному підсумку, основні властивості виробу.

Тому вибору матеріалу й геометричних розмірів форми в роботі надається першорядне значення.

Як показано в розділі 2, теплообмін між виливком і масивною виливницею принципово відрізняється від теплообміну при тонкостінній виливниці, що відіграє роль передавача тепла від виливка в навколишнє середовище, а при масивній виливниці вона відіграє роль акумулятора наданого виливком тепла.

Тому з урахуванням порівнянності товщини стінки мелющих валків у межах 0,09...0,11 м з товщиною стінки виливниці для останніх вона становить 0,10...0,13 м.

Довжина виливниці збільшується в порівнянні з довжиною бочки валка на 20% у зв'язку з необхідністю вирізки темплету товщиною $\sim 0,015$ м у поперечному перерізі бочки для визначення твердості й структури металу, а також видалення дефектного металу зі структурою торцевого ефекту.

Таким чином, довжина виливниць становить $1,2 l$, де l - довжина бочки валка.

У якості матеріалу виливниць рекомендується сталь марки 35Л, піддана термообробці по режиму гомогенізуючого обжигу. Експлуатаційна стійкість сталевих виливниць досягає 260...290 наливів.

3.2 Оптимізація складу й способу нанесення теплоізоляційного покриття на внутрішню поверхню виливниці

Використання широко застосовуваного на практиці методу покриття внутрішньої поверхні виливниці сипучими теплоізоляційними покриттями у вигляді кварцового піску, поряд з перевагами - простота введення в обертову форму і його розподілу в ній, має ряд суттєвих недоліків, основним з яких є наявність пригару на поверхні виливка, засмічення піском матеріалу виливків

і поява нерівностей на їхній поверхні, що негативно позначається на якості заготовок.

Тому в роботі розглянута можливість використання як теплоізоляційного покриття тих же сипучих матеріалів (кварцовий пісок), але зі сполучними добавками, наприклад пульвербакелиту, що представляє собою суміш розмеленої смоли з уротропіном, яка при нагріванні перетворюється в резольну швидкоотвердіючу смолу.

Необхідна для спікання пульвербакелиту температура виливниці становить 200...220°C и забезпечується за рахунок тепла раніше відливої заготовки валка, а для початкової плавки за рахунок підігріву виливниці в термопечі.

Для визначення необхідної товщини твердіючого покриття на внутрішній поверхні виливниці виходили з умов, що забезпечують одержання виливків необхідної твердості й структури, а також без ливарних дефектів, таких як тріщини, спаї і неслитини.

Для виконання зазначених умов однією з основних вимог до покриття є забезпечення можливості розподілу під час заливання металу в обертівій формі без суттєвих теплових втрат, тобто покриття повинне мати такий термічний опір, при якому тривалість відводу теплоти перегріву була б більше, ніж тривалість заливання металу робочого шару валка.

Результати розрахунків показали, що товщина теплоізоляційного шару повинна знаходитися в межах 0,0015...0,0025 м для гарантованого запобігання від дефектів на поверхні виливка. При менших значеннях тривалість тепловідводу невелика й метал у процесі течії може затвердіти, утворюючи спаї. Поряд із цим підвищується твердість металу понад значення 72 HSD, що приводить до сколювання рифлів при їхній нарізці. При значенні товщини покриття понад 0,0025 м тривалість відводу теплоти перегріву суттєво зростає й погіршуються якісні характеристики металу бочок валка, при цьому твердість робочого шару знижується нижче рівня технічних вимог (< 62 HSD). Тому вибір товщини шару покриття 0,002 м (середнє із крайніх значень) представляється оптимальним.

Від способу введення покриття в виливниці залежить наявність нерівностей на поверхні покриття, а, отже, і на поверхні виливка, що веде до нерівномірного тепловідводу від виливка в навколишнє середовище, появи нерівномірної твердості, а також до підвищення припуску на механічну обробку поверхні виливка.

Дослідження, проведені в даній роботі, по визначенню якості поверхні теплоізоляційного матеріалу на внутрішній поверхні виливниці, полягали у вивченні наступних параметрів засипання:

- частота обертання виливниці;
- напрямок засипання стосовно напрямку обертання форми;
- тривалість обертання форми з покриттям;
- тривалість провертання піскосипу з покриттям.

Аналіз отриманих експериментальних даних, представлених у табл. 3.1, показує, що з підвищенням частоти обертання виливниці хвилястість на

поверхні покриття зменшується внаслідок того, що тривалість зрушення часток при взаємодії з поверхнею виливниці скорочується й при частоті обертання 700 об/хв і вище поверхня покриття стає рівною.

Таблиця 3.1 — Стан поверхні покриття при різній частоті обертання виливниці

Частота обертання, об/хв	Гравітаційний коефіцієнт	Товщина шару, м	Стан поверхні
500	39	0,002	хвилястість (висота 0,001 м)
600	56	0,002	Дрібні хвилі
700	76	0,002	Рівна поверхня
800	100	0,002	Рівна поверхня

Напрямок засипання стосовно обертання форми (по ходу або проти) також впливає на хвилястість поверхні покриття.

При засипанні піщаного покриття проти ходу обертання виливниці, як показали досліди, хвилястість збільшується.

Тривалість обертання виливниці з піщаним покриттям товщиною 0,002 м протягом 10, 20 і 30 хв не виявила впливу на стан поверхні покриття.

Зі збільшенням тривалості провертання піскосипу з покриттям протягом 2, 5, 8 і 10 сек поверхня покриття стає рівною при часі засипання у 8 сек і більше.

У такий спосіб поверхня теплоізоляційного покриття стає рівною при дотриманні наступних параметрів засипання:

- частота обертання форми > 700 об/хв;
- напрямок обертання піскосипу - по ходу обертання виливниці;
- тривалість провертання піскосипу - > 8 сек.

Кількість засипань теплоізоляційного покриття (к), виробленого з піскосипу на внутрішню поверхню виливниці, розраховували виходячи з рівності обсягу покриття необхідної товщини шару (δ) в виливниці й обсягу покриття, що подається з піскосипу із заданим діаметром (рис. 3.1):

$$K = \frac{\delta \cdot D}{r_c^2}.$$

D - внутрішній діаметр виливниці

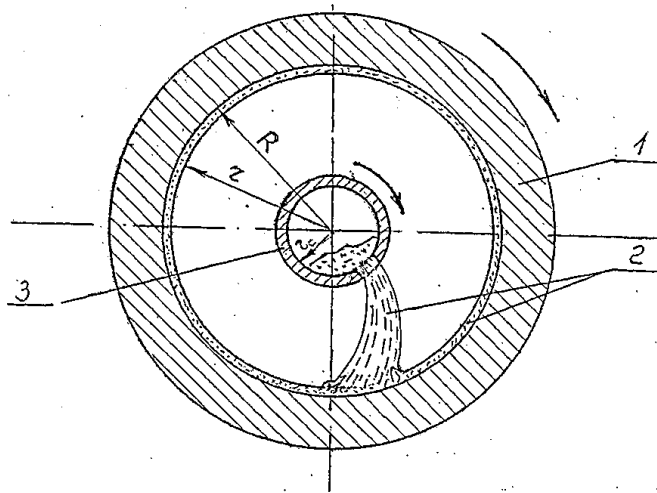


Рисунок 3.1 - Схема засипання теплоізоляційного покриття на внутрішню поверхню виливниці

1 - виливниця, 2- теплоізоляційне покриття, 3 - піскосип

3.3 Удосконалення конструкції заливального пристрою для лиття валків

Заливальний пристрій для лиття валків виконує важливу функцію при формуванні основних властивостей заготовки й, насамперед, обумовлює швидкість заливання металу, температурний режим заливання й характер введення металу у форму.

При виготовленні порожніх виливків значне поширення одержала конструкція заливального пристрою з коротким жолобом й поздовжнім зливом металу.

Дослідження, проведені в даній роботі з розподілу рідини в обертовій формі, показали, що застосування подібних пристроїв має ряд недоліків, що викликають погіршення якості виливка через розбризкування металу в місці падіння струменя. З цієї причини відбувається посилення окиснення металу, місцевий розігрів форми й викликане цим явищем нерівномірне охолодження робочого шару валка і, як наслідок, поява неоднорідної структури й різної твердості робочого шару на поверхні («плямистість»).

Поряд із цим поздовжній злив металу в обертову форму сприяє затримці переміщення металу уздовж форми через гасіння швидкості потоку в місці падіння струменя.

Для виключення цих недоліків у роботі запропонований бічний злив металу через поздовжній отвір у каналі заливального жолобу по напрямку обертання форми, що сприяє плавному залученню металу в обертання без розбризкування.

Порівняльне дослідження металу робочого шару валка при різних способах введення металу в обертову форму показали, що у випадку бічної подачі металу твердість робочого шару по довжині бочки мелючого валка залишається практично постійною на відміну від прямого введення, при якому

в зоні падіння металу твердість на відстані 5 мм від поверхні бочки валка знижується (табл. 3.2 і рис. 3.2).

Таблиця 3.2 — Величина твердості металу робочого шару по довжині бочки мелющих валків, діаметром 0,25 м і довжиною 1,2 м при різних способах введення металу у форму

Спосіб введення металу	Твердість металу по довжині бочки валка, HSD, на відстані від заливального кінця, м				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Поздовжній	68,69, 68	65,65, 65	64,65, 64	68,67, 68	68,67, 68
Бічний	69,70, 69	69,69, 68	68,70, 69	68,69, 70	68,68, 70

Як видно з наведених у таблиці даних при використанні заливального пристрою з поздовжньою подачею металу спостерігається зниження твердості металу робочого шару валка на 3...6 од. HSD у зоні падіння струменя металу на відстані 0,4...0,6 м від заливального кінця, у той час як при бічному зливі металу зміна твердості незначна.

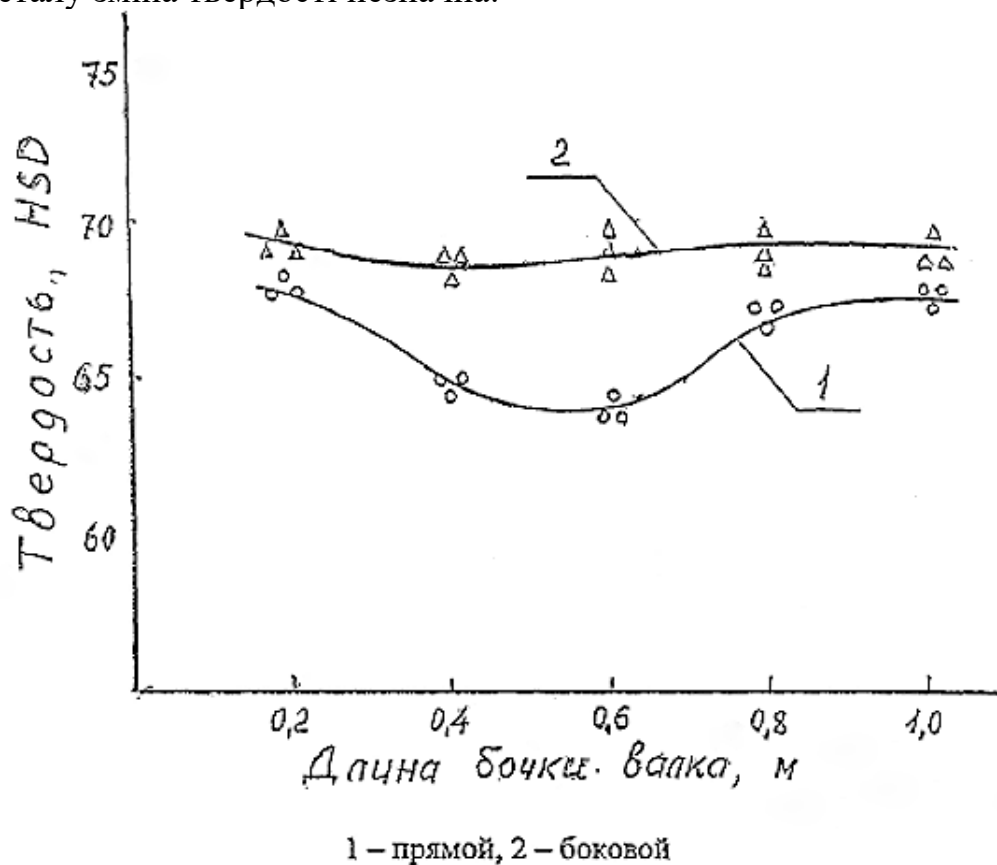


Рисунок 3.2 - Вплив способу введення металу у форму на твердість

Відзначена особливість розподілу твердості металу по довжині бочки валка повністю відповідає характеру розподілу температур по довжині валка.

Таким чином, застосування заливального пристрою з бічною подачею металу при заливанні робочого шару валка поряд зі спокійним зливом металу

сприяє стабілізації твердості металу робочого шару й, в остаточному підсумку, підвищенню експлуатаційної стійкості мелючих валків.

3.4 Технологічний регламент обертання форми

Частота обертання форми є важливим параметром технологічного процесу, багато в чому визначаючим властивості виливка.

При заниженій частоті обертання форми у виливках з'являється рихлість, «шаруватість», структура стає неоднорідною [15]. При підвищеній частоті обертання форми виникають тріщини, підсилюється пригар на поверхні виливків, а також підсилюється ліквация елементів по питомих вагах і ін. [16].

Аналіз існуючих формул для визначення частоти обертання форми показує, що прагнення до їхньої універсальності не дає позитивних результатів, тому що різноманіття технологічних факторів, властивостей матеріалів виливків і їх розмірів ускладнює їхнє застосування.

У даному розділі для визначення частоти обертання форми виходили з експериментальних даних гідродинамічного стану рідини в обертовій формі, що враховують процес залучення шару рідини в обертання.

Досліди свідчать про те, що (розділ 2) найбільш сприятливі умови формування заготовок виникають у випадку швидкого залучення металу до швидкості обертання форми, що досягається при досить високих значеннях гравітаційного коефіцієнта ($K = 100 \dots 110$). При цих значеннях структура металу стає більш однорідною, що сприятливо відбивається на його фізико-механічних властивостях.

Відповідно до цих даних визначимо частоту обертання форми (n) для робочого шару валка товщиною 0,04 м, для отримання якого з мінімальним часом до швидкості обертання форми потрібне утяжеління (K) в 100 разів (рис. 2.2)

$$K = \frac{\omega^2 r}{g} = \frac{\pi^2 \cdot n^2 \cdot r}{900 \cdot g} = 100$$

$$n = \frac{300}{\sqrt{r}} \text{ об/мин}$$

Звідки

де r - внутрішній радіус виливка, м.

Для формування робочого шару заготовки бочки валка, що має $r = 0,09$ м, частота обертання форми складе 1000 об/хв.

При заливанні внутрішнього шару заготовки бочки валка з величиною $r = 0,065$ м частота обертання форми становить $n = 1176$ об/хв.

Як показано в роботі [17] збільшення частоти обертання форми при заливанні другого шару металу сприяє поліпшенню зварюваності двох різновидних металів.

По закінченню процесу затвердіння другого шару металу частота обертання форми з метою зниження рівня вібрації й поліпшення умов роботи машини знижується до 800 і 400 об/хв (рис 3.3)

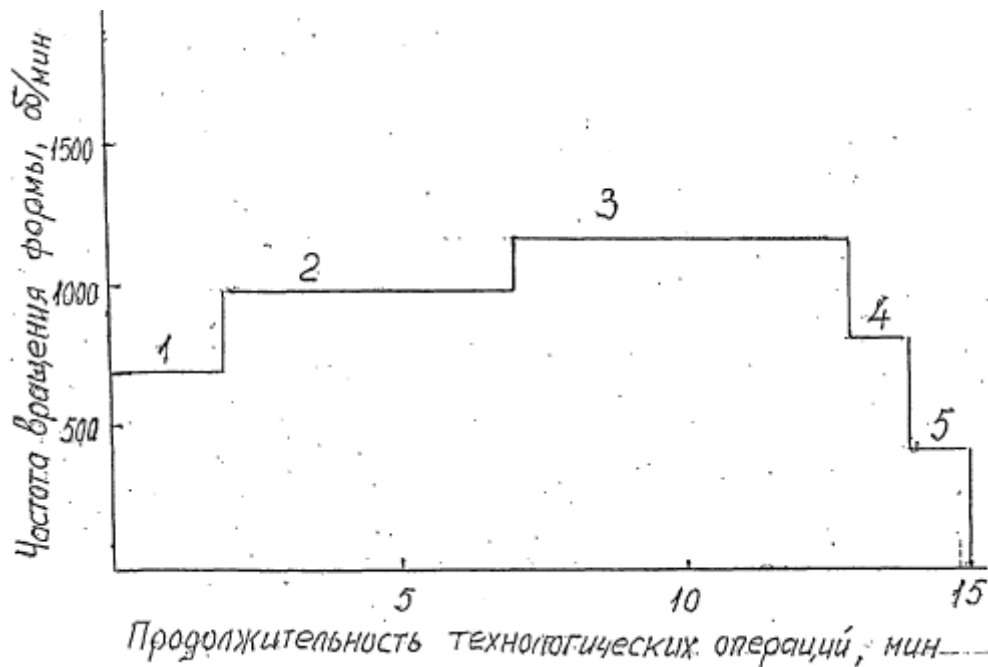


Рисунок 3.3 - Режим обертання форми й заливання металу при виготовленні бочки валка

- 1 - засипання й отвердження теплоізоляційного покриття;
- 2 - заливання й затвердіння робочого шару;
- 3 - заливання й охолодження внутрішнього шару
- 4, 5 - ступінчасте зниження частоти обертання форми '

3.5 Термочасові параметри режиму заливання двох різнорідних металів у форму

При виготовленні біметалічних заготовок значна роль приділяється таким факторам як:

- температура заливання першого й другого металів;
- тривалість перерви між заливаннями двох металів;
- швидкість заливання кожного із двох металів;
- частота обертання форми при заливанні двох металів.

Знаходження залежності між зазначеними параметрами для виливків певної конфігурації дозволяє визначити шлях одержання високоякісних заготовок з міцним зварюванням двох шарів металу.

У літературі приводяться приклади одержання біметалічних чавунних заготовок, засновані на технології, при якій заливання другого металу здійснюється на повністю затверділий перший метал.

При цьому рекомендується робити заливання другого металу в момент зниження температури внутрішньої поверхні першого металу на 120... 150°C нижче температури його затвердіння [8].

Така технологія передбачає використання флюсу на внутрішній поверхні першого металу, для захисту його від окиснення, яке може стати причиною незварювання двох металів.

Відомо, що флюс, який вводиться в порожнину форми, разом з позитивним впливом на рідкий метал може з'явитися причиною його забруднення неметалічними включеннями.

Враховуючи складності, пов'язані із застосуванням флюсу, у даній роботі досліджували можливість заливання другого металу на поверхню ще не повністю затверділого першого шару з можливістю їх часткового перемішування зі створенням перехідного шару без застосування флюсу.

Із цією метою після заливання з ковша металу робочого шару в обертову форму й перерви, відповідної до тривалості переміщення границі затвердіння робочого шару до її внутрішньої поверхні, проводиться заливання з того ж ковша залишку рідкого металу, промодифікованого ФС-75, який, взаємодіючи з незатверділою твердорідкою фазою, утворює міцну перехідну зону.

Зазначений режим порціонного заливання двох металів для формування біметалічних заготовок вимагає суварого урахування часових особливостей затвердіння чавуну в обертовій формі, які відображено в розділі 2.

З урахуванням цих особливостей складений сполучений з режимом обертання форми графік заливання двох металів в обертову форму стосовно до найпоширеніших валків із розмірами бочки діаметром 0,25 і довжиною 1,0 м (рис. 3.3).

Основні операції процесу заливання металу у форму полягають у наступному:

- заливання робочого шару зі швидкістю 20 м/с при температурі $1350^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$;
- витримка металу у формі протягом 5,2 хв., протягом якої границя робочого шару переміщається до її внутрішньої поверхні;
- заливання другого металу у форму після модифікування в ковші ФС-75 при температурі $1340^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$;
- витримка металу у формі до повної її зупинки.

Розроблений режим порціонного заливання металу в обертову форму має ряд техніко-економічних переваг у порівнянні із традиційним способом одержання подібних біметалічних заготовок:

- усувається необхідність у роботі другого металургійного агрегату по виплавці металу внутрішнього шару валка, оскільки його виготовлення здійснюється шляхом модифікування ФС-75 у ковші;
- усувається необхідність у введенні флюсу на поверхню робочого шару, залитого у форму;
- поліпшуються екологічні й техніко-економічні показники процесу за рахунок вивільнення працезатрат, скорочення витрати матеріалів і електроенергії на операції плавки другого металу, а також виготовлення й зберігання флюсу.

3.6 Дослідження й вибір складу робочого шару мелючих валків

Особливості експлуатації мелючих валків розглянуті в 1 розділі, показали, що матеріал їх робочого шару витримує високі навантаження в

складних умовах абразивного зношування, тому вибір необхідного складу чавуну є одним з основних факторів ефективності розмеленого процесу.

У зв'язку з визначальним впливом твердості металу на службові властивості валків вибір складу їх матеріалів робили в основному з урахуванням цього фактора.

При цьому враховувалася також необхідність створення однорідної дрібнодисперсної структури вибіленого шару бочки валка глибиною 0,020...0,025 м від його поверхні.

При первинному дробленні на валках з нарізаними рифлями в щільній зоні між ними, продукти переробки піддаються деформації зрушення-зрізу, а поверхневий шар валків - значні навантаження, що сприяють інтенсивному зношуванню матеріалу валка.

Тому робочий шар рифлених валків повинен мати порівняно високу твердість, але при цьому її верхня межа не повинен перевищувати значень 72 HSD, вище яких виникають труднощі з нарізкою рифлів.

Нижня межа твердості рифлених валків повинна гарантувати відсутність графітових включень у вибіленому шарі з рівнем 66 HSD.

Таким чином, оптимальна твердість робочого шару рифлених валків повинна бути в межах 66...72 HSD.

Аналіз традиційно використовуваних складів робочого шару мелючих валків свідчить про широкі межі застосування основних і легуючих елементів сплаву:

$C = 3,0...3,8\%$, $Si = 0,2...1,2\%$, $Mn = 0,4...1,2\%$, $Cr = 0,4...1,0\%$, $Ni = 0,3...2,5\%$, $P < 0,4\%$, $S < 0,2\%$.

Підвищений вміст вуглецю в робочому шарі валків з рифленою поверхнею в кількості 3,6...3,8% сприяє збільшенню твердості металу, а також зниженню його в'язкості матеріалу, що веде до викрашування рифлів [1].

Зниження вмісту вуглецю сприяє прояву в більшій мірі позитивного ефекту при невеликих добавках легуючих елементів.

Тому, поряд зі зниженням вмісту вуглецю до значень 3,2...3,4%, необхідно вжити заходи щодо збільшення в'язкості матеріалу робочого шару валка, чому сприяє введення нікелю в кількості 0,7...0,9%.

Незважаючи на те, що підвищення вмісту нікелю веде до утворення більш дисперсної структури й поліпшенню в'язкості металу, що позитивно позначається на працездатності рифлених валків, комбінація його із хромом як карбідоутворюючим елементом, понад 1,0% кожного окремо, погіршує відбілюваність робочого шару [4], тому вміст хрому в межах 0,3...0,5% може вважатися раціональним.

Рівень вмісту кремнію в чавуні доцільно втримувати в межах 0,4...0,6%, оскільки при більшій його кількості твердість металу робочого шару помітно знижується.

Для підвищення дисперсності структури металу вводили 0,1...0,3% Mo.

Таким чином, рекомендований склад для робочого шару валків з рифленою поверхнею представляє в %:

$C = 3,2...3,4$; $Si = 0,4...0,6$; $Mn = 0,4...0,6$; $Cr = 0,3...0,5$; $Ni = 0,7...0,9$, $S < 0,02$; $P < 0,2$; $Mo = 0,1...0,3$.

Поряд з твердістю чавуну, вирішальне значення в процесі експлуатації цих валків здобуває ступінь самовідбудови мікрошорсткуватої поверхні робочого шару при її зношуванні. Відсутність цієї якості приводить до утворення полірованої поверхні робочого шару валків, що зводить до нуля їх здатність до подальшого розтирання продуктів розмелу й вони починають працювати в холостому режимі.

Для підвищення ступіня самовідбови мікрошорсткуватої поверхні валків використовували специфічну здатність фосфору до утворення легкоплавкої фосфидної евтектики у вигляді сітки по межах зерен.

Надмірне підвищення вмісту фосфору (більш 0,7%) веде до охрупчування чавуну, тому рекомендований рівень становить 0,5...0,7%.

Вміст вуглецю при необхідній твердості може бути знижено до 3,1...3,3.

Деяке підвищення вмісту кремнію в порівнянні з нарізними валками до 0,6...0,8% сприяє утворенню фосфидної евтектики більш компактною формою.

Вміст нікелю в порівнянні з валками, що мають рифлену поверхню, може бути знижено до 0,5...0,7% у зв'язку з відсутністю необхідності збільшення в'язкості чавуну для нарізки рифлів.

Таким чином, рекомендований склад робочого шару валка з мікрошорсткуватою поверхнею такий:

$C = 3,1...3,3$; $Si = 0,6...0,8$; $Mn = 0,4...0,6$; $Cr = 0,3...0,4$; $Ni = 0,5...0,7$; $S < 0,02$; $P = 0,5...0,7$; $Mo = 0,1...0,3$.

У процесі всього циклу експлуатації валків з робочим шаром, що містять включення фосфидної евтектики, зношування поверхні визначається різною здатністю твердої й тендітної (фосфидна евтектика) і в'язанням (металева основа) складових структури чавуну до зношування, у результаті чого з'являються виступи й западини у вигляді мікрошорсткості на поверхні бочки валка.

Для забезпечення більш рівномірного й компактного розподілу фосфидної евтектики в чавуні, а також підвищення дисперсності його структури рекомендується введення молібдену в кількості 0,1...0,3%.

3.7 Експериментально-виробниче відпрацювання технології вилівка біметалічних валків методом відцентрового лиття

Для оцінки якості мелющих валків, отриманих за рекомендованою технологією, були відлиті три експериментальні заготовки розміром 0,26x1,2 м на установці відцентрового лиття з горизонтальною віссю обертання.

Вивчення макро- і мікроструктури, характер розподілу твердості по перетину й довжині вилівка й показників міцності зварювання двох шарів

металу проводили на темплетях, вирізаних у трьох поперечних перерізах заготовки, розташованих на відстані 0,25 м від її торців і по середині.

Механічні властивості металу на розтягання, вигин і зношування визначалися на зразках, вирізаних з робочого шару валка (рис. 3.4).

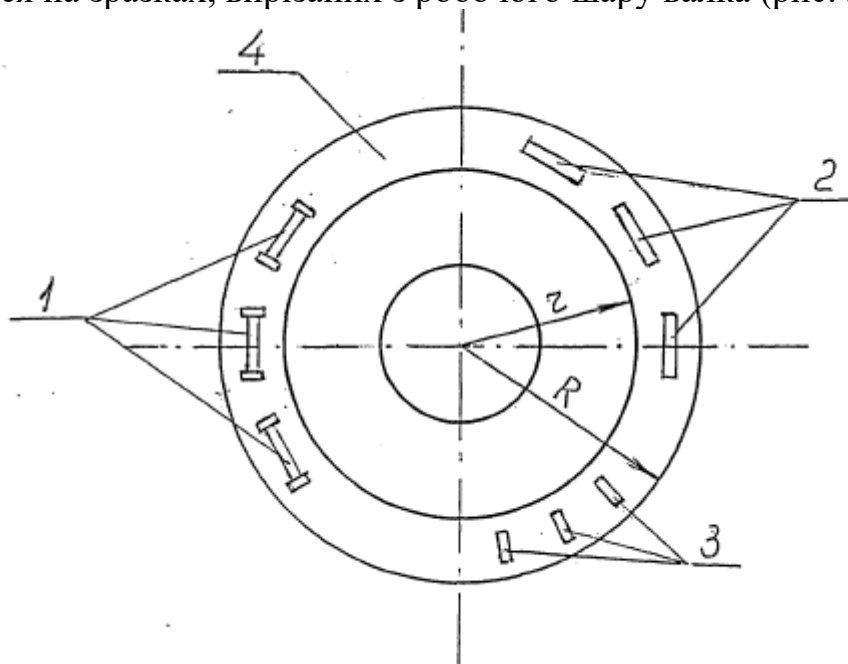


Рисунок 3.4 - Схема вирізки зразків на механічні випробування
1 - на розрив; 2 – на вигин; 3 — на зношування; 4 - робочий шар валка

Твердість металу визначали через кожні 5 мм від поверхні заготовки бочки валка діаметром 0,25 м.

Хімічний склад металу робочого шару валків (плавильний) наведений у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Плавильний хімічний склад робочого шару валків

Номер валка й плавки	Хімічний склад, мас. %							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
1. 2839	3,20	0,40	0,49	0,15	0,04	0,30	0,80	0,03
2. 2847	3,10	0,53	0,36	0,15	0,05	0,33	0,77	0,03
3. 2858	3,02	0,47	0,31	0,10	0,08	0,31	0,75	0,02

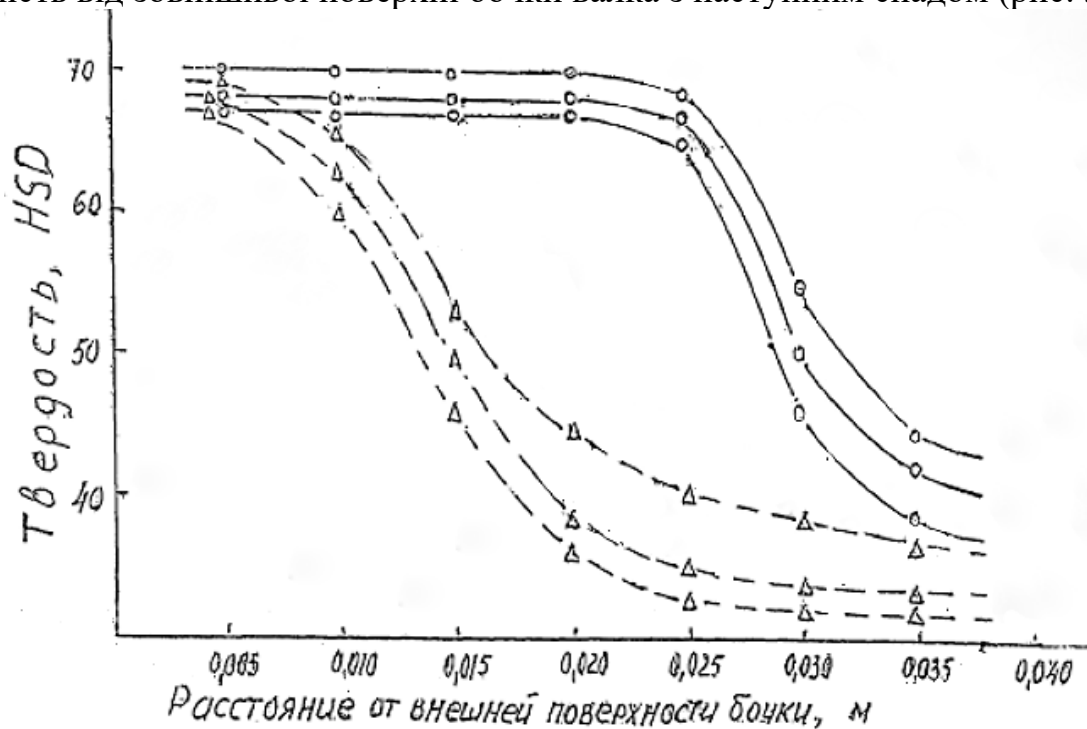
Дослідження твердості валків визначали по довжині й глибині їх робочого шару (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 - Твердість металу робочого шару відцентроволитих заготовок

Твердість (HSD) по глибині робочого шару, мм						
5	10	15	20	25	30	35

70	70	70	70	69	54	44
68	68	68	68	67	50	42
61	67	67	61	66	46	38

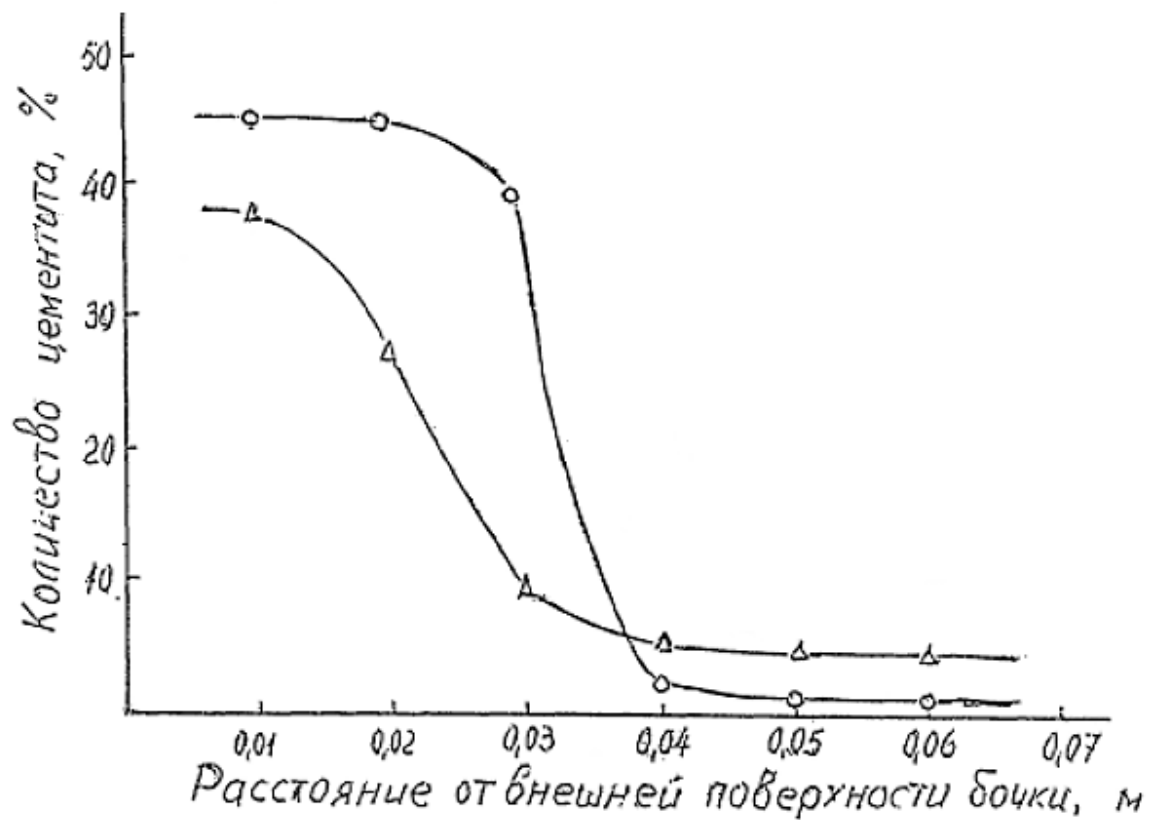
Аналіз розподілу значень твердості металу робочого шару свідчить про її сталість від зовнішньої поверхні бочки валка з наступним спадом (рис. 3.5).



Розподіл твердості по перетину робочого шару валка -
o - відцентроволіт; Δ – стаціонарноліт

При цьому в відцентроволітній бочці постійне значення твердості по глибині робочого шару зберігається на відстані 0,025 м. Це принципова відмінність у розподілі значень твердості в металі робочого шару свідчить про потенційні можливості збільшення довговічності відцентроволітих мелючих валків за рахунок підвищення кількості переточувань у процесі експлуатації. Значення твердості по довжині бочки свідчать про мінімальну різницю в 1...2 одиниці HSD у відцентроволітній бочці.

Дослідження кількості й характеру розподілу цементиту по перетину мелючого валка, показало (рис. 3.6), що його кількість у робочому шарі відцентрового валка становить 45%.



o - відцентроволіт; Δ - стаціонарноліт

Рисунок 3.6 - Розподіл карбідної фази по перетину валків

Внутрішня зона стаціонарного валка містить близько 10% карбідної фази, а відцентрового 1...2%, що створює сприятливі умови при розточенні торцевих отворів під посадку півосей.

Електронно-мікроскопічні дослідження дозволили визначити ряд особливостей у будові карбідної фази в зоні чистого відбілу, наприклад, виявити порівняно тонку й щільну її структуру в металі відцентрового виливка й більш грубу в металі стаціонарного виливка

Характер змін структури мелющих валків по їхньому перетину відповідає особливостям розподілу твердості матеріалу робочого й внутрішнього шару по довжині і їх рівню, який забезпечується певним вмістом карбідної складової (більше 40%) у робочому шарі, подальшим його зниженням у перехідній зоні й зведення його до мінімуму у внутрішній зоні.

Злам зразка, отриманий на поперечному темплеті, свідчить про глибину відбілу бочки відцентроволитого валка 0,025 м і відповідає показникам твердості по перетину валка. Відбіл на зламі характеризується як чистий, включення графіту практично відсутні.

Перші графітні включення в робочій зоні валків з'являються тільки на границі перехідний і внутрішньої зон.

Макроструктура виливка бочки відцентроволитого валка має щільну будова металу без дефектів ливарного походження, а також характеризується гарною зварюваністю робочого й внутрішнього шарів.

Відмінною рисою мікроструктур є їх видозміна по перетину протягом трьох зон:

- зовнішньої із чистим відбілом і перліто-цементитною структурою довжиною 0,025...0,030 м (відцентроволитої) і довжиною 0,008...0,012 м (стаціонарнолітої);
- перехідний з перліто-цементито-графітною структурою довжиною 0,01...0,015 м (відцентроволитої) і 0,02...0,025 м (стаціонарнолітої);
- внутрішньої з перліто-графітною структурою.

Довжина кожної із цих зон у перетині вилівка валка є важливою якісною характеристикою його службових властивостей. Установлено, що величина зони чистого відбілу визначає зносостійкість валку, а перехідна зона - опір поломкам.

Відповідно до критерію якості валків (A_k) співвідношення представлених зон має такий вигляд [4]:

$$A_k = \frac{A}{A+B},$$

де А - глибина зони чистого відбілу, м; Б - глибина перехідної зони, м.

Відцентроволиті мелющі валки характеризуються величиною $A_k = 0,66...0,71$, що є показником їх високих службових властивостей у порівнянні зі стаціонарнолітими ($A_k = 0,28...0,32$) [18], у яких вони більш ніж у два рази нижче.

Поряд з вивченням твердості й структури металу зразки з досліджуваних валків були піддані механічним випробуванням.

Метал робочого шару мелючого валка випробовували на розтягання й вигин, а також випробовували на зношування.

На статичне розтягання зазнали дослідженню стандартні циліндричні зразки. Зразки вирізалися із центральної частини робочого шару валка.

Зразки на ударний вигин (розміром 10x10x60 мм) вирізалися із середньої зони робочого шару валка. Результати досліджень механічних випробувань зразків на вигин і розтягання (середнє із трьох значень) наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Показники механічних властивостей мелючих валків

Спосіб виготовлення валка	Вид механічних випробувань	Механічні властивості на різній відстані від заливальної зони валка, м		
		0,2	0,6	1,0
Відцентроволитий	Міцність на розрив σ_v , Мпа	220	210	208
	Опір при вигині, $\sigma_{\text{виг.}}$, Мпа	400	390	387
Стаціонарнолітій	Міцність на розрив σ_v Мпа	190	170	175

	Опір при вигині, $\sigma_{\text{виг.}}, \text{Мпа}$	315	290	300
--	---	-----	-----	-----

Аналіз отриманих результатів показує, що рівень механічних властивостей металу відцентроволитих валків на 20...25% вище рівня аналогічних властивостей стаціонарнолитих валків.

Міцність зварювання двох різнорідних металів вивчали на кільцевих темплетях товщиною 0,01 м, вирізаних з бочки валка в поперечному перерізі. Дослідження проводили на пресі із зусиллям $3 \cdot 10^4$ Н до повного руйнування зразків з наступним вивченням характеру їх руйнування.

Результати досліджень показують, що злами темплетів відцентроволитих валків проходять по металу внутрішньої зони вилівка, не зачіпаючи граничної зони двох шарів вилівка, що свідчить про високий ступінь їх зварювання. Злами темплетів стаціонарнолитих валків проходять по границі двох шарів металу, що свідчить про низьку ступінь міцності їх зварювання.

Метал робочого шару із середньої частини робочого шару бочки відцентроволитих і стаціонарнолитих валків був досліджений на зношування. Аналіз результатів свідчить про те, що зношування зразків, вирізаних із відцентроволитого металу, в 2,0...2,5 рази нижче зношування зразків, вирізаних зі стаціонарнолитих заготовок.

3.8. Рекомендації щодо впровадження технології виготовлення біметалічних мелющих валків

Виробництво мелющих валків включає наступні технологічні операції:

1. плавка металу для одержання двошарової бочки валка;
2. Лиття двошарових заготовок бочок валків на відцентровій машині;
3. механічна обробка бочок валка;
4. механічна й термічна обробка півосей;
5. запресовування півосей з торців бочки;
6. остаточна механообробка валка;
7. балансування валка;
8. нарізка рифлів або нанесення мікрошорсткості на поверхні валків.

Плавка металу для одержання двошарової бочки валка

Плавка металу поверхневого робочого шару валка проводиться в індукційній тигельній печі промислової частоти ІСТ-0.4, призначеної для одержання рідкого ливарного чавуну, як сірого, так і легованого.

Піч забезпечує інтенсивне перемішування металу з одержанням однорідного хімічного складу й низького вихару елементів.

У якості шихтових матеріалів застосовуються:

- чушковий чавун за ДСТ 805-80 марок П1, П2, ПЛ1, ПЛ2;
- сталевий лом, що відповідає ДСТУ 2787-86 марок 1А и 2А;
- лом (бій) валків з легованого чавуну;
- відходи й лом сірого чавуну;
- феросплави й лігатури для легування й модифікування чавуну: феросиліцій ФС75 ДСТУ 1415-93, феромарганець ФМн 70-78 ДСТУ 4755-79, ферофосфор ФФ 14-18 по ТУ 14-5-72-80, ферохром ФХ 650-800А ДСТУ 4557-79, нікель металевий Н-3, Н-4 ДСТУ 849-70.

При плавленні металошихти в печі відбувається вигар і втрати елементів, що входять до її складу. Вигар основних елементів у печі з кислою футеровкою в % від маси елемента в шихті становить:

Вуглець	Кремній	Марганець	Хром
3-5	10-15	8-10	до 10

Загальний вигар при плавці чавуну в печі ІСТ-0.4 не перевищує 5-10% від маси шихти.

Усі матеріали, що завантажуються в піч, повинні бути сухими.

Завантаження печі проводиться так, щоб тигель був щільно заповнений шихтою, що дозволяє скоротити тривалість плавки, забезпечити меншу окисність металу, зменшити зношування тигля й втрати електроенергії.

Після повного розплавлення шихти при температурі металу в печі 1400°C проводиться відбір проби на хіманаліз і проводиться доведення складу металу додаванням необхідної кількості сталі й феросплавів.

Через 25...30 хв після присадки сталі й феросплавів проводиться відбір другої проби на хіманаліз.

Після одержання результатів другого хімічного аналізу проводиться коректування складу присадкою феросплавів у піч.

Хімічний склад базового металу на випуску з печі повинен відповідати:

$C = 3,2...3,4\%$, $Si = 0,60...0,70\%$, $Mn = 0,40...0,70\%$, $P = 0,5...0,6\%$, $S < 0,10\%$, $Cr = 0,40...0,60\%$, $Ni = 0,80...1,0\%$, $Mo = 0,1...0,3\%$.

При температурі $1470^{\circ}C \pm 10^{\circ}C$ проводиться лиття технологічної проби.

Технологічна проба повинна бути повністю світлою без графітових включень.

Після підготовки металу заданого хімічного складу проводиться його випуск у підготовлений ківш необхідної ємності.

Лиття двошарових заготовок бочок валків на відцентровій машині

Основним агрегатом для одержання двошарових бочок мелючого валку є відцентрова машина з горизонтальною віссю обертання форми, що дозволяє відливати валки з бочкою діаметром до 0,5 м і довжиною до 2,0 м.

Процес лиття заготовок включає ряд підготовчих операцій, від ретельності яких залежить якість майбутнього виробу. Основними із цих операцій є наступні:

- складання форми й заливального пристрою;
- заливання металу в установку відцентрового лиття.

Виливниця очищається металевою щіткою від залишків теплоізоляції й установлюється на складальну плиту з попередньо очищеними посадковими місцями, на які встановлюється кришка. Кришка закріплюється до виливниці клинами.

Після установки кришок виливниця укладається в контейнер для сушіння й підігріву до 220.. 230°C

Підігріта виливниця встановлюється на відцентрову машину, після чого в неї вводиться теплоізоляційна суміш при обертанні за допомогою спеціального пристрою - піскосипу.

Лицювальна суміш рівномірно розподіляється в процесі засипання в обертівій формі, забезпечуючи товщину шару 0,002 м.

Для облицювання виливниці використовується піщано-смоляна суміш (пісок, змішаний зі смолою) у наступній пропорції:

- 95% кварцового піску марки K16;
- 5% сполучної смоли типу СФП-011Л по ТУ 6-05-1370-90.

Піщано-смоляна суміш наноситься на внутрішню поверхню виливниці по ходу її обертання при повільному повороті піскосипу на 180°C и при частоті обертання форми 700 об/хв.

Тривалість затвердіння шару суміші становить 4 хв.

Заливальний пристрій футерується стандартними шамотними виробами.

Кінцева сифонна труба збоку має проріз довжиною 200 мм і шириною 40 мм для забезпечення бічного заливання металу по ходу обертання форми.

Зібрана воронка з підставкою фарується графітовою фарбою, сушиться переносним пальником, після чого заливальний пристрій установлюється на відцентрову машину.

Температура металу перед випуском з печі становить 1480...1500°C

Випуск металу здійснюється в підігрітий до температури 400°C поворотний ківш ємністю 1,0 т.

Перед заливанням металу береться проба на відбіл. Величина відбілу на пробі повинна становити 0,010...0,015 м.

Ківш із металом за допомогою крана подається до відцентрової машини, зчищаються шлаки із дзеркала металу й при температурі 1350±10°C заливається через ливникову воронку у відцентрову машину.

Тривалість заливання металу робочого шару товщиною 0,04 м становить 15 с.

Після витримки тривалістю 3 хв заливається другий шар металу, що попередньо промодифікований FeSi-75% з розрахунку одержання вмісту Si =1,5...1,7%.

Швидкість заливання металу в обертову форму становить 16 кг/с.

Після закінчення процесу формування бочки валка у формі проводиться поетапне зниження частоти обертання виливниці з метою зменшення вібрації машини до 800 об/хв, а потім до 400 об/хв через відповідно 13 і 14 хв із наступною зупинкою обертання форми через 15 хв від початку заливання металу.

Після переміщення захисного кожуха в неробоче положення виливниці виймається з машини й установлюється на стенд для остаточного остигання виливка.

При досягненні на поверхні виливниці температури 100...120°C проводиться розбирання форми й вилучення виливка.

Розбирання виливниці

Розбирання виливниці проводиться за такою послідовністю операцій:

- вибиваються клини й знімаються обидві кришки;
- виливниці піднімається над рівнем підлоги й виливок виймається з виливниці;
- виливниці укладається на стенд для наступного складання.

Відповідно до розробленої технологічної документації тривалість виготовлення однієї заготовки бочки мелючого валка, на відцентровій машині становить ~ 30 хв, включаючи тривалість операції по установці форми на машину, переміщенню захисного кожуха, нанесенню теплоізоляційного покриття, заливанню металу, його кристалізації в обертовій формі, зупинки форми, зняття кришки кожуха й вийманню заготовки з машини.

Обробка бочок валка

Після лиття бочка валка піддається механічній обробці для зняття припусків на зовнішній і торцевій поверхнях, вирізки темплету для оцінки твердості й структури металу, а також для розточення отворів під запресовування півосей.

Заготовки півосей виготовляють зі сталі 40Х за ДСТ 4543-71, які піддаються термічній обробці (загартування в маслі при 840...860°C, відпускання при 560...570°C) для забезпечення твердості HRC 31...36.

Механічна обробка заготовки проводиться відповідно до креслення деталі.

Півосі запресовуються в торцеві отвори бочки в холодному стані на спеціальному пресі.

Остаточна механічна обробка мелючого валка полягає в шліфуванні поверхні робочого шару бочки й посадкових поверхонь для установки в підшипниках згідно з вимогами креслення.

Висновки до розділу

Установлено, що подача металу повинна забезпечувати просування рідкого шару швидше, ніж здійснюється відведення тепла перегріву від нього. Для валків діаметром бочки 0,25...0,35 м і довжиною до 1,2 м подача металу при заливанні повинна становити не менше 20 м/с.

Установлені термочасові параметри режиму заливання у форму робочого шару й серцевини валка (температури заливання й перерва між заливаннями), що забезпечують їх міцне зварювання в поле дії відцентрових сил.

Показано, що використання на внутрішній поверхні виливниці теплоізоляційного самотвердіючого покриття з пульвербакелитовою смолою замість сипкого дозволяє вплинути на появу на виливках поверхневих дефектів.

Установлено, що рекомендований шар теплоізоляційного покриття товщиною 0,002 м і пропонований режим уведення покриття в обертову форму забезпечує необхідну швидкість затвердіння й рівномірну товщину шару по довжині окружності форми, а також необхідну твердість і структуру металу.

Установлено, що заливальний пристрій з бічним зливом чавуну по ходу обертання форми скорочує період набування шаром металу швидкості її обертання на 20...25% і запобігає змиву теплоізоляційного покриття в порівнянні з поздовжнім заливанням металу.

Установлено, що при заливанні другого металу в період досягнення на внутрішній поверхні робочого шару середньої температури інтервалу ліквідус-солідус, можна забезпечити міцне зварювання різнорідних сплавів, тим самим, усуваючи необхідність використання флюсів і другого металургійного агрегату для заливання внутрішнього шару.

Установлений режим обертання форми, що дозволяє здійснити введення металу при підвищеному значенні гравітаційного коефіцієнта на внутрішній поверхні виливка, що дозволяє забезпечити умови для підвищення фізико-механічних властивостей заготовки валка внаслідок прискореного вирівнювання кутових швидкостей металу й виливниці.

Показано, що рекомендований хімічний склад робочого шару мелющих валків урахує умови експлуатації, відповідає специфічним умовам розмеленого процесу й сприяє підвищенню їх стійкості.

Виявлені суттєві переваги у фізико-механічних властивостях відцентроволитих валків (структура, твердість, розподіл карбідної фази, міцність на розрив і вигин, зношування металу) у порівнянні зі стаціонарнолитими валками, внаслідок більш щільної й дисперсної будови металевої структури, яка досягається в умовах кристалізації металу в полі дії відцентрових сил.

Аналіз отриманих даних про експлуатацію валків показує, що:

- стійкість відцентроволитих мелющих валків до першого переточування рифлів у системах дрального млива складала в середньому 13 місяців, що в 3,25 рази вище стійкості стаціонарнолитих валків, яка становить 4,0 місяця;
- загальна стійкість рифлених валків з урахуванням ряду переточувань

перевищує 4 роки, що в 3,0...4,0 рази перевищує загальну стійкість стаціонарнолитих валків, яка становить 1,0...1,3 року;

- експлуатаційна стійкість мікрошорсткуватих валків, установлених у системі розмеленого млива, також становить до теперішнього часу 4 роки й валки продовжують працювати, що в 3,0...4,0 рази вище показників стаціонарнолитих валків з аналогічною поверхнею;
- у процесі роботи мікрошорсткуватих валків спостерігається ' самовідновлення мікрошорсткуватої поверхні, що є показником їх високої якості, оскільки необхідність у механообробці (переточуванні) поверхні валків виключається через відсутність «полірованої» поверхні валка.

РОЗДІЛ IV ОЦІНКА СТАНУ УМОВ ПРАЦІ І БЕЗПЕКИ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ПІСЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Магістерська робота присвячена дослідженню технології виготовлення біметалічних мелючих валків методом відцентрового лиття.

Відцентровим литтям виливки виготовляють у металевих, піщаних, оболонкових формах і формах для лиття за моделями, що виплавляються. При цьому використовують машини з горизонтальною або вертикальною віссю обертання. Для складних формою художніх виробів переважно застосовуються машини з вертикальною віссю обертання. На рис. 4.1 наведено схеми виконання лиття на вертикальній машині, які допоможуть краще зрозуміти необхідність виконання вимог безпеки.

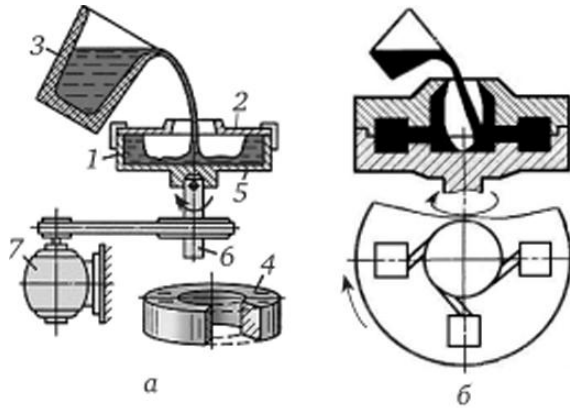


Рис. 4.1. Схема відцентрової установки вертикального типу:

а - схема машини з вертикальним приводом для отримання невисоких циліндричних виливків; б - схема отримання дрібних виливків різної форми;

1 - розплавлений метал; 2 - кришка з блокуванням для захисту від бризок розплаву; 3 - ківш (тигель) з розплавом; 4 - готова циліндрична вилівка; 5 - корпус форми (тарілки) для прийому металу; 6 - шків і вертикальний вал для обертання тарілки; 7 — вертикально встановлений на рамі електродвигун змінного струму з клинопасовим приводом

Головна вісь, підшипники тощо, встановлюються у коробці підшипників. Система електроконтролю у багатьох машин складається з частотного перетворювача, сенсорного екрану, деталей електроприладів низької напруги, інших електронних схем, кнопок і сигнальних ламп. Є такі захисні заходи, як взаємне блокування, захист від перевантаження струмом.

Металеві форми (вилівниці) виготовляють із чавуну та сталі. Товщина вилівниці зазвичай в 1,5-2 рази більша за товщину вилівка.

У процесі лиття вилівниці зовні охолоджують водою чи повітрям. На робочу поверхню вилівниці наносять теплозахисні покриття збільшення терміну їхньої служби.

Перед початком роботи вилівниці підігрівають до температури 200 °С. На всіх пультах машин на видному місці має бути встановлено світлове табло:

на ньому після підготовки до заливки повинен з'явитися напис «Заливка дозволена», а під час роботи в автоматичному режимі — напис «Автомат».

Машини для відцентрового лиття повинні мати два етапи включення з надійними фіксаторами положення, що запобігають випадковий запуск машини. За допомогою першого ступеня вмикається або вимикається живлення (електроенергія, повітря), за допомогою другого ступеня вмикається або вимикається машина. Машини з вертикальною віссю обертання поставляються без механізму, що виштовхує. Перед заливкою металу у форму (виливницю) має бути проведено випробування роботи відцентрової машини на холостому ході. Форми (виливниці) мають бути збалансовані. Встановлення виливниці на машину без акту балансування не допускається.

Операції заливки металу у виливницю та видалення виливків від машини повинні бути механізовані. При відцентровому литті, як і при кокільному, можливі випадки розбризкування металу, тому потрібні заходи захисту. На випадок викиду розплавленого металу з корпусу, що обертається (форми) і з дозуючих пристроїв машини повинні бути обладнані міцними кожухами, що надійно замикаються. Усі форми, незалежно від розмірів та типів відцентрових машин, слід укладати у кожухи.

З боку заливальної воронки, форма (виливниця) повинна мати огорожу, яка зручно відкривається і захищає працюючих від бризок металу.

Частини механізмів, що рухаються, повинні огорожуватися. У машинах з відносним переміщенням виливниці та ринви повинні бути встановлені засоби, що виключають травмування працівників частинами, що рухаються.

Повинне бути передбачене блокування, що унеможливорює обертання виливниці при незакритому захисному кожусі.

Машини повинні бути оснащені пристроями для механізованого фарбування виливниць, виштовхування залитих виливків та їх передачі на цеховий транспорт.

Під час роботи в автоматичному режимі машини мають бути оснащені світловою сигналізацією «Автомат»; якщо робота ведеться не в автоматичному режимі, повинна бути сигналізація «Заливка дозволена» при готовності машини до заливки.

Ущільнення водоохолоджувальної форми виливниці, що обертається, має запобігати попаданню води на заливальний жолоб і в порожнину форми.

При розташуванні виливниці на роликових опорах у машині повинен бути передбачений запобіжний ролик для притискання виливниці зверху.

Зона заливки металу у форму (виливницю) повинна бути обладнана вентиляційною панеллю з відсмоктуванням повітря не менше 2000 м³/год з кожного квадратного метра панелі (інакше потрібно обґрунтувати, що встановлювати таку панель не потрібно).

Кількість повітря, що відсмоктується, також може бути встановлено в технічних умовах на машину конкретної моделі.

Для зниження вібрації, машини встановлюють на вібраційні опори. Деталі кріплення, що знаходяться під знакозмінним навантаженням, повинні бути забезпечені пристроями, які запобігають самовільне відкручування.

Під час роботи високочастотного генератора забороняється торкатися незаземлених металевих частин руками або металевими предметами без ручок ебоніту.

Обертання печі без врівноважуючої опоки веде до аварії. Механічне обертання печі проводиться при закритій кришці кожуха печі, що передбачено електричним блокуванням. При постановці холостої робочої опоки перед пуском обертання необхідно переконатися, що траверза поставлена в гніздо і гвинтові затискачі здійснюють міцне кріплення (траверза - елемент несучої конструкції).

Обертання печі при заливці металу повинно тривати не більше 15 с.

Встановлювати гарячу опоку дозволяється відповідними кліщами, що мають сферичні губки для затиску формою опоки. При плавках для промивання рідкий метал треба зливати поворотом печі рукою в брезентовій рукавиці в піддон, наповнений сухим піском. Злив металу та чищення печі після плавки треба проводити у захисних окулярах.

Відцентрове лиття супроводжується інтенсивним виділенням тепла від роздавальних печей розплаву, гарячих форм та виливків, а також утворенням водяної пари в процесі охолодження гарячих форм. Останнє особливо характерне для процесів відцентрового лиття, у яких виливниці охолоджуються водою. Тому питання встановлення місцевої витяжної вентиляції треба вирішувати з урахуванням як видалення шкідливих речовин, так і забезпечення необхідних параметрів мікроклімату.

Забороняється вмикати установку, якщо відсутнє заземлення корпусу.

Багато видів машин мають систему керування, що складається з шафи керування, частотного регулятора, електронного вузла низького тиску, кнопок керування, лампи індикації.

Система керування забезпечує захист від перевантажень та витоків металу. Необхідно контролювати характер обертання виливниць (наявність або відсутність биття), роботу ручного гальма і системи заливки розплаву (закріплення жолоба в центрі виливниці по вертикалі, відкривання та надійність фіксації дверцят у робочому положенні засувкою).

Гідравлічна та пневматична система та акумуляторні установки повинні бути забезпечені манометрами для контролю тиску. Манометри встановлюють у зручних для спостереження місцях. На всіх манометрах повинна бути нанесена риска поділу, яка відповідає робочому тиску в магістралі.

Усі установки пневматичних та гідравлічних систем повинні бути забезпечені таблицями, що містять схеми трубопроводів, запірної, розподільної та реєструючої апаратури та приладів.

У приміщенні, де встановлені високочастотні відцентрові установки, мають бути такі захисні засоби для працівників: гумові килимки на робочих місцях, а також навколо самого агрегату; гумові калоші, гумові та шкіряні рукавички; захисні окуляри з темним і світлим склом; аптечка із засобами для

надання першої медичної допомоги з відповідними лікарськими та перев'язувальними засобами.

РОЗДІЛ V ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Економічний ефект від впровадження результатів запропонованого удосконалення технології отримання біметалевих виливків визначали виходячи прийнятного для ринкових умов обсягу виробництва такого лиття у розмірі 3000 тонн литих валків на рік.

Для цього економічну ефективність оцінювали шляхом порівняння зміни собівартості виробництва мелючих валків. Таку продукцію за нашими дослідженнями можна виготовити за рекомендованою технологією відцентрового лиття. Базовою технологією порівняння було виготовлення за допомогою стаціонарного методу.

Як відомо, від зміни собівартості при постійному обсязі виробництва річний економічний ефект визначається

$$E_{\text{рік}} = (C_{\text{баз}} - C') \times Q, \quad (5.1)$$

де $C_{\text{баз}}$ та C' – собівартість виготовлення 1 т валків відповідно за базовою та запропонованою технологією;

Q – річний обсяг виробництва валків прийнятий нами на рівні 3 тис. т.

При розрахунку собівартості 1 т виготовлення валків необхідно враховувати всі витрати, а собівартість відповідно представляє собою їх суму. Поряд з цим використовували приведену величину витрат виробництва 1 т валків ($V_{\text{прив}}$), що корегується з урахуванням капітальних витрат та коефіцієнту приведення:

$$V_{\text{прив}} = C + KB \times E_{\text{норм}}, \quad (5.2)$$

де C – величина собівартості виробництва 1 т валків;

KB – питомі капітальні вкладення у виробничі засоби при впровадженні запропонованої технології;

$E_{\text{норм}}$ – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень (для промислових підприємства прийнято на рівні 0,15).

Технологічний процес виробництва валків методом відцентрового лиття забезпечує економію коштів у процесі виробництва валків за рахунок більш тривалого використання самих валків. Розмір же річної вигоди ($E'_{\text{річн}}$) тоді можна представити за рахунок зниження експлуатаційних витрат і формула 5.1 трансформується у наступний вираз

$$E'_{\text{річн}} = \Delta C \times Q - KB' \times E_{\text{норм}} \quad (5.3)$$

де ΔC – рівень зниження собівартості виробництва 1 т валків при виготовленні відцентровим способом;

КВ' – додаткові капітальні вкладення на впровадження технології отримання біметалевих виливків відцентрованим способом, що пов'язані саме із придбанням і монтажем машин для відцентрового лиття.

Зниження витрат на виробництво валків відцентровим процесом порівняно з витратами на виробництво валків стаціонарним процесом пов'язане з такими змінами у витратах:

- економія на витратах на метал за рахунок збільшення рівня виходу придатного лиття на 30%

$$E_1 = 680 \times 0,7 = 476 \text{ грн./т;}$$

- скорочення витрат на механічну обробку (скорочення припусків)

$$E_2 = 980 \times 0,8 = 784 \text{ грн./т;}$$

- скорочення витрати формувальних матеріалів

$$E_3 = 410 \text{ грн./т;}$$

- зниження витрат на оплату праці одиниці продукції та загальних витрат на виробництво шляхом підвищення продуктивності праці безпосередньо ливарному цеху та працівникам задіяним на механічній обробці валків

$$E_4 = 485 \text{ грн./т;}$$

- скорочення браку на 25% (з 30 до 5%) забезпечує економію

$$E_5 = 1170 \times 0,75 = 877,5 \text{ грн./т;}$$

То ж врахувавши всі причини отримання економії визначаємо її загальний рівень

$$E_{\text{заг}} = 476 + 410 + 485 + 877,5 = 2248,5 \text{ грн./т.}$$

При загальних витратах на впровадження технології в 4500 тис. грн. та прийнятому обсязі виробництва валків в кількості 3 тис. т на рік, питома капітальні витрати становитимуть

$$КВ' = 4500/3 = 1500 \text{ грн./т.}$$

Використовуючи формулу 5.3 визначаємо приведену ефективність переведення виробництва валків відцентрованим способом

$$E'_{\text{річн}} = 2248,5 \times 3000 - 1500 \times 0,15 = 6520,5 \text{ тис. грн.}$$

Термін окупності капітальних витрат визначали за формулою

$$T_{\text{ок}} = KB / E'_{\text{річн}}$$

$$T_{\text{ок}} = 4500 / 6520,5 = 0,69 \text{ року}$$

Наявність економії на витратах і відповідно зменшення собівартості виготовлення біметалевих литих валків на 2248,5 грн./т, забезпечить підприємству отримання додатково більше 6,5 млн. грн. на рік прибутку. Окупність впровадження запропонованої технології всього 0,69 року, що значно менше допустимого рівня. Все це повністю задовольняє вимоги щодо ефективності нововведення і може свідчити про доцільність його впровадження.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Традиційні технології виготовлення мелючих валків (стаціонарне лиття з «промиванням») не забезпечують необхідних сучасних вимог до якості, надійності та експлуатаційної стійкості, що робить їх економічно неефективними у виробництві та використанні.
2. Відцентрове лиття з послідовним заливанням металів є найбільш перспективною технологією одержання біметалічних валків, оскільки забезпечує формування диференційованої структури, рівномірну твердість та високу якість робочого шару.
3. Досліджено та визначено вплив ключових параметрів процесу — частоти обертання, швидкості подачі металу, режимів заливання, теплоізоляційного покриття — на формування структури, мікротвердості, глибини вибіленого шару та відсутність дефектів у виливках.
4. Установлено оптимальні термочасові режими заливання та умови зварювання двох різнорідних сплавів, що забезпечує міцний зв'язок робочого шару з серцевиною без додаткових флюсів чи другого металургійного агрегату.
5. Продемонстровано значні переваги відцентроволитих валків над стаціонарнолитими: підвищена твердість, щільність структури, рівномірність карбідної фази, збільшена міцність та стійкість проти зношування.
6. Експлуатаційна довговічність таких валків зросла в 3–4 рази, що підтверджено практичними даними: тривалість роботи до першого переточування та загальний строк служби істотно перевищують показники валків, виготовлених традиційним способом.
7. Економічна ефективність впровадження технології є високою: суттєве зменшення собівартості (2248,5 грн/т) та швидка окупність (0,69 року) підтверджують доцільність масштабування та промислового використання процесу відцентрового лиття.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ