

Запорізький Національний Технічний Університет

(повна назва університету)

Фізико-технічний, інженерно-фізичний

(повне найменування інституту, назва факультету)

Обладнення та технології зварювального виробництва

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Розробка електрошлакової технології поліпшення структур
і властивостей литих заготовок деталей машин із проектуванням
дільниці

Виконав: студент VI курсу, групи ІФ-313м
напряму підготовки (спеціальності)

131 Прикладна механіка

Технології та устаткування зварювання

(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Волошин М.П.

(прізвище та ініціали)

Керівник Білоник І.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Литовченко В.

(прізвище та ініціали)

м.Запоріжжя

2018 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Фізико-технічний, інженерно-фізичний
 Кафедра Обладнання та технології зварювального виробництва
 Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістр
 Спеціальність 131 «Прикладна механіка», освітня програма «технології та
матеріалознавства зварювання»
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Михайло Волошин
20.11.2018
2018 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Волошин Михайло Павлович
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка електрошлакової технології покращення
структури і властивостей литих заготовок деталей машин з проектуванням дільниці

керівник проекту (роботи) Білоник Ігор Методійович, канд. техн. наук, доцент,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

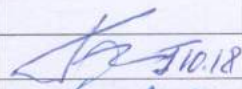
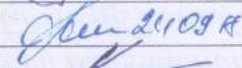
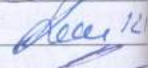
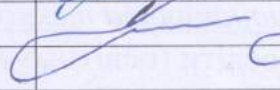
затверджені наказом вищого навчального закладу від "12" грудня 2018 року № 389

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____
 3. Вихідні дані до проекту (роботи) Литва алюмінію 7000 серії, комплекс
документів, висновок по механічним властивостям.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат; Abstract; перелік умовних позначень; вступ; аналіз вихідних даних і
формування на проведення досліджень; розробка методики дослідження і проведення
експериментів або постановка завдання; результати досліджень і їх застосування; вибір
стандартного обладнання і методу контролю якості литого злитка; техніко-економічний
розрахунок дільниці; охорона праці; висновок; джерела послання; додаток А.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Схема електрошлакової виплавки з додатковим плазмово-дуговим підігрівом споживаючим
електродом; дендритна ліквіація у відливків сталі 45ХН2МФА отриманих ЕШВ і ЕШВ+ДП;
механічні властивості литої сталі 45ХМ2МФА та 08Х18Н10Т; макроструктура виливків;
вплив потужності додаткового підігріву на профіль утвореного електродного торця; форма
металевої ванни в виливках; план цеху; техніко-економічний розрахунок дільниці

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

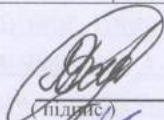
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконання завдання
1-6	Білоник І.М.		
7	Круглікова В.В., доц. каф. ПТтаБД		
8	Нестеров О.В., зав.каф. ОПіНС		

7. Дата видачі завдання 11.09.18

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Прим
1.	Вступ, реферат	12.10.18-20.10.18	
2.	З першого по шостий розділи	21.10.18-3.11.18	
3.	Сьомий розділ	5.11.18-16.11.18	
4.	Восьмий розділ	19.11.18-23.11.18	
5.	Графічна частина	26.11.18-8.11.18	

Студент

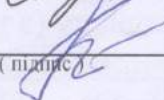


(підпис)

Волошин М.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)



(підпис)

Білоник І.М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 107 сторінок, 12 рисунків, 21 таблиці, 23 посилання.

Мета проекту – розробка електрошлакової технології покращення структури і властивостей литих заготовок деталей машин.

Метод дослідження – аналіз технологічного процесу , аналіз механічних властивостей та параметри додаткового нагріву витрачаемого електроду.

Проведені досліді технології додаткового підігріву витратного електроду, яка дозволяє отримати злиток с гарною поверхнею і однорідним хімічним складом та механічними властивостями.

Відображено питання охорони праці, цивільний захист, виконано проект ділянки та розрахунок економічного ефекту.

ЗЛИТОК, ПЛАЗМЕННО-ДУГОВОЙ НАГРІВАЧ, ЕЛЕКТОШЛАКОВА ВИПЛАВКА, МАКРОСТРУКТУРА, КРИСТАЛІЗАТОР.

ABSTRACT

Software: 107 pages, 12 figures, 21 tables, 23 references.

The purpose of the project is the development of electrosag technology to improve the structure and properties of cast billets of machine parts.

Method of research – analysis of the technological process, analysis of mechanical properties and parameters of additional heating of the spent electrode.

Experiments have been carried out on the technology of additional heating of the consumable electrode, which allows to get a ingot with a good surface and a homogeneous chemical composition and mechanical properties.

The issue of labor protection, civic protection, the project of the district and the calculation of economic efficiency are presented.

MIXTURE, PLASMA-HEATING HEATER, ELECTRIC SHOCK, MACROSTRUCTURE, CRYSTALLIZER.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	1
ABSTRACT	2
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ВСТУП	6
1 СТАН ПИТАННЯ	8
1.1 Вплив умов кристалізації на структуру та властивості литої сталі	8
1.2 Вплив теплових умов плавлення витрачається електрода на структуру відливання і продуктивність процесу.....	17
1.2 Цілі та завдання досліджень.	27
2 МАТЕРІАЛ, МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛИТОГО МЕТАЛУ, ОБЛАДНАННЯ.....	29
2.1 Матеріал для дослідження.....	29
2.2. Методики досліджень литого металу	29
2.2.1 Дослідження макроструктури литих заготовок деталей.....	31
2.2.2 Дослідження дендритної структури і дендритної ліквідації	32
2.2.3 Дослідження мікроструктури відливок	32
2.2.4 Дослідження механічних властивостей відливок.....	33
2.3 Методики розрахунку температури електрода при плазово-дуговому нагріванні	34
2.4 Методика вивчення умов кристалізації	36
2.5 Обладнання	38
2.5.1 Плазменно - дуговий нагрівач	38
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОДАТКОВОГО ПІДГРІВУ ВИТРАЧАЄМОГО ЕЛЕКТРОДА НА ХАРАКТЕР ОПЛАВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОДНОГО ТОРЦЯ	42

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОДАТКОВОГО ПІДГРІВУ ЕЛЕКТРОДУ, ЩОВИТРАЧАЄТЬСЯ, НА УМОВИ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ЛИТИХ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ	47
5 ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ МЕТАЛУ ЛИТИХ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ (ЕШВ + ДП).....	52
5.3 Дендритна структура і дендритна ліквіація.....	61
5.5 Механічні властивості	69
6 ТЕХНОЛОГІЯ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОЇ ВИПЛАВКИ.....	72
7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДІЛЯНКИ	73
7.1.1 Нормування операцій технологічного процесу	73
7.2 Виробнича програма	74
7.3 Розрахунок кількості обладнання, площі ділянки.	75
7.4 Розрахунок кількості персоналу ділянки.....	79
7.5 Матеріальні витрати.....	82
7.6 Вартість основних засобів.....	83
5.7 Заробітня плата.....	85
7.8 Собівартість продукції.....	87
7.9 Економічне обґрунтування запропонованих розробок.....	89
8 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	92
8.1 Аналіз потенційних небезпек.....	92
8.2 Заходи по забезпеченню техніки безпека.....	93
Висновок.....	104
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	105

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

КВМ – коефіцієнт використання металу

ЕШВ – електрошлакове виплавлення

ЕШВ+ДП – електрошлакове виплавлення с додатковим підігрівом

рис. – рисунок

табл. – таблиця

грн. – гривня

тис. – тисяч

А – ампер

кВА – споживна потужність

КСУ – ударная в'язкість

% - процент

В – вольт

кВт – кіловат

м – метр

мм – міліметр

сек – секунда

σ_v – тимчасовий опір

σ_t – межа подовження

φ – відносне звуження

ВСТУП

Намічені цілі не можуть бути досягнуті без підвищення надійності, довговечності деталей машин і механізмів, значительная частина яких виготовляється з виливків і в тому числі з заготовок деталей, одержуваних методом електрошлакового лиття. Вперше розроблених в Інституті електрозварювання ім. Є.О.Патона АН УРСР і широко впроваджений за останні роки на багатьох машинобудівних заводах, метод електрошлакового лиття застосовується для отримання заготовок колінчастих валів, бандажів цементних печей, корпусів запірної арматури, посудин високого тиску, прокатних валів, штампів та цілого ряду інших виливків.

Заготовки деталей, отримані методом електрошлакового лиття мають щільну макроструктуру без дефектів у вигляді підвищеного роз'ятрити, крайових і внутрішніх забруднень, газових бульбашок, характеризуються низьким вмістом неметалічних включень сірки, фосфору і газів. Це забезпечує рівень властивостей литого електрошлакового металу не нижче, ніж у деформованої сталі відкритою виплавки.

Заміна поковок литими електрошлаковими заготовками знижує матеріаломісткість виробів в 1,5 ... 3 рази за рахунок зменшення припусків на механічну обробку.

У запропонованому способі електрошлакової плавки, в якому продуктивність процесу і умови кристалізації виливка можна змінювати в широких межах шляхом додаткового плазменнодугового підігріву розходуемого електрода, при цьому, електрична потужність на шлакової ванні залишається незмінною.

Мета роботи - дослідження можливості поліпшення структури і властивостей литих заготовок деталей при одночасному збільшенні продуктивності.

сті процесу електрошлакової виплавки шляхом застосування технології плазменнодугового підігріву витрачається електрода.

Для цього було вивчено вплив модності додаткового підігріву на характер оплавлення електродів торця і умови кристалізації виливка. В результаті досліджень визначили параметри підігріву, які забезпечують порівняно з Серін технологією плавки увеличение лінійної швидкості кристалізації, температурного градієнта у фронту затвердіння і одночасне підвищення продуктивності процесу електрошлакової виплавки. Використовуючи встановлені режими підігріву методом ЕШВ + ДП були отримані виливки діаметром 10 і 15 см з сталей 20, 45ХН2МФА і 08Х18Н10Т для подальшого вивчення структури і властивостей литого металу.

1 СТАН ПИТАННЯ

1.1 Вплив умов кристалізації на структуру та властивості литої сталі

Умови процесу затвердіння мають вирішальне значення у формуванні структури виливків, розподілі домішок, дендритної ліквації елементів в сплаві, визначаючи тим самим рівень механічних властивостей та експлуатаційних характеристик литої сталі. Згідно із загальними уявленнями теорії кристалізації величина (середній діаметр) зерна в литої сталі визначається співвідношенням швидкості зародження центрів кристалізації і швидкості росту з'явилися кристалів в переохоложеному розплаві. Виходячи з аналізу розмірності величин швидкостей зародження і зростання, середній розмір кристалічного зерна може бути виражений залежністю виду [1]

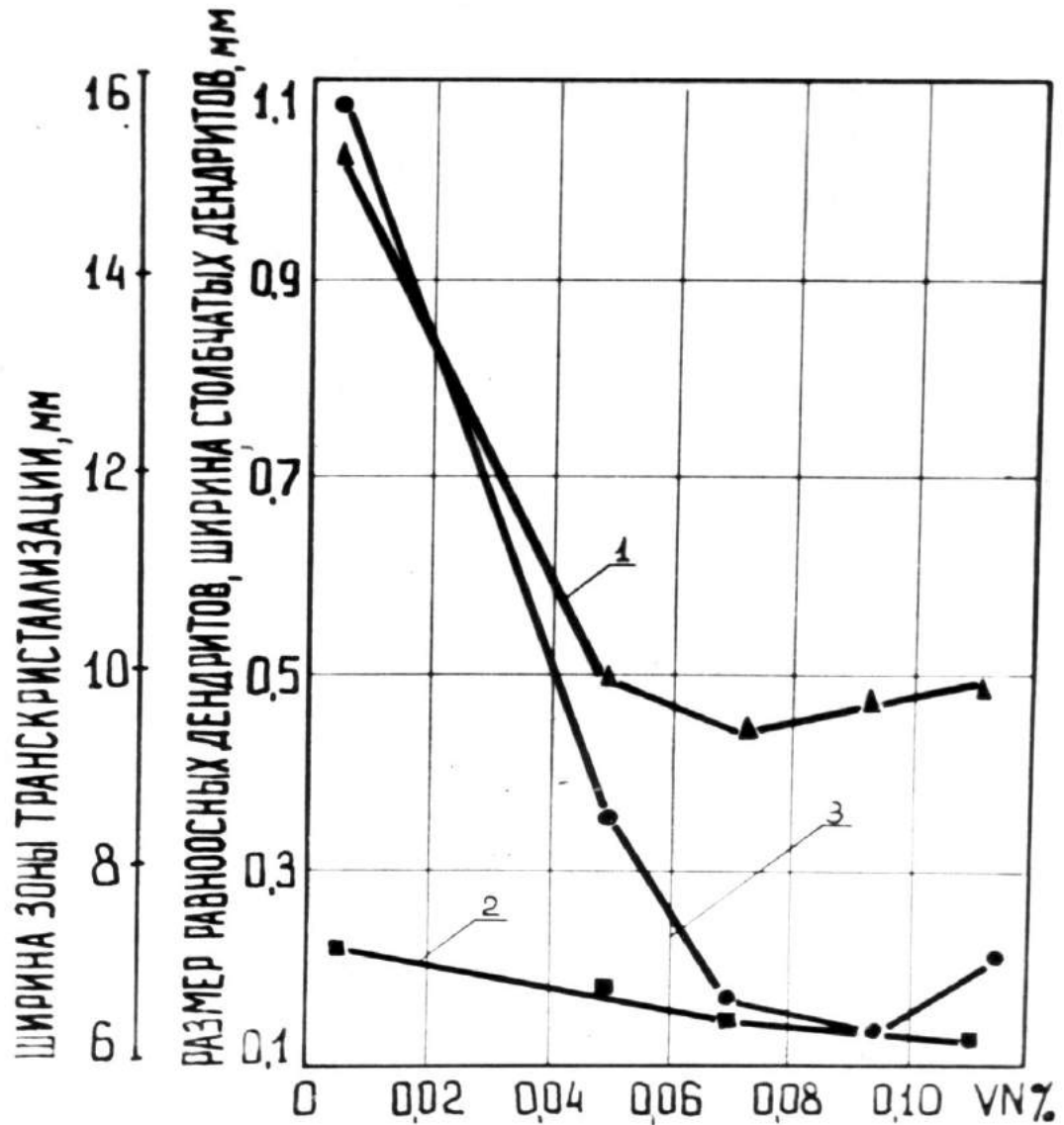
Відповідно до теорії фазових перетворень, висунутої В. Д. Гибса [2] і розвиненою в роботах М. Фольмера і Я.І. Френкеля, в загальному випадку, швидкість флуктаційного зародження центрів нових фаз при первинній кристалізації і перекристалізації в твердому стані визначається силами міжатомиї взаємодії, міжфазним поверхневим натягом, структурним переохолодженням і енергією активації зародження центрів. Причому, швидкість зародження центрів зростає при зниженні значень енергії активації зародження центрів (U), межфазного поверхневого натягу (σ) і збільшенні переохолодження (ΔT).

Стосовно до первинної кристалізації параметри U , σ , ΔT можна змінювати введенням в рідку сталь сторонніх твердих частинок і розчинних поверхнево-активних домішок [3]. При цьому видозміна литої структури (зменшення розмірів кристалітів, формування більш тонкої дендритної структури) зазвичай пояснюється двома основними механізмами: збільшенням кількості центрів кристалізації за рахунок утворення тугоплавких сторонніх включень, що знаходяться в певному структурному спорідненості з основним металом і адсорбцією модифікаторів на поверхні розділу кристал-розплав, внаслідок

чого відбувається уповільнення росту кристалів або зменшення роботи утворення центрів кристалізації [4].

Наприклад, в роботах показано, що модифікування литої сталі 38Х2МФА ванадієм призводить до зменшення середнього розміру аустенітного зерна з 37,9 мкм (серійна технологія без модифікування) до 15,11 мкм. При цьому зростає щільність макроструктури виливків, збільшується межа плинності стали на 60 ... 70 МПа і ударна в'язкість на 0,25 ... 0,30 МДж / м².

Вплив домішок нітриду ванадію на кристалічну будову виливків зі сталі 40РЛ вивчено в роботі [5]. Показано, що при введенні до 0,08% (по масі) нітриду ванадію значно зменшується ширина зони транскристалізації і розмір рівноосних дендритів (рис.1.1).



1 - ширина зони трансформізації;

2 - середня ширина стовпчастих дендритів;

3 - середній розмір рівноосних дендритів.

Рисунок 1.1 – Вплив добавок нітриду ванадію на структуру сталі 40РЛ в зливку діаметром 45 мм

Зміна дендритної будови відливок зі сталі 2Х21Н11ВЗЛ після введення будь-якої з добавок карбіду цирконію, нітриду цирконію, нітриду титану і карбіду титану досліджували в роботі [6]. Встановлено, що дані добавки зменшують відстань між дендритними гілками другого порядку в 1.4...1.5 рази,

величину рівно осевих дендритів в 3,8...4,0 рази, ширину стовпчастих дендритів в 1,4...1,6 рази. При електрошлакового виплавки, зміна умов кристалізації шляхом введення модифікаторів або інокуляторів також застосовується для поліпшення структури і властивостей литих заготовок деталей.

Дослідження [7] показали, що для литих електрошлакових сталей наступного хімічного складу: вуглець - 0,01...0,23; кремній – 0,01...0,23, марганець - 0,07 ... 0,77 введення під час плавки інокуляторів $ZrBr + Zr + CaCN_2$, $TiB_2 + Ti + CaCN_2$, $Ta (Nb) + CaCN_2$ подрібнює первинну структуру.

Присадки РЗМ істотно знижують дендритну неоднорідність електрошлакових виливків зі сталей 4Х5МФСШ, 3Х3МФСШ, 4Х4МВФСШ. Коефіцієнти дендритних ліквідації основних легуючих елементів в зазначених сталях, після модифікування РЗМ зменшилися на 12...35% [8]

Таким чином, зміна умов кристалізації шляхом модифікування сталі сприяє поліпшенню структури виливків. Однак, стосовно до електрошлакового виплавці заготовок деталей при модифікуванні сталі теплові процеси плавки, що визначають її продуктивність, залишаються незмінними. Не знає змін також і характер розподілу тепла (тепловий баланс), що не дозволяє збільшити швидкість наплавлення заготовок деталей.

Структурою виливків, в тому числі і електрошлакових заготовок деталей можна управляти, регулюючи умови кристалізації за рахунок перегріву металу при виплавці, температурою його заливки і швидкості охолодження [9]

Так, у роботі [10] встановлено, що для сталі 110Г13Л з підвищенням температури заливання від 1680 до 1800 К середній розмір литого зерна збільшився від 0,15 до 0,45 мм, що призвело до зниження механічних властивостей сталі (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Вплив температури заливки на середній діаметр литого зерна та механічні показники сталі 110Г13Л [40]

Температура заливки, К	Середній діаметр зерна, мм ;	Механічні властивості		
		σ_T , МПа	δ , %	a_n , Дж/см ²
1680	0,15	802	32,5	2,45
1720	0,27	730	29,5	2,13
1760	0,38	610	21,2	1,76
1800	0,45	568	17,5	1,23

Вплив перегріву рідкого металу на кристалічну будову виливки пов'язано з дезактивацією активних домішок, завжди наявних у технічних сплавах. Встановлено, що зі збільшенням температури перегріву розплаву під час плавки здатність активних домішок відігравати роль центрів кристалізації знижується. При певних температурах перегріву (температурах дезактивації) активні домішки не роблять впливу на процес кристалізації і будова виливки виходить грубозернистим. Про це свідчать результати робіт. Температури перегріву при яких відбувається повна дезактивація домішок, залежать від складу сплаву. Наприклад, вісмут практично повна дезактивація домішок спостерігається при перегріві на 80...90 К, в олові на 40...50 К, сталі 15Х28 - при перегріві на 100 К, у сталі 12Х18Н10Т - при перегріві на 8...10.

Під час електрошлакового виплавки заготовок деталей перегрів крапель рідкого металу за даними робіт [10] становить від 40 до 120 К, що, мабуть, для ряду сталей відповідає температурам дезактивації домішок. Тому, для зменшення величини макрозерна в електрошлаковій заготовці деталей, доцільно знизити температуру перегріву сталі під час плавки.

Швидкість охолодження надає найбільш сильний вплив на формування литої структури порівняно з температурою заливки і перегрівом розплавленого металу.

В роботі показано, що для виливків з вуглецевих сталей збільшення швидкості затвердіння в три рази (від 0,1 до 0,3 мм/с) призводить до зменшення середнього діаметра макрозерна в п'ять разів (від 2,5 до 0,5 мм). Аналогічний характер впливу швидкості затвердіння виливки на розмір литого зерна встановлений в роботах [11].

Збільшення швидкості охолодження сприяє підвищенню макроструктурності однорідності виливки. Про це свідчать порівняльні дослідження макроструктури злитків відлитих в чавунну виливницю і макроструктури електрошлакових заготовок деталей, отриманих методом ЕШВ в водо охолоджуваній мідному кристалізаторі. Якщо макроструктура звичайного злитка складається з поверхневої зони дрібних неорієнтованих кристалів, зони транскристалізації, перехідної зони спрямованих і неорієнтованих кристалів, зони великих рівно вісними кристалів і, нарешті, зони осадження індивідуальних кристалів, що утворюють "конус" в нижній частині злиток кристалічною структурою електрошлакового лиття більш однорідне. Їх макроекономічна структура характеризується наскрізний транскристалізацією. І тільки у великих електрошлаковому литті, діаметр яких перевищує 500 мм, є двофазних структура; периферичних зони яка площа стовпчастих кристали та центральної області рівно вісних кристалів [12].

Дендритна будова виливків, в тому числі і електрошлакових заготовок деталей також залежить від швидкості охолодження або швидкості кристалізації. Як було встановлено в ряді робіт дисперсність дендритних структури зростає зі збільшенням швидкості кристалізації.

В умовах затвердіння електрошлакових заготовок деталей відбувається послідовне спрямоване переміщення фронту кристалізації, обумовлене поступовим заповненням кристалізатора. У цьому випадку, на морфологію ден-

дритів їх зростання і дисперсність впливає не тільки швидкість кристалізації, але і температурний градієнт біля кордону розділу твердої і рідкої фаз.

У роботі [13] методами кількісної металографії досліджували залежність відстані - між первинними дендритними осями (D1) в наведено кристалізуються зразках при зміні швидкості кристалізації від 0,1 до 400 мкм / с і температурного градієнта в розплаві у вершин дендритів від 20 до 400 К / см. У роботі [14] для сталей наступного хімічного складу: вуглець - 0,03 ... 0,68%, марганець 0 ... 27,7%, кремній - 0,009 ... 1,1%, нікель - С .. 18,5%, мо-лібден - 0 ... 5,2%, кобальт - 0 ... 12%, титан 0 ... 27,7% здійснювали спрямовану кристалізацію при швидкостях 30, 120 і 510 мм / час і температурними градієнтами 18 ... 800 К / см. Встановлено, що відстані між дендритними осями першого, другого і третього порядків обернено пропорційно залежать від швидкості росту дендрита і температурного градієнта.

Отже, під час кристалізації виливків для зменшення структурної неоднорідності необхідно в допустимих межах збільшувати швидкість кристалізації і температурний градієнт. При електрошлакового виплавки заготовок деталей, вказані параметри істотно залежать від теплових умов плавлення витрачається електрода, змінюючи які можна впливати, як на структуру, так і на продуктивність процесу.

Наведені дані показують, що умови кристалізації визначають первинну структуру виливка. Однак, при охолодженні виливків після затвердіння і їх термообробки в більшості сталей відбувається перекристалізація і формується нова вторинна структура, яка в основному визначає фізико-механічні та експлуатаційні властивості металу. Але це не означає, що роль в управлінні формуванням первинної структури може зводитися тільки до поліпшення технологічних властивостей сталі. Первинна структура безпосередньо впливає на багато процесів, що визначають формування вторинної структури і властивостей сталі. Цей взаємозв'язок, перш за все, полягає в тому, що міжгілкові відстані визначають дисперсність розподілу сегрегації, первинних і вторинних фаз виділення, в тому числі і неметалевих включень, а протяжність між

дендритних кордонів - прикордонний виділення шкідливих домішок і неметалевих включень, а також умови зародження центрів кристалізації при охолодженні виливків після затвердіння [14]. Отже, зміна форми і розмірів первинних кристалів і між гілкових дендритних відстаней за рахунок забезпечення більш сприятливих умов кристалізації є одним з важливих механізмів формування кінцевої структури і властивостей литої сталі.

Таблиця 1.2 – Міцність сталі 40Х2НМ з різним ступенем чистоти [15]

Ступень чистоти	Зміст газів, мас.%			Зміст домішок, мас%		Міцність сталі, МПа	
	Кисень	Азот	Водень	Сірка	Фосфор	σ_B	$\sigma_{0,2}$
Обычная	0,009	0,009	0,0005	0,025	0,025	1100	980
Чистая	0,003	0,006	0,0002	0,020	0,025	1060	950
Высокочистая	0,003	0,006	0,0002	0,005	0,001	1050	950

У той же час, дослідженнями [16] встановлено, що зниження вмісту неметалевих включень в сталі, забезпечує збільшення її міцності. При отриманні заготовок колінчастих валів автотракторних двигунів зі сталі 45Г методом електрошлакової виплавки, зміст неметалічних включень в виливках знизилося в 1,2 ... 1,3 рази в порівнянні з вихідною сталлю відкритої виплавки. Після термічної обробки (нагрівання до 1110 К, гарт у воді, наступній відпустки при 770 К з охолодженням на повітрі) міцність становила: для литої сталі 45Г відкритої виплавки - $\sigma_T = 380 \dots 410$ МПа, $\sigma_B = 680 \dots 780$ МПа, а для електрошлакового заготовки - $\sigma_T = 560 \dots 590$ МПа, $\sigma_B = 820 \dots 850$ МПа [17].

1.2 Вплив теплових умов плавлення витрачається електрода на структуру відливання і продуктивність процесу

При електрошлаковій виплавки заготовок деталей процеси плавлення, рафінування і кристалізації металу протікають спільно в єдиній ємності (кристалізаторі). Тому, структура, фізико-хімічна однорідність литої сталі, ступінь її забрудненості неметалевими включеннями, сірої, фосфором, газами залежать від теплових умов плавлення витрачається електрода.

У більшості відомих технологій електрошлакової виплавки, теплові умови плавлення витрачається електрода і швидкість наплавлення виливки визначаються, в основному, величиною електричної потужності на шлакової ванні і для підвищення продуктивності процесу досить збільшити струм, що протікає через шлак. При цьому, занурення електрода в шлакову ванну призводить до концентрації тепловиділення переважно в осевій зоні кристалізується виливки, надмірного перегріву рідкого металу, зосередженому переносу

крапель в центральну частину металевої ванни. Такий характер плавлення витрачається електрода супроводжується зменшенням швидкості кристалізації виливка, зниженням температурного градієнта у поверхні розділу твердої і рідкої фаз, збільшенням забрудненості стали неметалевими включеннями і погіршенням якості металу електрошлакового відливання [18].

Отже, при електрошлакового виплавки заготовок деталей за традиційними технологіями, збільшувати продуктивність плавки шляхом форсування потужності на шлакової ванні недоцільно, так як при цьому погіршиться якість литого металу.

Розглянемо деякі варіанти зміни теплових умов плавлення витрачається електрода, що надають сприятливий вплив на структуру литого металу, його чистоту по неметалевих включень і домішок, механічні та службові властивості при одночасному забезпеченні збільшення продуктивності процесу електрошлакової виплавки заготовок деталей.

У роботах [19] запропоновано змінювати теплові умови плавлення витрачається електрода шляхом коаксіального введення в шлакову ванну невитратний електрода з електропровідного матеріалу. При цьому, збільшується концентрація тепла в зоні торця витрачається електрода (відбувається "стиснення поля"), підвищується температура шлаку в приелектродной області і зростає частка теплової потужності, що витрачається на плавлення металу. Коаксіальний невитратний електрод сприяє зниженню теплових втрат через стінку водоохолоджувального кристалізатора і перерозподілу теплових потоків по поверхні металевої ванни з більш інтенсивним введенням тепла на периферійні ділянки. Такий характер зміни теплових умов плавлення витрачається електрода забезпечує поліпшення умов кристалізації виливка, підвищення продуктивності плавки без додаткових витрат потужності на шлакової ванні. При отриманні виливків зі сталі EI 961 електрошлаковою виплавою з використанням коаксіального невитратний електрода, продуктивність плавки

збільшилася в 1,35 ... 1,40 рази, проте ка якість литої сталі підвищити даними способом не вдалося. Чистота по неметалевих включень, зміст газів, механічні властивості дослідних виливків зі сталі EI-961 були на рівні серійного металу отриманого за традиційною технологією.

Широкі можливості в управлінні тепловими процесами плавлення витрачається електрода і кристалізації металу при електрошлакового виплавки заготовок деталей, відкриває застосування магнітного поля. Найбільш ефективним, в цьому плані, виявилися дві схеми по одній з яких електрошлакової виплавки здійснювали з накладенням на шлакову ванну поперечного магнітного поля, а по другий з накладенням на рідку металеву ванну реверсивних магнітних полів.

У першому випадку, при взаємодії магнітного поля з постійною складовою струму, що протікає через шлакову ванну, відбувається обертання шлаку і змінюється характер тепловіддачі від шлаку до електрод, що витрачається. Перенесення металу при знаходить многокапельний характер (створюється крапельний дощ з електродного торця). В результаті підвищується інтенсивність обробки металу, що переплавляється рідким шлаком, а умови кристалізації зберігаються оптимальними при підвищенні швидкості плавлення злитка. В роботі показано, що при електрошлакового виплавки з накладенням постійного магнітного поля для виливків з високоміцних сталей (вуглець 0,95 ... 1,05%; марганець 0,9 ... 1,2%; Кремніці 0,2 ... 0,65%; хром 1,3 ... 1,65) скороти наплавлення можна було збільшити в 1,20 ... 1,25 рази. У той же час, якість литої структури переплавленої сталі повністю відповідало вимогам відповідних технічних умов, а розмір неметалевих включень знизився в порівнянні з виливками серійної технології. Зокрема, при ЕШВ з накладенням поля розмір оксидів змінювався в межах 1,0 ... 1,5 бала, сульфідів 0,5 ... 1,5 балів. У виливках серійної технології оксидні включення мали розмір 0,5 ... 2,5 бала, сульфідні включення 0,5 ... 2,0 бала [20].

У другому випадку, умови плавлення і кристалізації змінювали впливом реверсивного магнітного поля. У роботі показано, що виникає при цьому електромагнітний вплив повідомляє рідкого металу реверсивний обертальний рух, в результаті якого відбувається дроблення первинних дендритних осей і замість спрямованих стовпчастих кристалів формуються рівноосні дрібні зерна. Причому, в залежності від параметрів реверсивного магнітного поля (величини струму в обмотці соленоїда) істотно змінювалися як продуктивність плавки, так і механічні властивості металу. Зокрема, для сталі 14X2H3MA, отриманої з накладенням реверсивного магнітного поля, високий рівень механічних властивостей (σ_B , σ_d , δ , ψ) поєднувався з максимальною продуктивністю плавки (таблиця 1.3).

Таблиця 1.3 – Механічні властивості сталі 14X2H3MA 0 швидкість наплавлення виливки при ЕШВ з реверсивним магнітним полем

Варіант виплавки	Струм в соленоїді, А	Швидкість наплавлення зливка * кг/с 10^{-3}	Механічні властивості			
			σ_B МПа	σ_d МПа	δ %	ψ %
Серійна технологія	-	6,77	1378	1254	13,1	66,2
Із застосуванням реверсивного магнітного поля	200	7,22	1381	1273	14,3	69,3
	300	8,05	1392	1280	14,4	67,7
	400	8,77	1398	1317	14,9	67,1

Поліпшення структури і властивостей електрошлакових заготовок деталей при одночасному збільшенні продуктивності плавки досягається

змінюю теплових умов плавлення витрачається електрода і затвердіння виливки за рахунок реверсивного обертання кристалізатора (РВК). У роботі встановлено, що при електрошлакового виплавки виливків діаметром 120 мм зі сталі ЕІ 481 зі збільшенням частоти реверсів швидкість наплавлення зростає від 0,84 до 1,05·10⁻² кг. Причому, стовпчасти кристали, спрямовані в серійної електрошлакового відливання під невеликим кутом до осі, міняли свій нахил. Кут нахилу збільшувався тим більше, чим інтенсивніше було РВК. Поперечний розмір стовпчастих кристалів у виливок, отриманих на оптимальному режимі резервування, зменшився майже в три рази в порівнянні зі структурою серійної виливки. Механічні властивості ($\sigma_b, \sigma_d, \delta, \psi$) виливків зі сталі ЕІ 481, отриманих з РВК збільшилися в середньому на 5 ... 10%, а тривала міцність і пластичність зросли, відповідно в 1,15 ... 1,25 рази і 2,2 ... 2,5 рази. Однак, застосування реверсивного обертання кристалізатора для поліпшення структури литого металу і підвищення його механічних характеристик, можливо тільки для виливків, що мають просту форму тіл обертання.

У ІЕЗ ім. Є.О. Патона проводяться роботи по оптимізації теплових умов плавлення витрачається електрода з метою отримання найбільш сприятливого фронту кристалізації електрошлакового заготовки за рахунок забезпечення рівномірного підведення тепла до поверхні металевої ванни. Найбільш перспективним напрямком, в цьому плані, є застосування примусового оплавлення електродного торця [21].

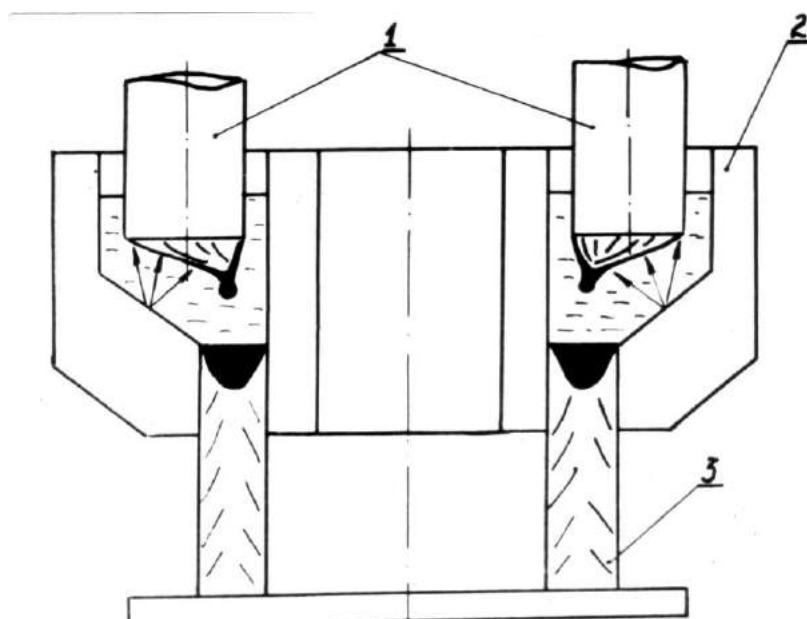
Відомо, що розташування джерел каплепадения на електродному торці робить істотний вплив на геометричні розміри металевої ванни, умови кристалізації, а, отже, на геометричні розміри металевої ванни, умови кристалізації, а, отже, на структуру литого металу. Досліди, проведені в ІЕЗ ім. Є.О. Патона по електрошлакового виплавки з подачею струменя газу на плавкий торець витратного електрода показали, що струмінь газу змінює теплові умови

плавлення електродного торця і тим самим впливає на його форму і характер капле падіння. При дослідженні на "холодної" моделі процесу переплавки великотоннажних злитків-слябів було встановлено, що без впливу газового струменя на торець, падіння крапель відбувається, в основному, з середини прямокутного перетину торця електрода. Тому, найбільша кількість тепла переноситься з краплями розплавленого металу в центральну частину виливки. Це може привести не тільки до зниження фізико-хімічної однорідності металу в центрі виливки, але і до утворення осьової пористості, грубої усадочною раковині і деяким іншим дефектам макроструктури. При подачі аргону в сопла, спрямовані на електродний торець, навпаки сопел на торці утворюються виїмки, а між ними конуси з яких і відбувається капле падіння розплавляється металу.

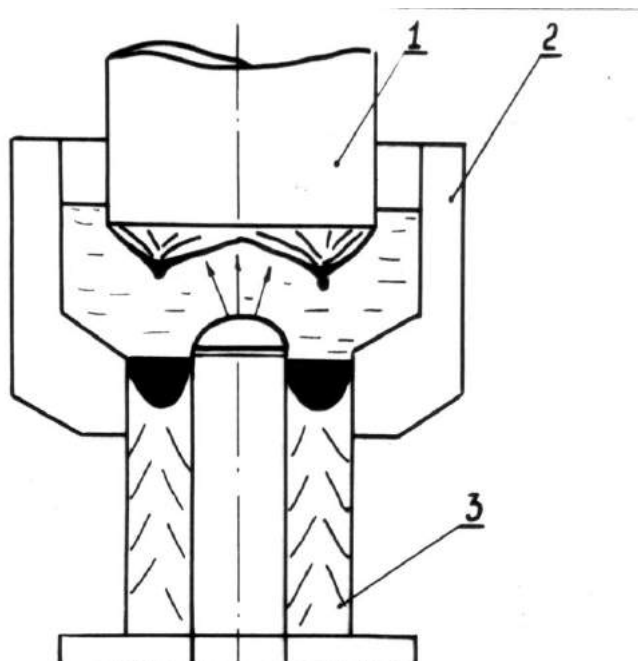
В цьому випадку, зростає швидкість плавлення електрода, а падіння крапель відбувається рівномірно по перетину виливка.

У реальному процесі, також як і на моделі, спостерігали збільшення продуктивності плавки і переміщення центрів краплеутворення до периферії торця електрода за рахунок подачі газу під його центральну частину.

На рис.1.2 показані деякі схеми електрошлакової виплавки з примусовим місцевим опалювальному електродів, розроблені в ІЕЗ ім. Є.О.Патона. Необхідна топографія джерел каплепадения створюється відповідним тепловим впливом газошлакових потоків на плавкий електродний торець.



а



б

1 – витрачає мий електрод; 2 – кристалізатор; 3 – відливка; а – виплака полого злитка або обичайки; б – виплавка трубчастої заготівки.

Рисунок 1.2 – Схема електрошлакової виплавки з примусовим місцевим опалювальному витрачаємого електрода [21]

Наведені дані показують, що умови кристалізації електрошлакових виливків, їх структура і властивості, а також продуктивність плавки істотно залежать від теплових особливостей плавлення витрачається електрода. Продуктивність процесу визначається кількістю тепла, що йде на плавлення металу, а структура, забрудненість неметалевими включеннями і властивості литої сталі в більшій мірі залежать від характеру введення тепла в електрод, що витрачається. Однак, у всіх розглянутих випадках шлакова ванна залишається єдиним джерелом тепла, що визначає одночасно протікання процесів плавлення, рафінування і кристалізації. Тому, при електрошлакового виплавки заготовок деталей, електричні параметри на шлакової ванні вибирають таким чином, щоб забезпечити, в першу чергу, необхідний рівень властивостей литої сталі. З цією метою доводиться, в певних межах.

У будь-якому випадку, для збільшення продуктивності процесу електрошлакової виплавки в електрод, що витрачається необхідно ввести додаткову кількість тепла. Якщо електричні параметри на шлаку залишити незмінними, виходячи з умов забезпечення оптимальних умов кристалізації виливка, то додаткове тепло в електрод, що витрачається можна ввести, використовуючи допоміжний джерело нагріву. Такий технологічний прийом, т.е.прімененіє комбінованого нагріву з використанням двох і більше джерел тепла, вже використовується в деяких сталеплавильних процесах, при зварюванні і наплавленні.Зокрема, як показано в роботі, підігрів електродного дроту додатковим джерелом тепла під час зварювання і наплавлення призводить до збільшення продуктивності даних процесів. G_{II} при додатковому підігріві, в порівнянні зі звичайним процесом G , визначається відношенням

Важливою особливістю плавлення зварювального дроту, нагрітої додатковим джерелом тепла, є зниження температури перегріву крапель електродного металу. За даними при зварюванні дротом СВ-08г2са діаметром 3 мм зі збільшенням температури підігріву від 400 до 900 К, температура кра-

пель електродного металу знизилася від 2370 до 2000 К. З огляду на, що при електрошлакового виплавки з краплями розплавленого металу вноситься 60...70% тепла в металеву ванну, можливість зменшення температури перегріву крапель, дозволить поліпшити умови кристалізації виливка, а також повинна сприяти формуванню більш дрібного литого зерна.

Можливості використання підігріву витрачається електрода додатковим джерелом тепла для підвищення техніко-економічних показників електрошлакового процесу в даний час вже розглянуті в ряді робіт як радянських, так і зарубіжних вчених.

В роботі відзначено, що підігрів витрачаємих електродів додатковим джерелом тепла, аж до 1200 К дозволяє підвищити коефіцієнт енергетичної ефективності процесу від 0,50 до 0,58. Залежно від конкретних умов плавки за серійною технологією, значення коефіцієнта енергетичної ефективності змінюються в межах від 0,25 до 0,50.

Збільшення продуктивності процесу електрошлакової плавки може бути досягнуто в разі переплавки витрачаємих електродів з підвищеною температурою, після їх спеціального нагріву в газових печах або після відпалу.

Відомий спосіб, якому плавлення витрачаємого електрода в шлаковій ванні сприяє система плазових пальників (або індуктор), що забезпечує збільшення продуктивності процесу. Для аналогічних цілей в патенті запропоновано здійснювати додатковий підігрів електрода до температури, яка нижча за температуру плавлення металу не більше, ніж на 573 К.

В роботі запропонований нагрів витрачаємих електродів паливними пальниками, встановленими в плавильному поясі печі на відстані не більше трьох діаметрів електродів від поверхні шлакової ванни.

Одним з варіантів інтенсифікації електрошлакового процесу за рахунок застосування додаткового джерела тепла є підігрів під час плавки, що витрачаємого електрода і поверхні шлакової ванни плазовим пальником

У Дніпропетровській металургійній академії проведені теоретичні дослідження можливості застосування підігріву витрачаємого електрода газовим полум'ям для підвищення техніко-економічної ефективності електрошлакового процесу. Встановлено, що за рахунок додаткового підігріву можна знизити витрати електроенергії на 18 ... 20% і підвищити продуктивність електрошлакової виплавки на 10% [22].

Збільшення часу перебування витрачаємого електрода при підвищених температурах впливає на подальше рафінування металу. Дослідженнями, проведеними в ІЕЗ ім.Е.О.Патона, встановлено, що ще до моменту розплавлення, в металі витрачаємого електрода при температурах порядку 1373...1473 К відбуваються процеси дисоціації і часткового розчинення сульфідних включень у твердій фазі. Здається, додатковий підігрів витрачаємого електрода, також повинен сприяти протіканню цих процесів.

Наведені дані свідчать про доцільність застосування додаткового підігріву витрачаємого електрода для підвищення техніко-економічних характеристик електрошлакового процесу, але питання про поліпшення якості литого металу не розглядався. Слід зазначити, що додатковий підігрів істотно змінює теплові умови плавлення витрачаємого електрода, що, безумовно, повинно вплинути на структуру і властивості електрошлакових заготовок деталей.

1.2 Цілі та завдання досліджень.

З наведених в літературному огляді даних випливає, що при зміні умов затвердіння виливки збільшенні швидкості кристалізації і температурного градієнта у фронті затвердіння, формується більш тонка і однорідна первинна структура виливки, зменшується її мікрохімічна неоднорідність, що забезпечує поліпшення властивостей литого металу.

Для виливки деталей, отриманих електрошлаковою виплавою, параметри кристалізації і зміст неметалевих включень суттєво залежать від характеру оплавлення електродного торця і теплових умов плавки. Підігрів витрачаємого електрода під час плавки додатковим джерелом тепла забезпечує збільшення продуктивності процесу і в той же час змінює теплові умови плавки, що має відбитися на структурі і властивостях литої сталі. Тому, доцільно визначити такі параметри підігріву витрачаємого електрода, при яких можливо забезпечити більш сприятливі умови кристалізації виливка і одночасно збільшити швидкість її наплавлення в порівнянні з серійною технологією (т. е. без підігріву електрода).

У зв'язку з цим, в даній роботі поставлені наступні завдання:

1. Дослідити вплив додаткового підігріву витрачаємого електрода на характер оплавлення електродного торця, умови кристалізації виливка.

2. Визначити режими підігріву витрачаємого електрода при яких можливо збільшити швидкість кристалізації і температурний градієнт перед фронтом затвердіння при одночасному підвищенні продуктивності плавки в порівнянні з серійною технологією електрошлакової виплавки.

3. Провести механічні випробування литого металу, отриманого ЕШВ + ДП.

4. Вивчити вплив швидкості кристалізації і температурного градієнта перед фронтом затвердіння на макро та мікроструктуру і мікрохімічну неоднорідність литих заготовок деталей отриманих методом ЕШВ + ДП.

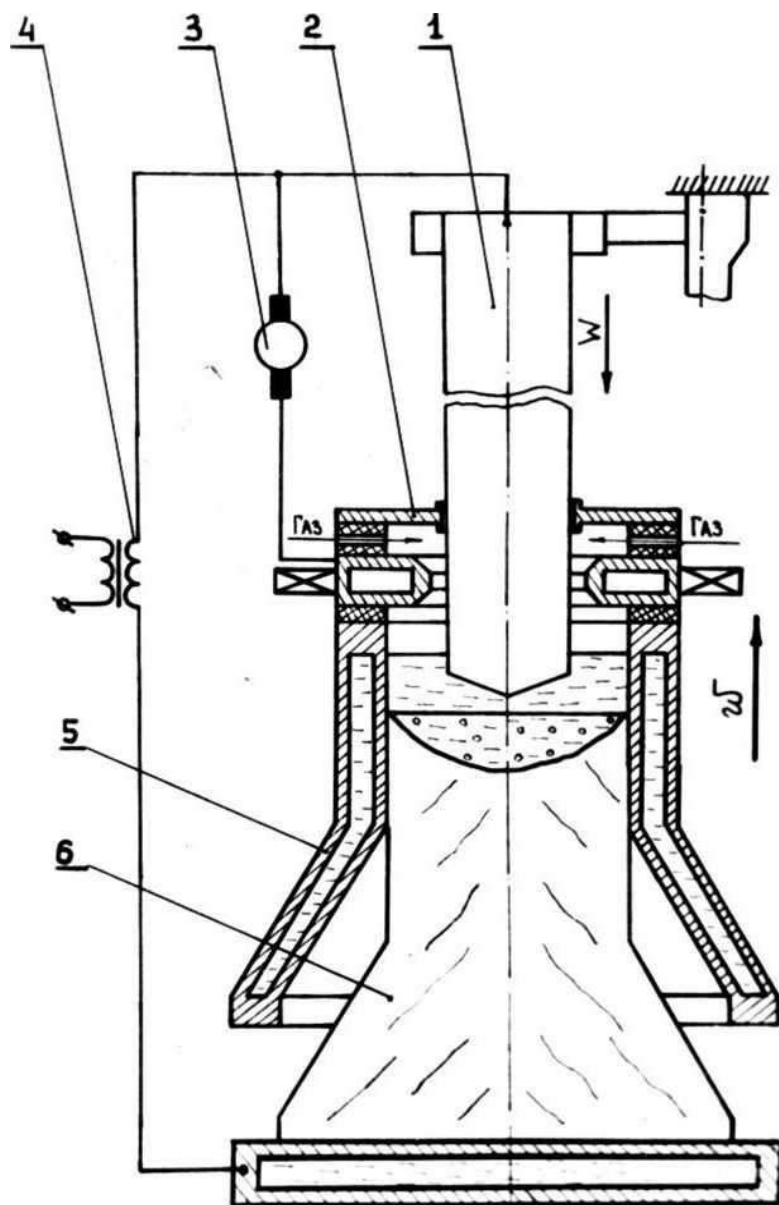
2 МАТЕРІАЛ, МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛИТОГО МЕТАЛУ, ОБЛАДНАННЯ

2.1 Матеріал для дослідження

Як матеріал для досліджень були обрані сталі 20, 45ХН2МФА і 08Х18Н10Т. Комплексне дослідження структури і властивостей дослідних заготовок деталей, отриманих вперше методом електрошлакової виплавки з додатковим плазменно-дуговим підігрівом витрачаємого електрода ЕШВ + ДП (рис.2.1) проводили на відливках з вищевказаних марок сталей діаметром 10 і 15 см масою від 17 до 42 кг. Хімічний склад витрачаємих електродів, використаних для отримання дослідних виливків, наведено в таблиці 2.1.

2.2. Методики досліджень литого металу

Плазменно-дуговий підігрів витрачаємого електрода під час плавки робить складний вплив на технологічний і металургійний хід електрошлакового процесу, що безумовно відбивається на структурі і властивостях литого металу. Для більш достовірної оцінки впливу додаткового плазменно-дугового підігріву витрачаємого електрода на якість металу, структуру і властивості виливків, отриманих методом ЕШВ + ДП, порівнювали зі структурою і властивостями злитків серійної технології, т. є. отриманих методом ЕШВ. Схема способу електрошлакової виплавки (переплавки) з додатковим плазменно-дуговим підігрівом витрачаємого електрода



1 - електрод, що витрачається; 2 - плазово-дугового нагрівач; 3,4 - джерела живлення; 5 - кристалізатор; 6 - виливок.

Рисунок 2.1 – Схема електрошлакової виплавки

2.2.1 Дослідження макроструктури литих заготовок деталей

Дослідження макроструктури виливків проводили на поздовжніх і поперечних Темплете, після травлення в 50% водному розчині азотної кислоти. Оцінку макроструктури проводили по ГОСТ.

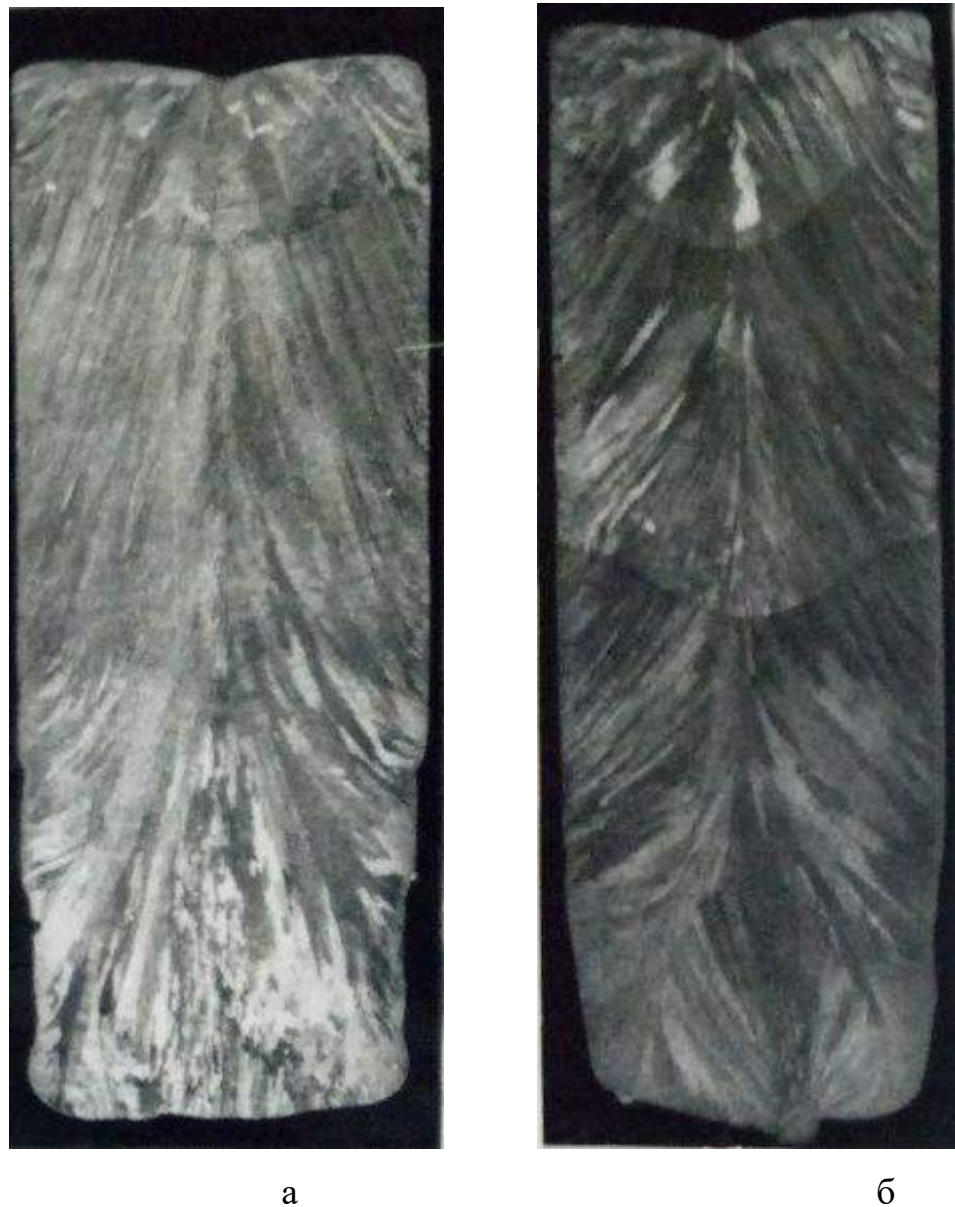


Рисунок 2.2 – Схема різання злитків (а), відбору проб і зразків (б) для проведення дослідження якості металу виливків

2.2.2 Дослідження дендритної структури і дендритної ліквідації

Дослідження дендритної структури проводили на зразках, відібраних з центру і на половині радіуса виливки на двох горизонтах (див.рис.2.2б). Для виявлення дендритної структури застосовували теплове травлення. Отримані структури фотографували на мікроскопі NEOFOT-2 при збільшеннях 10 ... 25. Дисперсність структури визначали відстанню між дендритними осями першого Д1 і другого Д2 порядків згідно рекомендацій. Відстань між дендритними осями першого порядку визначали методом січних, а дисперсність Д1 розраховували як середнє арифметичне за значеннями 50 замірів. Дисперсність осей другого порядку вираховували за формулою

Для забезпечення відносної похибки не більше 5 ... 7% при 5% рівні значущості, відстань між осями другого порядку підраховували не менше, ніж на 60 дендритах.

Ступінь дендритної ліквідації оцінювали за коефіцієнтами ліквідації відповідно до методики. Коефіцієнти ліквідації розраховували як відношення концентрації хімічного елемента в межосному просторі до концентрації елемента на осі дендрита. Концентрації елементів визначали мікрорентгено спектрального методом на мікроаналізаторах MS-46 "Camera".

2.2.3 Дослідження мікроструктури відливок

Мікроструктурний аналіз литого металу проводили методами світлової мікроскопії на тих же зразках, що і дослідження дендритної структури з використанням металографічних мікроскопів МІМ-8 і NEOFOT-2. за загальноприй-

нятими методиками при збільшенні 100 ... 500 крат. Для виявлення мікроструктури використовували стандартні реактиви.

Тим, хто має пересікаючі ниті і шкалу на 100 поділок при тріхсоткратном збільшенні. Досліджувані зразки переміщали уздовж осі мікроскопа і фіксували тільки ті зерна, які потрапляли в перехресті окулярмікрометра. Діаметр зерна визначали як середнє арифметичне суми найменшого і найбільшого розмірів зерна і відносили до певної розмірної групи. В основу угруповання розмірів зерен в лінійному методі покладено середній діаметр зерна, зростаючої від однієї групи до іншої в арифметичній прогресії різниця якої була прийнята рівною.

Похибка при оцінці величини зерна даними способом не перевищувала 10%.

Проби для хімічного аналізу відбирали відповідно до вимог ГОСТ 7565-61. Контроль хімічного складу досліджуваних сталей здійснювали хімічним і спектральним методами по ГОСТ 22536-77, ГОСТ 22536.13-77, ГОСТ 2604.0-77, ГОСТ 2604.12-77 на спектрографах ІСП-26, ІСП-22.

2.2.4 Дослідження механічних властивостей відливок

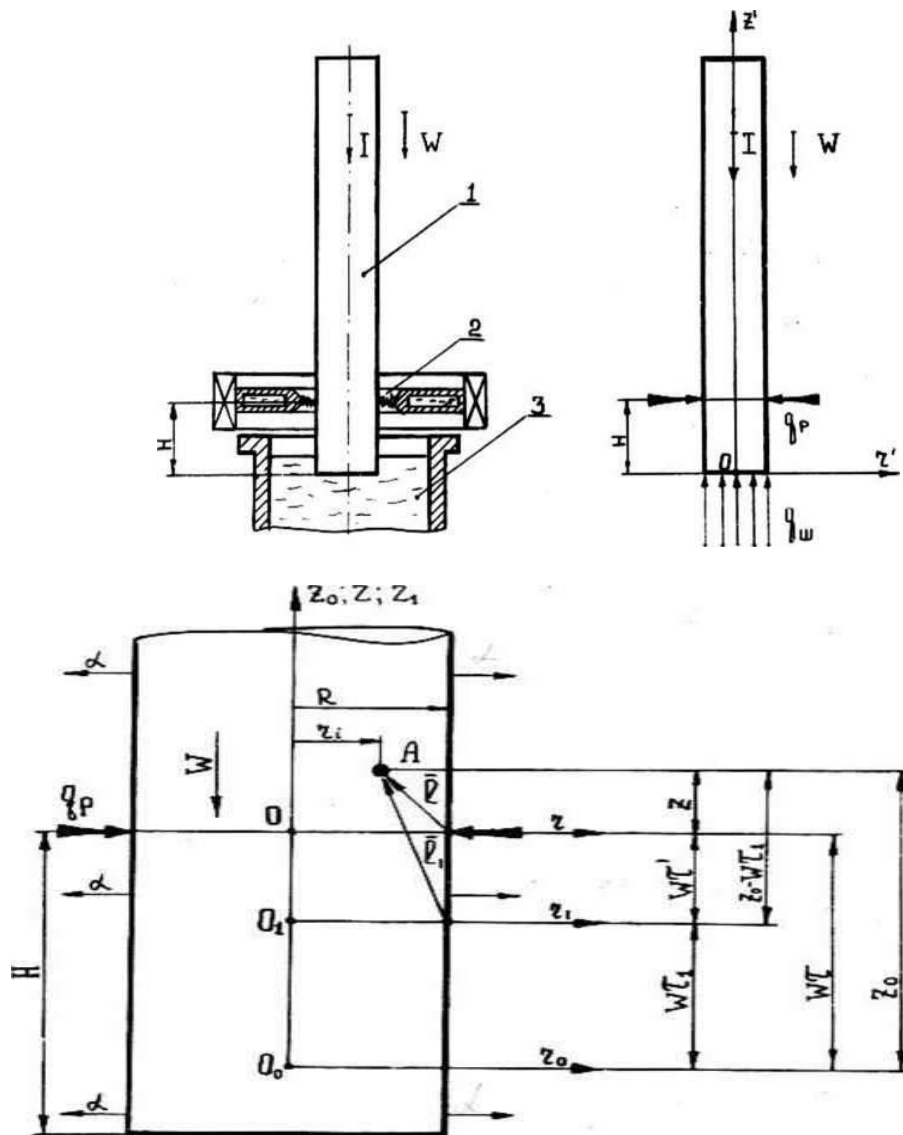
Випробування литого металу на розтяг проводили по ГОСТ 1497-78 на циліндричних зразках з початковим діаметром 5 мм і початковою розрахунковою довжиною 50 мм. Визначали межу плинності, межу міцності, відносне подовження і відносне звуження. Ударну в'язкість литого металу визначали по ГОСТ 9454-78 на зразках розміром 55 x 10 x 10 мм з U концентратором на маятниковому копрі МК-30. Зразки для досліджень вирізали з поздовжніх темплетов в площині перпендикулярній осі виливки.

2.3 Методики розрахунку температури електрода при плазово-дуговому нагріванні

Для дослідження характеру і форми оплавлення торця витрачаємого електрода при ЕШВ з додатковим підігрівом була розроблена математична модель, що описує розподіл температури по висоті (H) і радіусу (r) торця при спільному нагріванні електрода шлаковій ванні і плазменно-дуговим нагрівачем. Розрахувавши температурне поле в електродному торці і побудувавши ізотерму $T = T_{пл}$ в координатах H - r , можна визначити профіль плавкого торця і характер утворення на ньому джерел каплепадения, що робить істотний вплив на умови кристалізації і якість металу електрошлакового відливання. Схема нагріву витрачаємого електрода, покладена в основу даної методики, наведена на рис.2.3а.

Згідно з принципом суперпозиції, температурне поле електрода $T_2(Z, r)$ можна представити як суму температурних полів, що встановилися, відповідно, від плазменно-дугового нагрівача $T_2(Z, r)$ і від шлакової ванни $T_1(Z, r)$. (2.5)

$$T_3(Z, r) = T_1(Z, r) + T_2(Z, r)$$



а

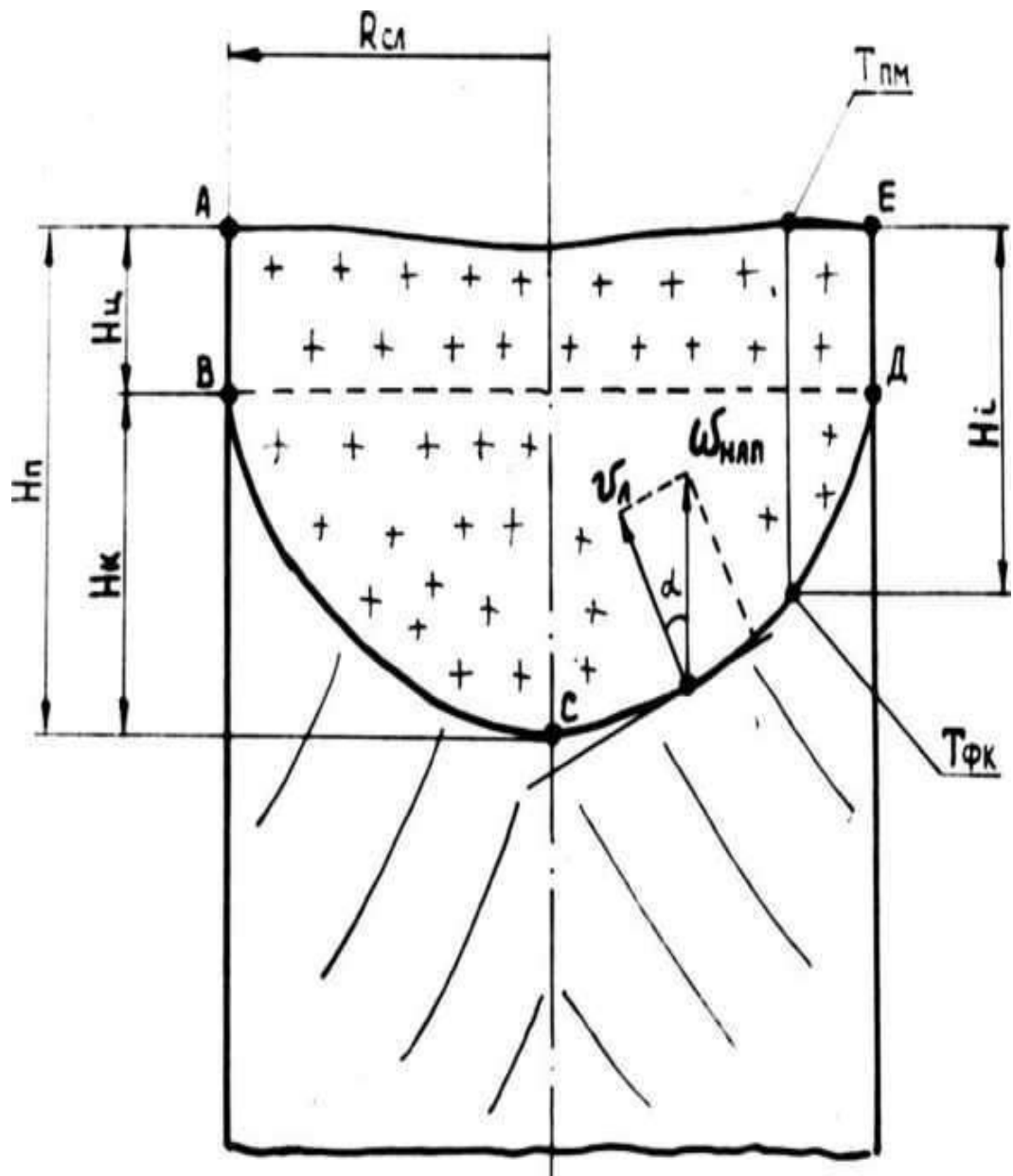
1- електрод, що витрачається; 2 - плазмова дуга; 3 - шлаковая ванна.

Рисунок 2.3 – Схема надходження тепла в електрод, що витрачається при ЕШВ + ДП (а) і розрахункова схема для визначення температурного поля в що витрачається електроді від додаткового плазменно-дугового нагріву (б).

2.4 Методика вивчення умов кристалізації

Згідно методичних рекомендацій умови кристалізації електрошлакових виливків якісно оцінювали за формою і розмірами металевої ванни, яку фіксували в кінці плавки засипанням сірчистого заліза. На поздовжніх темплітах, вирізаних через центр виливки заміряли геометричні характеристики металевої ванни (рис.2.4) і розраховували коефіцієнт фронту кристалізації $K_{ф.к.}$ і коефіцієнт форми ванни $K_{ф.к.}$. За якими якісно порівнювали умови кристалізації досвідних і серійних відливків. Вія кристалізації дослідних і серійних відливків. (2.25)

Якщо $K_{ф.м.} = 1.0$ металева ванна складається тільки з циліндричної частини і електрошлаковий злиток, незалежно від абсолютного значення висоти ванни, має осьовий напрямок росту кристалів. При формуванні злитка з радіально-осьової структурою $K_{ф.М.} = C, 2 \dots 0,4$, а $K_{ф.К.} = 0,65 \dots 0,75$. При надмірно глибокій ванні з сильно розвиненою конусною частиною ($K_{ф.М.} < 0,2$, $A_K + L = 0,4 \dots 0,5$) напрямок росту кристалів наближається до радіального, а структура електрошлакового металу стає близькою до структури металу, що кристалізується в звичайній виливниці. Таким чином, задовільна форма ванни і радіально. Осева спрямованість росту кристалів забезпечується якщо $K_{ф.к.} > 0,2$ і $K_{ф.к.} > 0,65$. При цьому, умови кристалізації тим сприятливіші, ніж вище значення $K_{ф.к.}$. Однак, при ЕШВ по серійної технології можливість збільшення обмежується тепловими умовами плавки і якістю поверхні виливки.



ABCDEA-металева ванна, зафіксована сірчистим залізом;

ABDEA- циліндрична частина металевої ванни;

BCDB- конічна частина металевої ванни;

H_{Σ} - Повна висота ванни;

$H_{\Sigma c}$; H_k висота циліндричної і конічної частин ванни.

Рисунок 2.4 – Схема до розрахунку коефіцієнтів фронту кристалізації, коефіцієнтів форми ванни, лінійної швидкості кристалізації виливка і температурного градієнта у фронту кристалізації

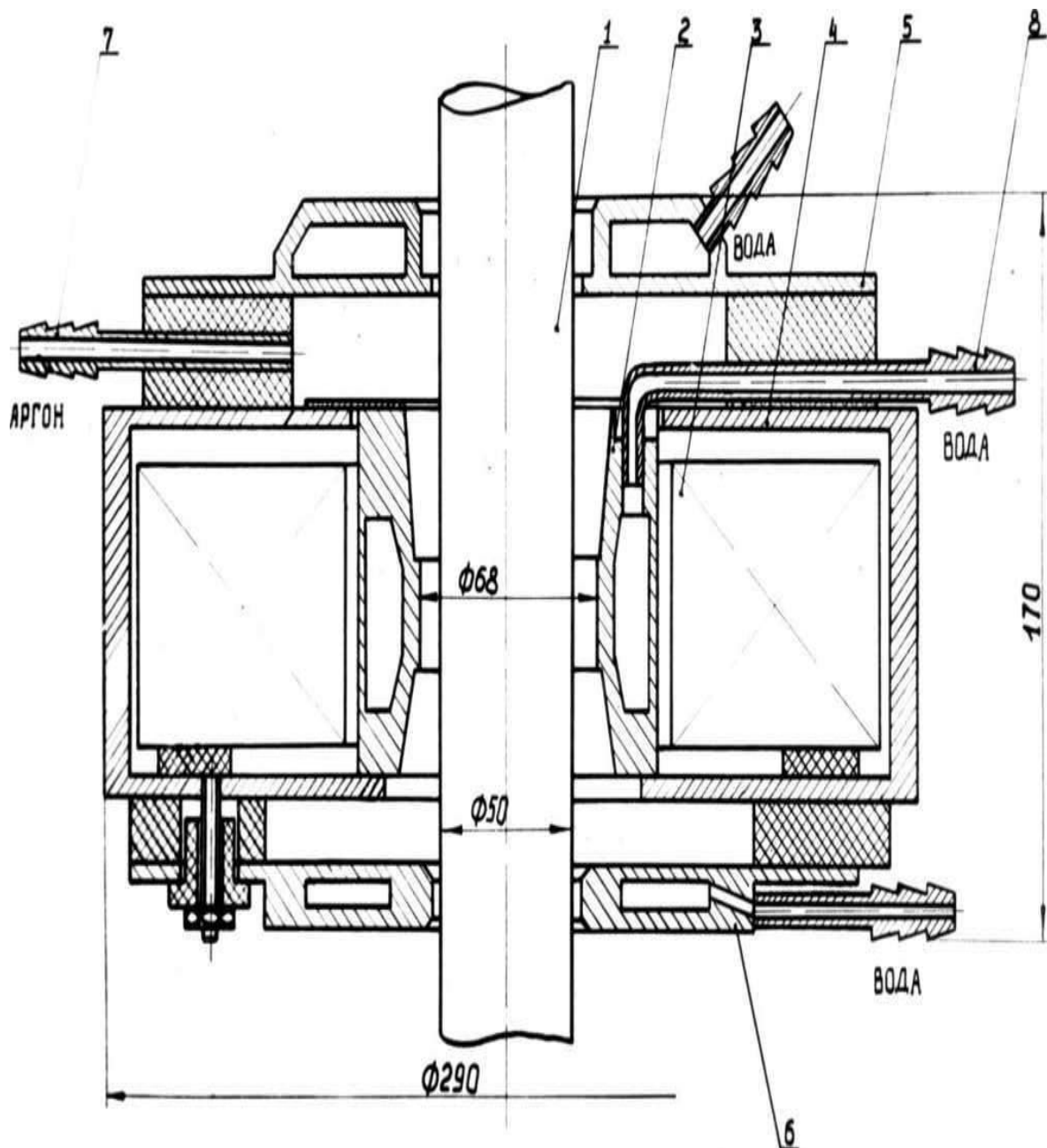
2.5 Обладнання

2.5.1 Плазменно - дуговий нагрівач

В результаті порівняльної оцінки техніко-економічної, ефективності найбільш прийнятних для даної мети джерел тепла, для підігріву витрачається електрода був запропонований дугового розряд і розроблені спеціальні плазменно-дугові нагрівачі коаксіального типу.

На рис.2.5 представлена типова конструкція нагрівача для підігріву витрачаемого електрода діаметром 5 см. Нагрівач складається з кільцевого водоохолоджуваного мідного катода 2, розташованого коаксиально електрода, що витрачається 1. Постійне магнітне поле створюється соленоїдом 3, а необхідна топографія поля в міжелектродному зазорі формується магнітопроводом 4. Для забезпечення сталості межелектродного зазору, при переміщенні витрачаемого електрода, передбачені верхній 5 і нижній 6 водоохолоджувані центратори. Вода для охолодження центраторів підводиться через штуцери. Плазмообразуючий газ подається через штуцер 7. Електричний струм підводиться до катода через водоохолоджувані трубки 8.

Дуговий розряд збуджують між кільцевим катодом 2 і електродом, що витрачається 1. Накладення постійного поперечного магнітного поля на струм дуги призводить до виникнення електромагнітної сили переміщує дугового розряд в міжелектродному кільцевому проміжку.



1 - споживаний електрода; 2 - кільцевий катод; 3 - соленоїд; 4 - магнітоп-
ровід; 5,6 - центратори; 7 - штуцер для подачі аргону; 8 - трубки для охоло-
дження водою катода.

Рисунок 2.5 – Конструкція плазменно-дугового нагрівача для підігріву
витрачаємого електрода діаметром 5 см.

Багаторазове переміщення дуги в кільцевому зазорі з лінійною швидкістю більше 30 ... 50 м / с забезпечує рівномірний прогрів витрачаємого електрода одним дуговим розрядом. Змінюючи електричну потужність дуги, швидкість її переміщення і деякі інші параметри, можна в широких межах регулювати термічний цикл нагріву витрачаємого електрода.

2.5.2. Электрошлакова установка

Плавки проводили на Электрошлаковом установках типу А-550, Які додатково обладнали плазмодуговімі нагрівачами витрачаємого електрода і пультом управління параметрами нагріву. Залежних від діаметра витрачаємого електрода, застосовували нагрівачі відповідного типорозміру. На мал.2.6 показана лабораторна установка на базі електрошлакової печі А-550 для проведення плавки з додатковий підігрівом витрачаємого електрода [22]. Джерелом живлення плазмодугових нагрівачів служили два послідовно з'єднаних зварювальних віпрямувача ВПУ-1600.

Установка для отримання заготовок деталей методом електрошлакової виплавки з додатковим плазмодуговим підігрівом витрачаємого електрода.

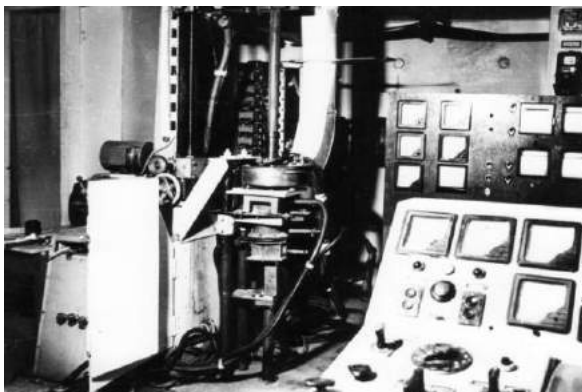


Рисунок 2.6 – Дослідна електрошлаковом установка

Серійні і дослідні виливки зі сталі 20, 45ХН2МФА і 08Х18Н10Т, виплавляли на установках А-550, за однофазною одноелектродною схемою з використанням флюсу АНФ-б. Витрачаєвими електродами служили штанги діаметром 6 см і 10 см (хімічний склад см. в таблиці 2.1) переплавляють відповідно в кристалізатори діаметром 0,1 м і 0,15 м. При проведенні плавок за серійною технологією електричні параметри режиму були обрані з урахуванням рекомендацій виходячи з умови отримання максимально допустимої швидкості наплавлення злитка. Параметри додаткового підігріву вибирали за результатами досліджень характеру оплавлення електродного торця і умов кристалізації виливки.

У досвідчених плавках підігрів витрачаємого електрода починали одночасно з розведенням. У стаціонарний період плавки електричний режим на шлаку і параметри підігріву підтримували автоматично. Під час процесу фіксувалися струм і напруга на шлакової ванні, струм і напруга дуги нагрівача, швидкість подачі електрода, час плавки, розхід електроенергії. В якості плазмообразуючого газу використовували аргон, який одночасно захищав поверхню витрачаємого електрода від окислення.

З ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОДАТКОВОГО ПІДІГРІВУ ВИТРАЧАЄМОГО ЕЛЕКТРОДА НА ХАРАКТЕР ОПЛАВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОДНОГО ТОРЦЯ

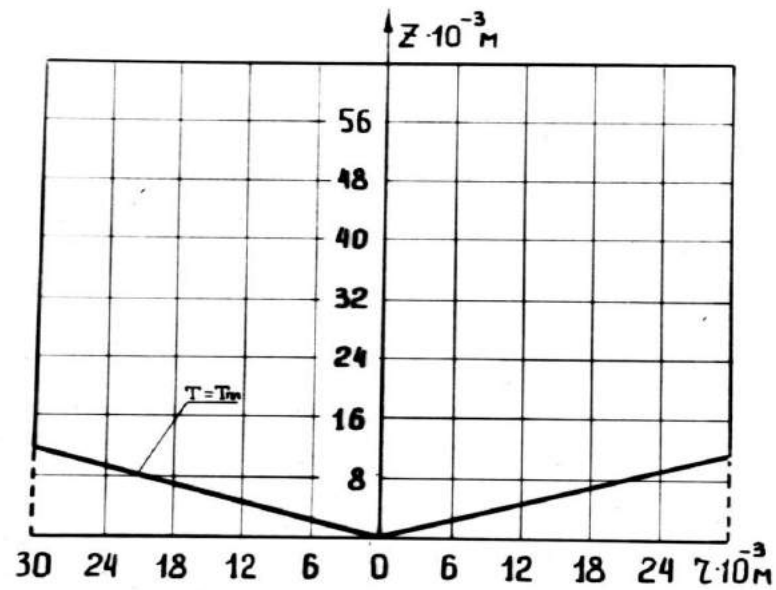
Для електрошлакової виплавки методом ЕШВ+ДП заготовок деталей, призначених для дослідження структури і властивостей литого металу, треба було визначити конкретні режими підігріву, так як в літературі практично немає рекомендацій з даного питання. З цією метою необхідно вивчити вплив потужності додаткового підігріву на характер оплавлення електродного торця і умови кристалізації електрошлакового відливання.

Вплив параметрів додаткового плазменно-дугового підігріву на характер оплавлення електродного торця досліджували шляхом математичного моделювання з урахуванням умов переплавки витрачаємого електрода діаметром 6 см зі сталі 45ХН2МФА під флюсом АНФ-б в кристалізатор діаметром 10 см. Як впливає з рівняння 2.2 (див.розділ 2.3) основними параметрами додаткового підігріву, що впливають на температурне поле торця електрода, є потужність підігріву ($N_{\text{под}}$) і відстань від поверхні шлакової ванни до плазмотрона (H). З огляду на, що дослідні плавки проводили з витягуванням зливка з кристалізатора, відстань від поверхні шлакової ванни до нагрівача було постійним і для даних умов склало 6 см. Інтервал варіювання величиною потужності додаткового підігріву взяли від Про до 15 кВА, виходячи з орієнтовного розрахунку збільшення швидкості наплавлення злитка в два рази в порівнянні з серійною технологією. Розрахунок температурних полів виконаний на ЕОМ за розробленою програмою (див. додаток 1).

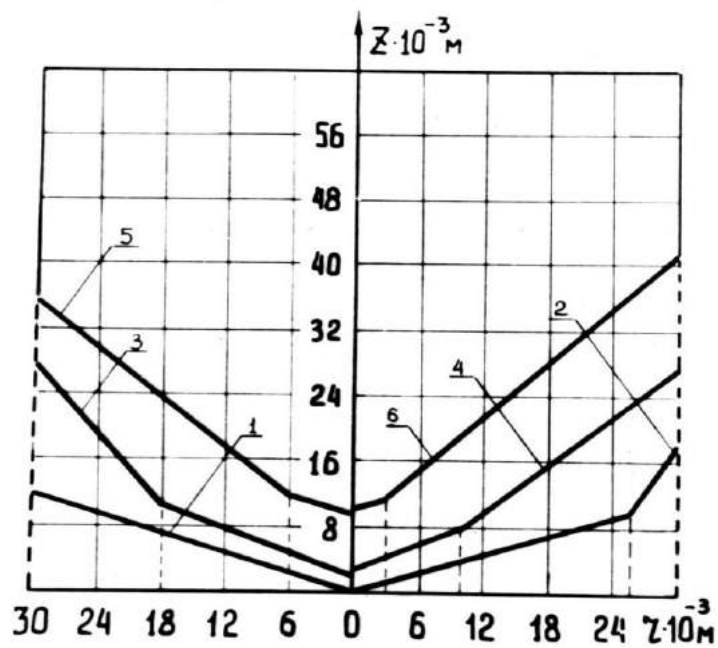
За результатами розрахунку побудовані ізотерми $T = T_{\text{пл}}$ в координатах 2-7. (рис.3.1 а,б), які представляють собою утворення електродного торця, відповідно при ЕШВ за серійною технологією і ЕШВ з додатковим плазменно-дуговим підігрівом витрачаємого електрода. Згідно рис.3.1 впливає, що при ЕШВ за серійною технологією утворює торця - пряма лінія з кутом нахилу що-

до осі 02 рівним 0,51 радіан. В даному випадку торець витрачаємого електрода буде мати форму конуса з вершиною на осі, яка є єдиним джерелом капле падіння [23].

При ЕШВ з додатковим плазменно-дуговим підігрівом расходуємого електрода вид утворює $T = T_{пл}$ визначається величиною потужності підігріву. Зокрема, якщо потужність підігріву не перевищувала 1,5 ... 3,1 кВА, то утворює також представляла собою пряму лінію, за формою електродного торця і характер його оплавлення були практично такими ж, як і при ЕШВ за серійною технологією. Однак, вже при потужності підігріву 4,5 кВА на утворює виникає перегин. який розділяє її на два прямолінійних відрізка з різними кутами нахилу щодо осі 02 (див. рис.3.16). Поява точки перегину призводить до формування додаткового джерела каплепадення. Причому, на електродному торці джерела каплепадення розташовуються у вигляді концентричного кола, що було підтверджено експериментально (рис.3.26).



а



б

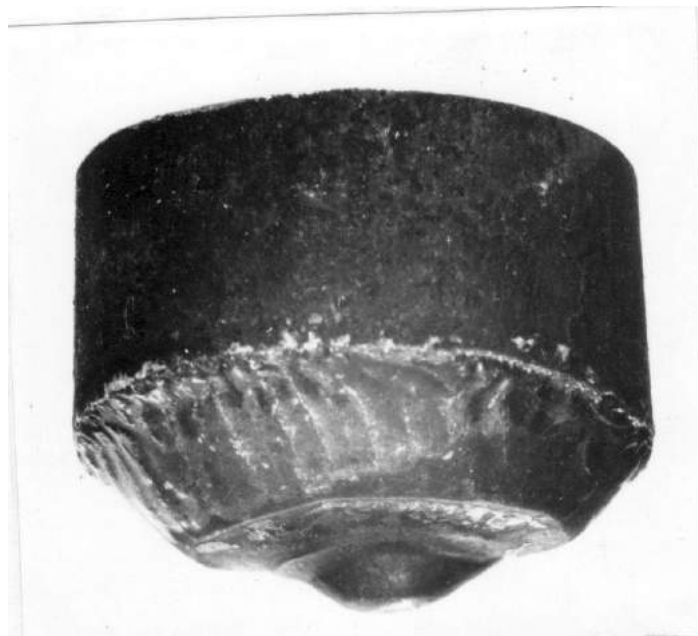
а-ЕШВ; б-ЕШВ + ДП

1- $N_{\text{под}} = 1,5 \text{ кВА}$; 2- $N_{\text{под}} = 4,5 \text{ кВА}$; 3- $N_{\text{под}} = 7,5 \text{ кВА}$
 4- $N_{\text{под}} = 10,5 \text{ кВА}$; 5- $N_{\text{под}} = 13,5 \text{ кВА}$; 6- $N_{\text{под}} = 15,0 \text{ кВА}$;

Рисунок 3.1. – Профіль електродних торців ізотерми $T = T_{\text{пл}}$



а



б

а - ЕШВ; б - ЕШВ + ДП ($N_{\text{под}} = 9,0 \text{ кВА}$)

Рисунок 3.2 – Електродні торці, отримані при ЕШВ і ЕШВ + ДП

Однак, з встановленого розрахунковим шляхом діапазону потужності підігріву необхідно визначити такий режим, при якому умови кристалізації дос-

лідних виливків були б більш сприятливі в порівнянні з умовами кристалізації серійних виливків. З цією метою досліджували вплив потужності додаткового підігріву витрачаємого електрода на умови кристалізації електрошлакових заготовок деталей. З огляду на, що стабільна робота плазменно-дугового нагрівача можлива при потужності дуги не менше 5,0 кВА, а також отримані раніше розрахункові значення потужності підігріву при яких на електродному торці формуються додаткові джерела каплепадения, для проведення плавки по дослідної технології були обрані наступні режими підігріву: 5,2; 7,0; 9,0 і 12,5 кВА. Електрична потужність на шлакової ванні у всіх плавках, як при ЕШВ за серійною технологією на оптимальному режимі, так і ЕШВ з підігрівом електрода становила 57 кВА. Для порівняння були проведені плавки ЕШВ за серійною технологією з підвищеною потужністю на шлакової ванні - 68 кВА.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОДАТКОВОГО ПІДГРІВУ ЕЛЕКТРОДУ, ЩО ВИТРАЧАЄТЬСЯ, НА УМОВИ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ЛИТИХ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ

Умови кристалізації електрошлакових виливків оцінювали якісно по формі металевої ванни і по ударної в'язкості, що є найбільш чутливим критерієм структурного стану литої сталі [23].

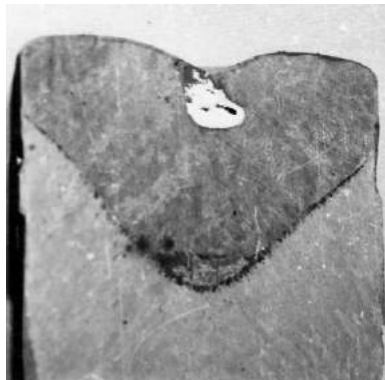
На рис.3.3 представлений відбиток металевої ванни в серійних виливках діаметром 10 см зі сталі 45Х2НМФА, отриманих на оптимальному режимі (швидкість наплавлення 1; 05.10-2 кг / с). Коефіцієнти форми ванни і фронту кристалізації, відповідно становили $K_{фм} = 0,33$ і $K_{фк} = 0,70$. Згідно форма металевої ванни ще забезпечує задовільні умови кристалізації, але швидкість наплавлення рівна 1,05.10⁻² кг / с відповідає гранично допустимого значення. При цьому ударна в'язкість литої не термообработаної сталі 45ХН2МФА становить 0,20 МДж / мг. Подальше зростання швидкості наплавлення виливки до 1,24.10⁻² кг / с шляхом підвищення потужності на шлакової ванні до 68 кВА призводить до погіршення умов кристалізації за рахунок збільшення глибини і зміни форми металевої ванни. Зокрема, знизилися коефіцієнт форми ванни в 1,20 рази.

Встановлено [161], що додаткове підігрівання витрачається електрода має суттєвий вплив як на форму металевої ванни, так і на ударну в'язкість литої сталі. Як впливає з рис.3.4 при зміні потужності підігріву від 5,2 до 7,0 кВА коефіцієнт фронту кристалізації збільшується від 0,72 до 0,77, а коефіцієнт форми ванни ($K_{ФМ} = 0,35$) такий же, як і у серійних виливках, отриманих на оптимальному режимі. Максимальне значення коефіцієнта фронту кристалізації $K_{ф} = 0,77$ відповідав потужності підігріву 7,0 кВА. При цьому, незважаючи на збільшення швидкості наплавлення злитка на 15 ... 18%, в порівнянні з оптимальним режимом серійної технології, глибина конічної і циліндричної частин металевої ванни в дослідних виливках менше, ніж в серійних /див. мал. 3а,б /, а

ударна в'язкість в три рази вище (див. рис. 3.4). Це свідчить про те, що кристалізація дослідних виливків, отриманих при потужності підігріву 7,0 кВА протікала в більш сприятливих умовах. Зі збільшенням потужності підігріву до 9,0 кВА швидкість наплавлення дослідних виливків зростає до $1,42 \dots 1,46 \cdot 10^{-2}$ кг / с. Однак, коефіцієнт фронту кристалізації (НФК = 0,69 ... 0,70) дещо зменшився в порівнянні з попереднім режимом підігріву, але був не нижче, ніж у серійних виливках ЕШВ, отриманих на оптимальному режимі. Коефіцієнти форми ванни підвищився до 0,39, а ударна в'язкість литої сталі відповідала рівню серійного металу (див. рис. 3.4).



а



б



в

а – ЭШВ ; $G_{пл} = 1,05 \cdot 10^{-2}$ кг/с

б – ЭШВ+ДП; $G_{пл} = 1,23 \cdot 10^{-2}$ кг/с ; $N_{под} = 7,0$ кВА

в – ЭШВ+ДП ; $G_{пл} = 1,8 \cdot 10^{-2}$ кг/с ; $N_{под} = 12,5$ кВА

Рисунок 3.4 – Форма металевої ванни в виливках зі сталі 45ХН2МФА,
отриманих методом ЕШВ і ЕШВ + ДП (зменшено у два рази)

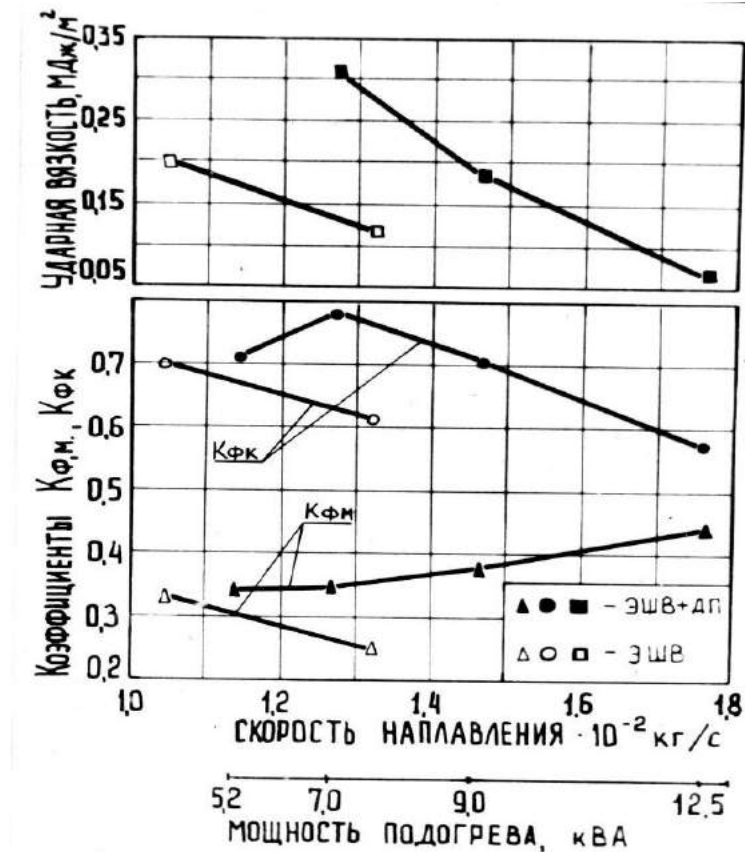


Рис. 3.5 – Залежності коефіцієнтів фронту кристалізації (Кфк), форми металеваної ванни (Кфм) і ударної в'язкості від швидкості наплавлення виливки і потужності додаткового підігріву (виливки діаметрів 10 см, сталі 45ХН2МФА)

Подальше зростання потужності підігріву витрачаємого електрода також призводить до збільшення швидкості наплавлення виливки, але при цьому металева ванна стає глибше, ніж в серійних виливках, виплавлених на оптимальному режимі (див. рис. 3 б,в). Встановлено, що при потужності додаткового підігріву 12,5 кВт продуктивність плавки зростає в 1,65...1,70 рази в порівнянні з серійною технологією, але коефіцієнт фронту кристалізації знижується в 1,20...1,23 рази. У той же час коефіцієнт форми ванни підвищується до 0,45, що свідчить про зростання циліндричної частини ванни (см.рис.3.4.). Згідно даних збільшення глибини циліндричної частини ванни не повинно призводити до погіршення умов кристалізації, так як максимальний тепловідвід від виливки забезпечується в місці безпосереднього контакту рідкого металу зі стінкою кристалізатора. Так, на рівні циліндричної частини ванни, в умовах відсутності по-

вітряного зазору між стінкою кристалізатора і формуючим злитком, коефіцієнт теплопередачі в 1,8 рази вище, ніж на рівні конічної частини ванни. Однак, при надмірному збільшенні глибини металевої ванни знижується температурний градієнт перед фронтом кристалізації, зростає час перебування розплавленого металу в твердожидком стані, що призводить до розвитку ліквационних процесів, формування радіального напрямку росту кристалів і, в цілому, до зниження якості литого металу. Мабуть, в силу зазначених причин, ударна в'язкість виливків, отриманих при потужності підігріву 12,5 кВА мала найменше значення ($KCU = 0,08 \text{ МДж / м}^2$). Таким чином, в залежності від потужності додаткового підігріву витрачаємого електрода співвідношення між умовами кристалізації електрошлакових виливків і швидкістю їх наплавлення можна уявити трьома варіантами.

Перший варіант - потужність підігріву 7,0 кВА. Умови кристалізації дослідних виливків більш сприятливі і продуктивність плавки на 15 ... 18% вище в порівнянні з серійною технологією.

Другий варіант - потужність підігріву 9,0 кВА. Умови кристалізації дослідних і серійних виливків практично однакові, але швидкість наплавлення дослідних злитків на 35 ... 40% вище.

Третій варіант - потужність підігріву 12,5 кВА забезпечує максимальну швидкість наплавлення, яка на 65 ... 70% вище швидкості наплавлення злитка при серійній технології. Однак, умови кристалізації дослідних виливків стають значно гірше, ніж серійних. Мабуть, для отримання відповідальних заготовок деталей даний режим підігріву застосовувати недоцільно, так як при цьому знижується якість литого металу.

Тому, виходячи з мети даної роботи для отримання заготовок деталей діаметром 10 см зі сталі 45ХН2МФА методом електрошлакового виплавки з додатковим полум'яно-дуговим підігрівом витрачаємого електрода обраний режим підігріву 7,0 кВА, що забезпечує поліпшення умов кристалізації виливка при одночасному підвищенні продуктивності плавки на 15..18%.

5 ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ МЕТАЛУ ЛИТИХ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ (ЕШВ + ДП)

5.1. Хімічний склад і газосодержание металу деталей

Хімічний склад виливків із сталей 20, 45ХН2МФА і 08Х18Н10Т, отриманих ЕШВ з додатковим плазменно-дуговим підігрівом витрачається електрода і ЕШВ за серійною технологією, представлений в таблиці 4.1. З наведених даних видно, що при ЕШВ по дослідної технології хімічний склад литого металу відповідає вимогам відповідних ГОСТів, а зміна змісту основних легуючих елементів у порівнянні з вихідним складом (див. Табл. 2.1) має такий же характер, як і в виливках серійної технології.

При захисті шлакової ванни інертним газом змінюються умови десульфурзації металу. Як відомо, вміст сірки в електрошлакових виливках визначається розвитком двох процесів - переходом сірки в шлак з розплавленого металу і подальшим випаровуванням з поверхні шлаку. Причому, випаровування сірки може протікати тільки в присутності кисню. Тому, в інертній атмосфері видалення сірки відбувається менш інтенсивно. Однак, в досліджених виливках зі сталі 45ХН2МФА і 08Х18Н10Т вміст сірки було практично таким же, як і в серійних (див. Табл.4.1). Це можна пояснити низьким вмістом сірки у вихідному металі (0,010...0,012%), для видалення якої досить лише переходу сірки в шлак. Причому, на даній стадії, ступінь видалення сірки не залежить від окисного потенціалу атмосфери, а визначається серопоглоотительной здатністю шлаку.

На досліджуваних сталях встановлено, що інтенсивність видалення сірки при ЕШВ з додатковим підігрівом витрачається електрода в інертній атмосфері знижується зі збільшенням вмісту сірки у вихідному металі. Про це свідчать дані хімічного аналізу виливків з

Таблиця 4.1 – Хімічний склад виливків із сталей 20, 45ХН2МФА і 08Х18Н10Т, отриманих методом ЕШВ і ЕШВ+ДП

Марка сталі / ГОСТ або ТУ на хімічний склад	Варіант технології	Вміст хімічних елементів, %									
		С	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Ti	S	P
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сталь 20 ГОСТ 1050-60	ЕШВ	0,17...0,24	0,17...0,37	0,35...0,65	-	-	-	-	-	н.б...0,04	н.б...0,04
	ЕШВ+ДП	0,16...0,17	0,20...0,24	0,52...0,58	-	-	-	-	-	0,012...0,018	0,017...0,020
45ХН2МФА ГОСТ 4543-71	ЕШВ	0,42...0,50	0,17...0,37	0,50...0,80	1,30...1,80	0,80...1,10	0,20...0,30	0,10...0,18	-	н.б...0,015	н.б...0,02
	ЕШВ+ДП	0,46...0,47	0,33...0,35	0,51...0,55	1,58...1,60	1,08...1,10	0,28...0,30	0,16...,19	-	0,008...0,009	0,012...0,014

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
08X18H 10T ГОСТ 5632-61	ЕШВ	0,07...0,0 8	0,80...0,9	1,0...1,2	9,0...11,0	17,0...19,0	-	-	5,0...60,0	Н.б...0,020	Н.б...0,35
	ЕШВ+ДП	0,007...0, 008	0,55...0,6 5	0,56...0,5 6	10,25...10,2 8	16,90...17,1 1	-	-	0,37...0,4 7	0,004...0,00 7	0,017...0,02 2

.

сталі 20, отриманих по дослідній технології. Зокрема, при збільшенні вмісту сірки у вихідній сталі 20 в 1,8...2,0 рази, в порівнянні зі сталями 08X18H10T і 45XH2MФА, ступінь видалення сірки знизилася на 10 ... 15% (див. табл. 2.1 і табл. 4.1).

Зміна вмісту фосфору при електрошлакового виплавки заготовок деталей з досліджуваних сталей практично однакове для обох варіантів технологій (див. Табл. 4.1).

5.2 Макроструктура

Мета даних досліджень полягала в оцінці впливу умов кристалізації на кристалічну будову, фізичну і хімічну неоднорідність електрошлакових заготовок деталей зі сталі 08X18H10T отриманих методом ЕШВ+ДП. Дослідження виконали шляхом порівняння макроструктури виливків виплавлених на оптимальних режимах відповідно методами ЕШВ+ДП і ЕШВ.

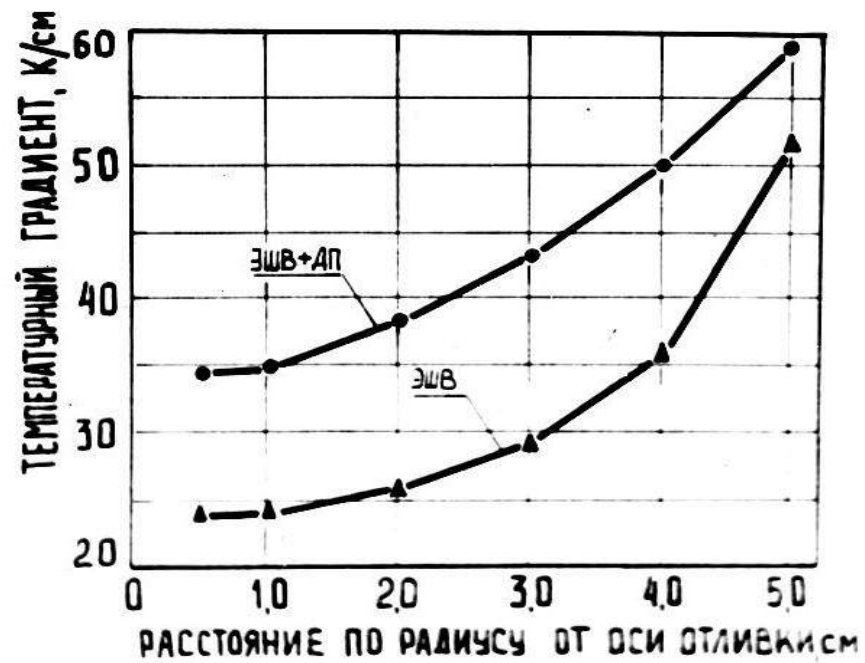


Рисунок 3.5 – Дослідження проводили на поздовжніх Темплете вирізаних по центру злитка

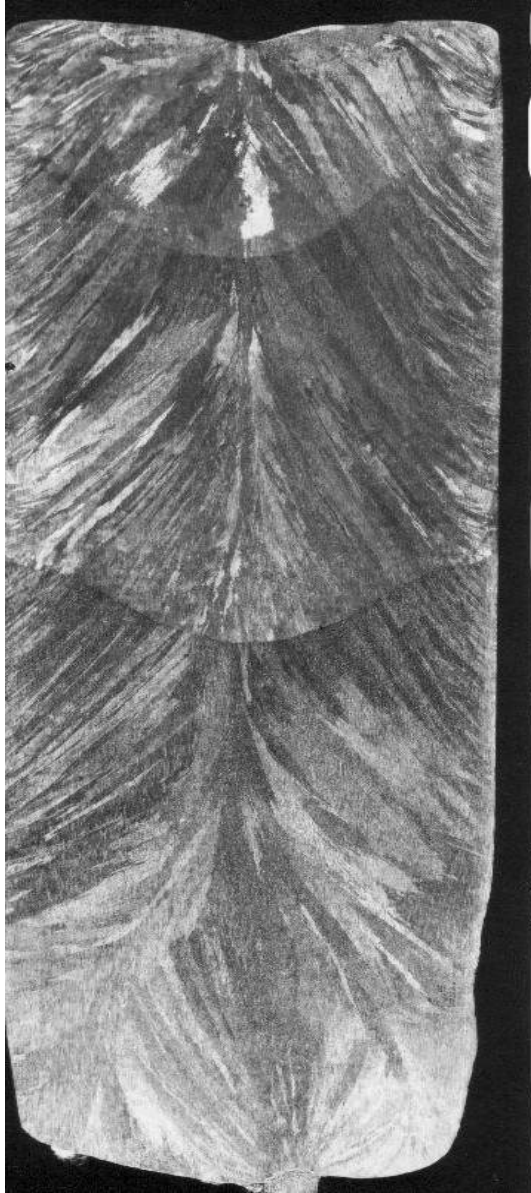
Таблиця 3.1 – Режими електрошлакової виплавки виливків по серійної технології (ЕШВ) і з додатковим плазменно-дуговим підігрівом витрачається електрода (ЕШВ + ДП)

Марка сталі	Варіант технології	Діаметр виливки, см	Потужність на шлакової ванні, кВА	Мощность додаткового підігріву, кВА	Швидкість наплавлення виливки, 10*-2 кг/с
Сталь 20	ЕШВ+ДП	10	55	6,5	1,12
	ЕШВ	10	55	-	0,95
45ХН2МФА	ЕШВ+ДП	10	57	7,0	1,23
	ЕШВ	10	57	-	1,06
08Х18Н10Т	ЕШВ+ДП	10	43	6,5	0,92
	ЕШВ	10	43	-	0,78
08Х18Н10Т	ЕШВ+ДП	10	90	16,5	1,80
	ЕШВ	10	90	-	1,55

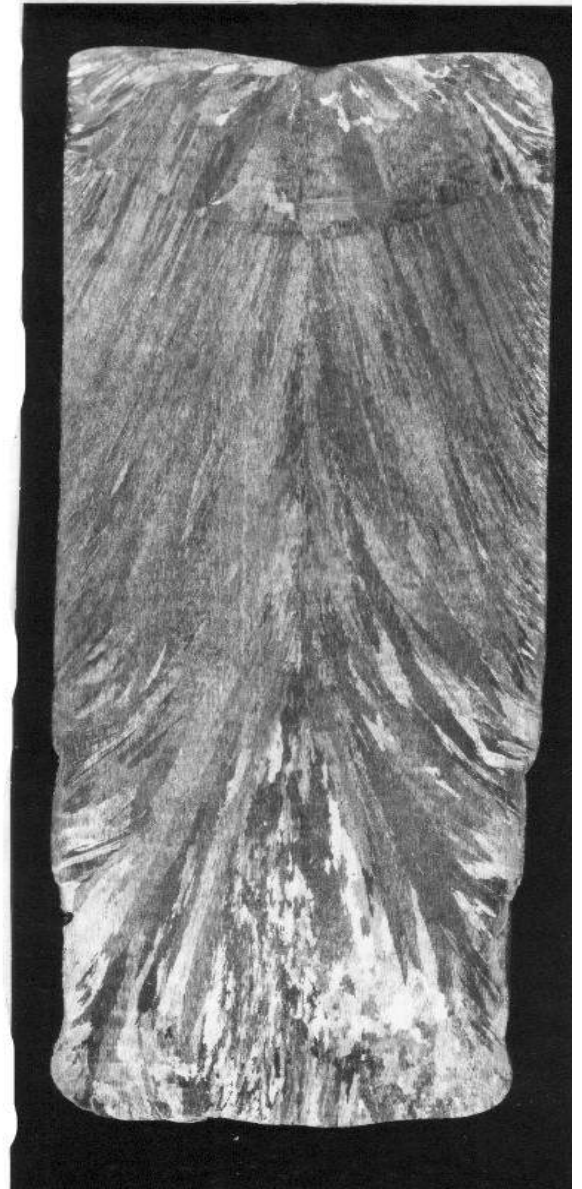
Як можна бачити з рис.3.6 дослідні і серійні виливки мають однотипне макробудову, що характеризується наскрізний транскристалізацією. Макроструктура досліджуваних виливків щільна і однорідна. Дефекти ліквідаційного, усадочного і технологічного характеру відсутні. Напрямок зростання стовпчастих кристалів радіально - осьовий. Однак, в виливках, отриманих методом ЕШВ + ДП, незважаючи на збільшення швидкості напрямки на 15 ... 18% поперечний розмір стовпчастих кристалів і кут їх нахилу до осі злитка (кут між віссю злитка і віссю кристала) були меншими, ніж в злитках серійної технології (таблиця 3.2).

Встановлені структурні зміни в досліджених виливках обумовлені збільшенням лінійної швидкості кристалізації і температурного градієнта у фронті

затвердіння. На представлених макроструктури (см.рис.3.6) також видно зафіксований сірчистим залізом профіль металевої ванни, що нагадує за формою половину еліпса. Металеву ванну фіксували з метою оцінки параметрів кристалізації виливка.



а



б

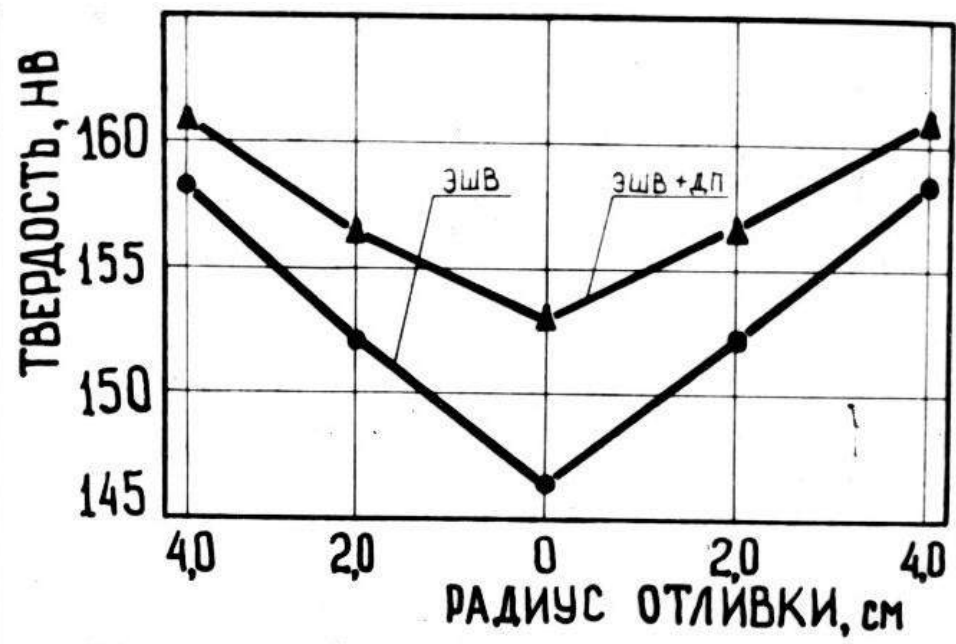
а – ЕШВ , швидкість наплавління $0,78 \cdot 10^{-2}$ кг/с

б – ЕШВ + ДП , швидкість наплавління $0,92 \cdot 10^{-2}$ кг/с

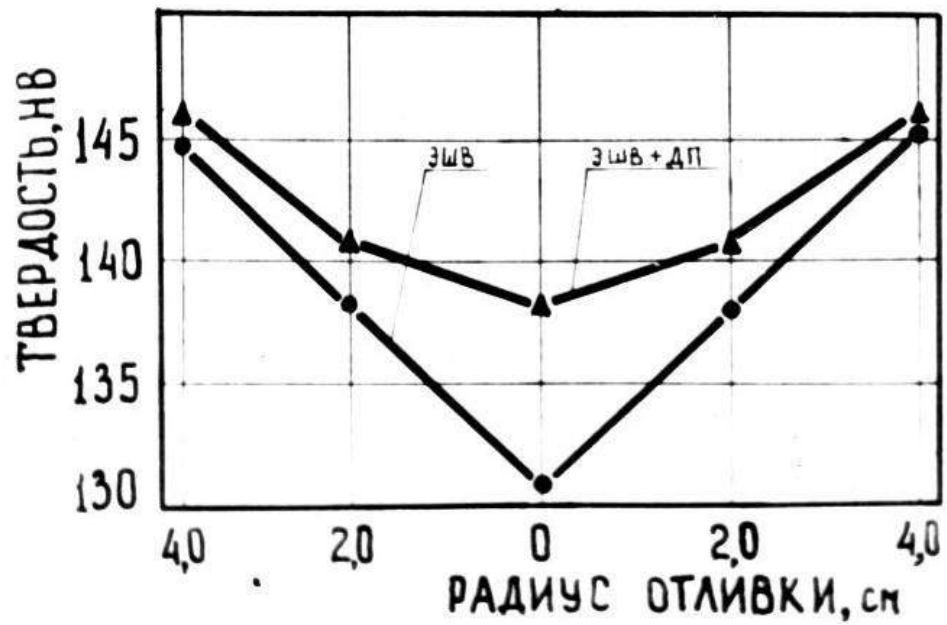
Рисунок 3.6 – Макроструктура виливків зі сталі 08X18N10T, отриманих методами ЕШВ + ДП і ЕШВ (зменшено в два рази)

Таблиця 3.2 – Кут нахилу і товщина стовпчастих кристалів у виливках отриманих методами ЕШВ + ДП і ЕШВ

Варіант технології	Марка сталі	Диаметр виливки, см	Кут нахилу стовпчастих кристалів 10*-2 радианг	Поперечних розмір стовпчастих кристалів, мм
ЕШВ+ДП	45ХН2МФА	10	48...58	4...7
ЕШВ	45ХН2МФА	10	70...82	5...9
ЕШВ+ДП	Сталь 20	10	45...57	-
ЕШВ	Сталь 20	10	68...77	-
ЕШВ+ДП	08Х18Н10Т	15	46...50	4...8
ЕШВ	08Х18Н10Т	15	56...67	6...11
ЕШВ+ДП	08Х18Н10Т	10	38...44	3...5
ЕШВ	08Х18Н10Т	10	52...58	4...7



а



б

а – сталь 20 ; б – 08X18N10T

Рисунок 3.7 – Твердість виливків зі сталей 20 і 08X18N10T, отриманих методами ЕШВ + ДП (поперечні темплети)

5.3 Дендритна структура і дендритная ліквіація

Згідно кількості первинних осей дендритів, які виявляють при температурі початку затвердінні в будь-якому ізотермічному перерізі направлено кристалізується вилівки, пропорційно відносної швидкості затвердіння, яка для бінарного сплаву з лінійної діаграмою стану може бути визначена за формулою:

З урахуванням дифузійного росту кожного окремого кристала і рівномірного їх розподілу в перерізі, відстань між первинними осями дендритів можна висловити. Для багатокомпонентних сплавів, і зокрема для сталі вводять узагальнені характеристики. З урахуванням того, що температурний інтервал кристалізації буде дорівнює. Використовуючи рівняння, визначимо відносне зміна відстаней між дендритними осями першого порядку в досвідчених і серійних виливках зі сталі 45ХН2МФА.

З огляду на, що значення будуть однаковими, так як розрахунок виконується для однієї і тієї ж марки сталі, відношення прийме наступний вигляд.

За даними наведеними були расітани співвідношення, ізкотрих слід, то для заготовок деталей, полуєнних методом ЕШВ + ДП відстані між дендритними осями першого порядку повинні зменшитися орієнтовано: в осьовій зоні до 1,28 рази, на половині радіуса до 1,30 рази і на краю вилівки до 1,13 рази в порівнянні з серійними заготовками.

На рис.3.8 представлені типові дендритні структури в осьовій частини виливків, полуєнних методі ЕШВ + ДП і ЕШВ. Як видно, в досвідчених виливках відстань між дендритними осями першого порядку менше в порівнянні з серійним металом, що підтверджено результатами розрахунків.

Дані по оцінці відстаней між педрітними осями другого порядку в досвідчених і серійних заготовках деталей із сталей 20, 45ХН2МФА і 08Х18Н10Т наведені в таблиці 3.3.

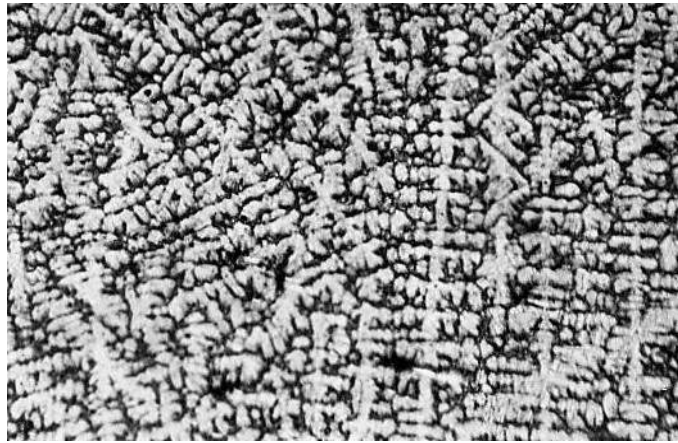
Встановлено, що в заготовках деталей, полуєнних електрошлакового виплавою з додатковим підігрівом витрачається електрода відстань між денд-

ритних осями другого порядку на 15 ... 20% менше, в порівнянні з серійними виливками.

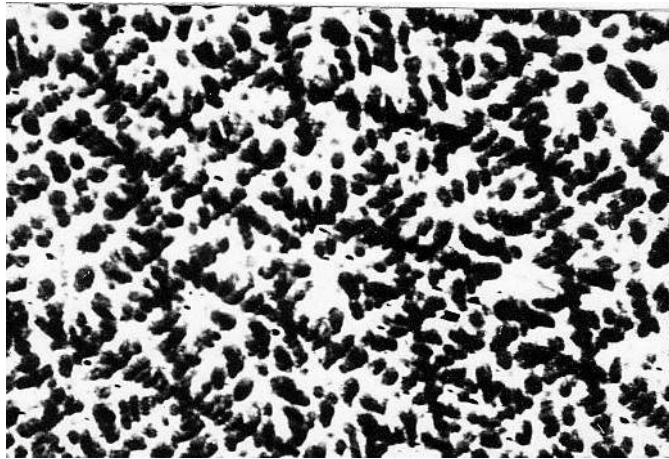
Таким чином, застосування технології додаткового по догрева витрачається електрода при ЕШВ заготовок деталей сприяє підвищенню дисперстної структури литого металу.

Таблиця 3.3 – Відстань між дендритними осями другого порядку в виливках, отриманих методами ЕШВ + ДП і ЕШВ

Марка сталі	Варіант технології	Відстань між дендритними осями другого порядку, мм	
		Половина радіуса	Центр
сталь 20	ЕШВ + ДП ЕШВ	0,082 ... 0,0078	0,094 ... 0,086
		0,094 ... 0,088	0,106 ... 0,098
45ХН2МФА	ЕШВ + ДП ЕШВ	0,085 ... 0,080	0,096 ... 0,090
		0,106 ... 0,098	0,115 ... 0,108
08Х18Н10Т	ЕШВ + ДП ЕШВ	0,060 ... 0,056	0,090 ... 0,084
		0,088 ... 0,082	0,125 ... 0,117



а



б

а – УШВ+ДП ; б – ЭШВ

Рисунок 3.8 – Дендритная структура отливок из стали 45ХН2МФА, полученных методом ЭШВ+ДП и ЭШВ (x25)

Ступінь дендритної ликвації є кількісною оцінкою дендритних однорідністю литого металу. У цій роботі проведена порівняльна оцінка коефіцієнтів дендритних ліквідації основних лігуючих елементів в заготовках деталей зі сталі 45ХН2МФА. З огляду на, що ліквідаційні процеси найбільш сильно розвинені у верхній частині виливка і на неї осі, для досліджень відібрали зразки з центральної частини виливків першого горизонту (див. рис. 2.2).

Результати досліджень представлені в таблиці 3.4. З даних таблиці 3.4 видно, що в дослідних і серійних заготовках зі сталі 45ХН2МФА найбільшою мірою ліквірував молібден і ванадій. Порівняно високі значення коефіцієнтів ліквідації молібдену і ванадію в виливках обумовлені високим вмістом вуглецю - 0,45%.

Таблиця 3.4 – Коефіцієнти дендритних ліквідації в виливках зі сталі 45ХН2МФА, отриманих методами ЕШВ + ДП і ЕШВ

Варіант технології	Коефіцієнти дендритної ліквідації				
	Cr	Mn	Ni	Mo	V
ЕШВ+ДП	1,22	1,11	1,03	1,92	1,81
ЕШВ	1,32	1,18	1,10	2,16	1,90

Як показано в роботі в низьколегованих сталях з вмістом вуглецю понад 0,35% коефіцієнти ліквідації молібдену можуть досягати 3,5 ... 5,0, а коефіцієнт ліквідації ванадію до 2,5 ... 3,5. Встановлено, що в заготовках деталей зі сталі 45ХН2МФА, отриманих методом ЕШВ + ДП, рівень дендритних ліквідацій знизився в порівнянні з серійними виливками. Зокрема за елементами: коефіцієнт ліквідації молібдену зменшився на 12%, хрому на 8%. Коефіцієнти дендритної ліквідації марганцю і нікель знизилися на 6 ... 8%.

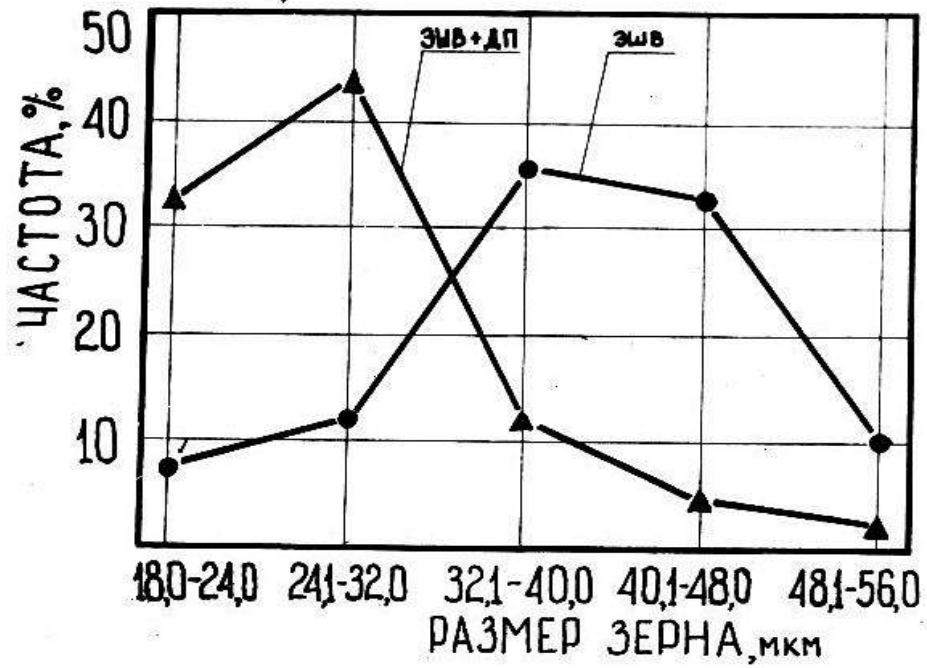
5.4 Розмір аустенитного зерна

Властивості литих сталей і сплавів багато в чому залежать від величини аустенитного зерна. Причому, розмір аустенитного зерна визначається не тільки температурою нагріву, тривалістю витримки при ній хімічним складом. Сталі, но и величиною вихідного литого зерна. Дослідження макро и мікростроєння

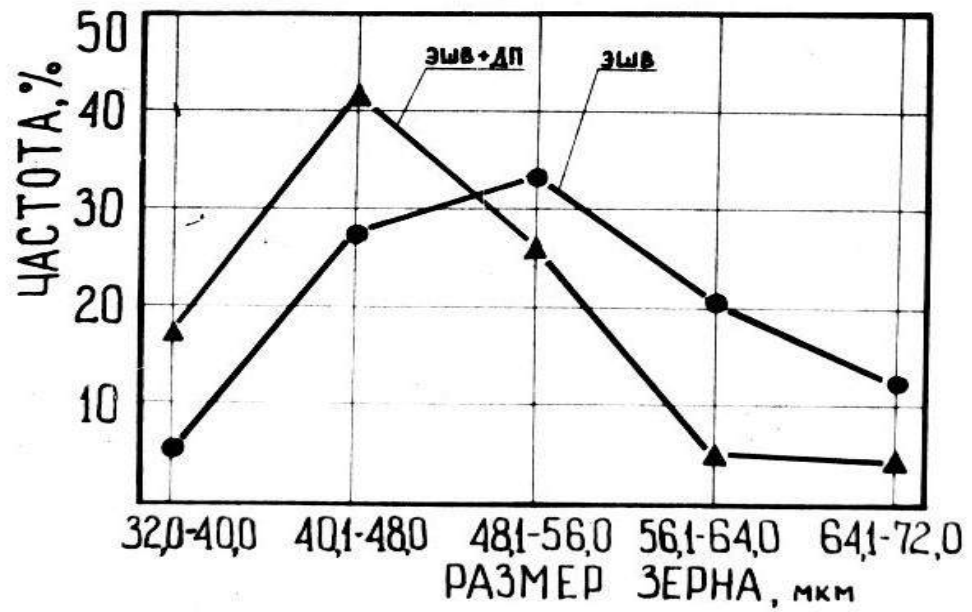
вілків, отриманий ЕШВ + ДП и ЕШВ за серійною технологією показали, що додаткове підігрівання вітрачаємого електрода змінює умови кристалізації, сприяє підвищенню дисперсності структури вихідного литого металу, що має надалі поклада-тельное вплив на розмір дійсного зерна аустеніту. Тому, в даній роботі провели порівняльну оцінку величини аустенітного зерна в отливках, выплавлених за обома варіантами технології. На рис.3.4 і рис.3.15 представлені характерні мікроструктури дослідних заготовок деталей. Як видно, в дослідних виливках зерно більш дрібне. Однак, як в серійних, так и в дослідних заготовках деталей розмір аустенітних зерен змінюється в досить широких межах. Тому, при оцінці величини зерна за балами не вдалось встановити істотної переваги будь-якого варіанту виплавки. Зокрема, в виливках зі сталі 45ХН2МФА величина зерна перебувала в межах 8...7 балу, а в виливках зі сталі 20 - 6 ... 5 балу. Так як оцінка за балами не дала повного уявлення про дисперсності мікроструктури, були проведені статистичні дослідження розподілу аустенітних зерен по розмірним групам. Результати досліджень представлені у вигляді частотних гістограм на рис.3.16. Встановлено, що в виливках зі сталі 45ХН2МФА обох варіантів виливки розмір аустенітних зерен змінювався від 18 до 55 мкм. Однак, в виливках, отриманих ЕШВ + ДП, переважна кількість зерен (близько 85%) мали розмір від 18 до 32 мкм. У серійних виливках зерна такого ж розміру становили не більше 20%. Основна частина зерен (70%) мала розмір від 32 до 48 мкм (див. рис.3.7).

Аналогічний характер розподілу зерен по розмірним групам встановлений в досвідчених і серійних виливках зі сталі 20 (див.рис.3.17).

Таким чином, формування більш дисперсної вихідної структури виливків, отриманих методом ЕШВ + ДП, забезпечує зменшення на 18 ... 25% розмірів аустенітних зерен.



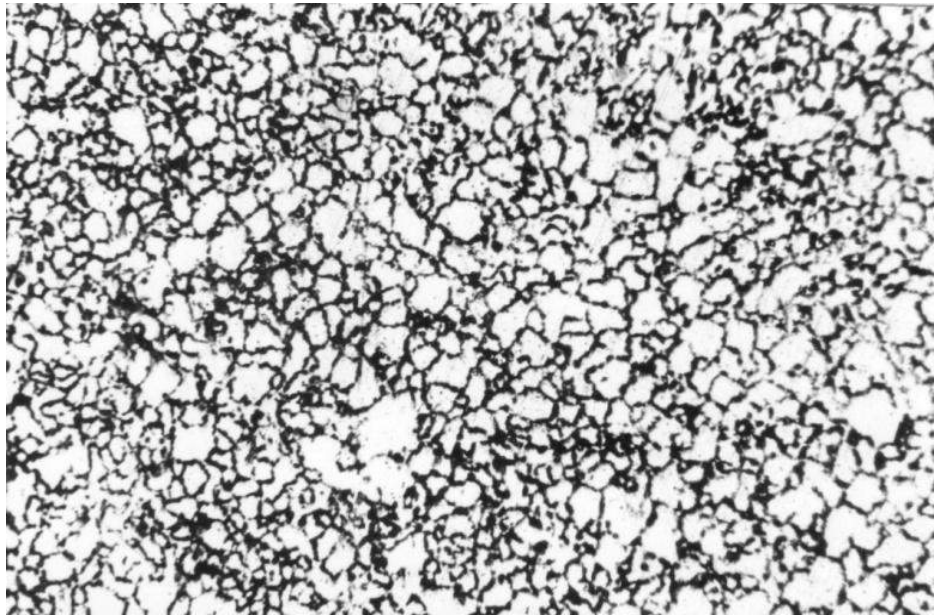
а



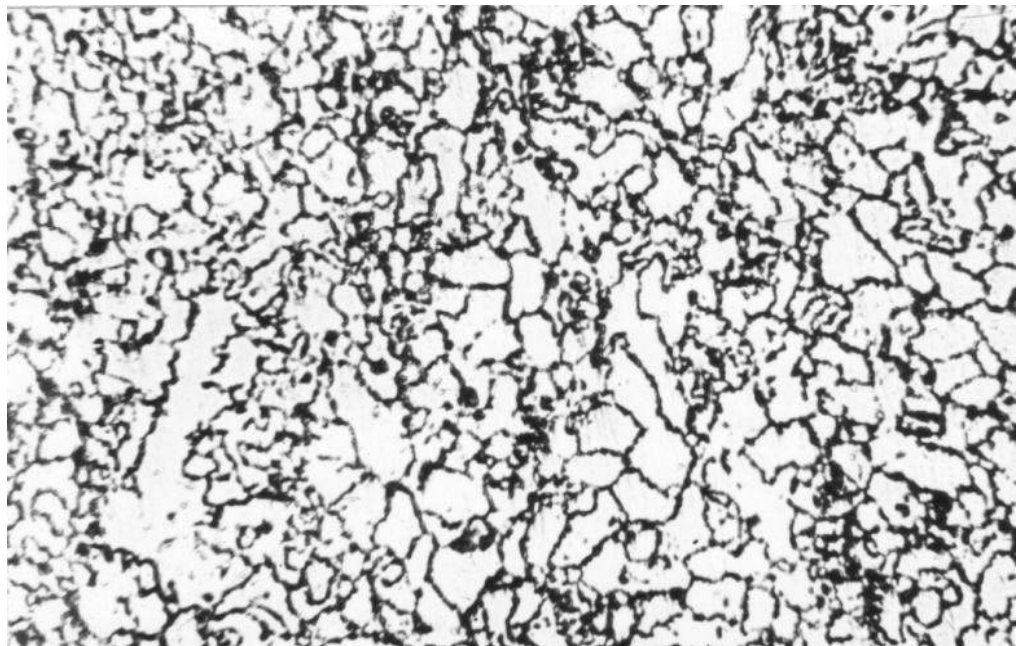
б

а - сталь 45ХН2МФА; б - сталь 20

Рисунок 3.15 – Розподіл аустенітних зерен по розмірним групам



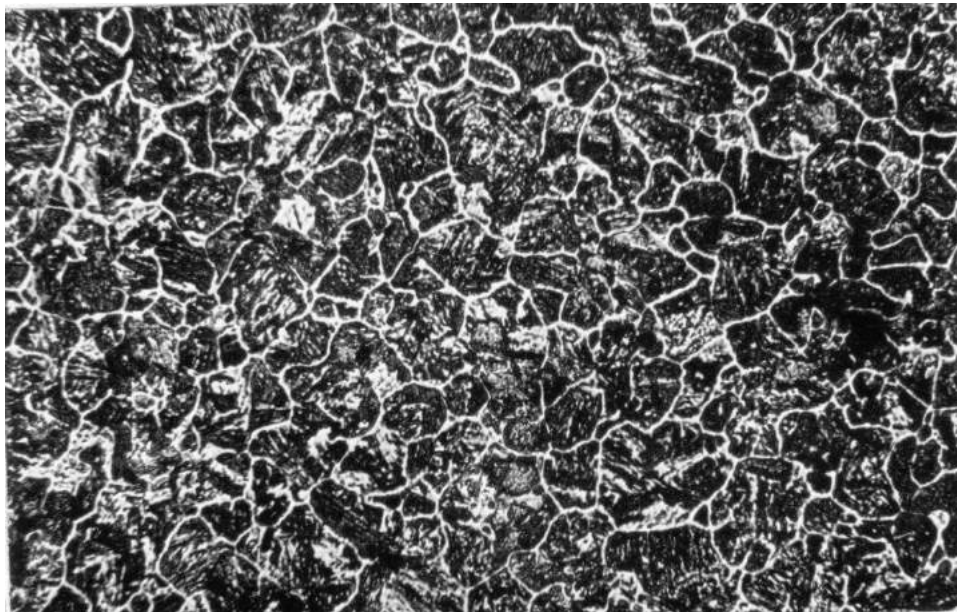
а



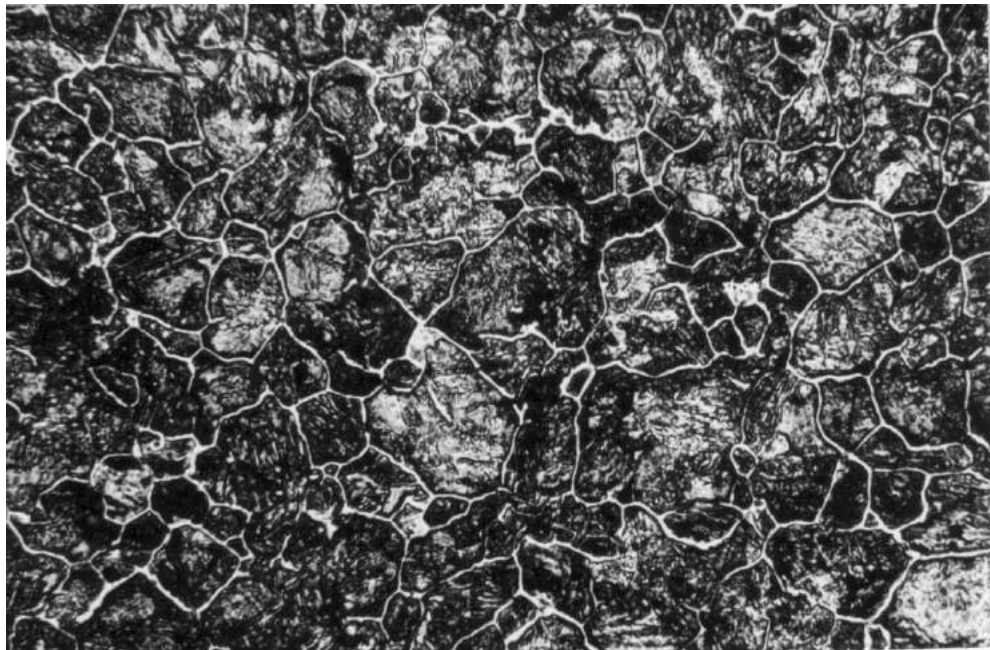
б

а - ЕШВ + ДП; б - ЕШВ.

Рисунок. 3.16 – Аустенітне зерно в виливках зі сталі 45ХН2МФА, отриманих методом ЕШВ + ДП і ЕШВ (х300)



а



б

а - ЕШВ + ДП; б - ЕШВ.

Рисунок 3.17 – Аустенітне зерно в виливках зі сталі 20, отриманих методом ЕШВ + ДП і ЕШВ (x300)

5.5 Механічні властивості

Загальними показниками, що відображають зміну в чистоті, структурі, однорідності та інших якісних характеристиках електрошлакового металу є механіческие свойства стали, в частности, прочность, пластичность и вязкость. Дополнительный подогрев расходуемого электрода оказывает влияние, как на физико-химическую однородность, так и на загрязненность неметаллическими включениями, что может приводить к изменению механических свойств получаемого металла.

В данной работе исследовали механические свойства литого металла заготовок деталей из сталей 20, 45ХН2МФА и 08Х18Н10Т, полученных ЕШВ+ДП и ЕШВ по серийной технологии.

Результати досліджень представлені в таблиці 4.5. З наведених даних видно, що механічні властивості виливків, отриманих методом ЕШВ + ДП, повністю відповідають вимогам, що відповідають ГОСТів або технічних умов. При цьому, пластичність і ударна в'язкість литої сталі 45ХН2МФА досвідчених заготовок в середньому виросли на 10 ... 17%, а межа міцності і межа плинності були не нижче, ніж у серійного металу. У досвідчених виливках зі сталі 20 також підвищилися відносно подовження, відносно звуження і ударна в'язкість, а міцності збереглися на рівні серійного металу.

Таблиця 4.5 – Механічні властивості виливків, отримані методом ЕШВ+ДП і ЕШВ.

Марка сталі	Варіант ви- плавки	Механічні властивості				
		$\sigma_{T,MP}$ а	σ_B , МПа	δ , %	Ψ , %	KCU, МДж / м ²
45ХН2МФА	ЕШВ+ДП	1370-	1620-			
	ЕШВ	1450	1700	10,5-12,0	44 - 47	0,50- 0,55
	Вимоги	1360-	1600-	9,0- 9,5	37 - 39	0,47- 0,52
	ГОСТ 4543- 71	1460- 1300	1700 1450	7,0	35,0	0,40
сталь 20	ЕШВ+ДП	250- 270	415- 430	33- 37	65 - 70	0,20- 0,25
	ЕШВ	240- 270	410- 425	50-33	58-61	0,17- 0,20
	Вимоги ТУ 108-667-77	200	400	20	45	0,15
08Х18Н10Т	ЕШВ+ДП	295-315	490-515	45-52	55-62	-
	ЕШВ	270-290	460-480	48-53	52-60	-
	Вимоги ТУ 108-667-77	195	460	40	50	-

Збільшення пластичності і ударної в'язкості литих сталей 20 і 45ХН2МФА обумовлено більш дрібним аустенітним зерном, а також меншою забрудненістю оксидними включеннями.

У виливках зі сталі 08Х18Н10Т, отриманих методом ЕШВ+ДП характеристики пластичності були не нижче, ніж у серійного металу, проте межа міцності і межа плинності зросли на 20 ... 40 МПа . Підвищенню показників міцності властивостей дослідних виливків сприяли більш дрібне зерно і підвищений вміст дрібнодисперсних дінтридних включень. Причому, нітрідніе включення надають двояку роль в зміцненні литої сталі 08Х18Н10Т. По-перше, дрібнодисперсні нітриди грають роль бар'єрів, що гальмують зростання аустенітного зерна під час нагрівання заготовок деталей при термообробці. Тому, в дослідних виливках зі сталі 08Х18Н10Т після аустенізації зберігається більш дрібне зерно.

6 ТЕХНОЛОГІЯ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОЇ ВИПЛАВКИ

Серійні і дослідні відливки зі сталі 20, 45ХН2МФА і 08Х18Н10Т, виплавляли на установках А-550, за однофазною одноелектродною схемою з використанням флюсу АНФ-6. Витрачаються електрдами служили штанги діаметром 6 см і 10 см (хімічний склад см. В таблиці 2.1) переплавляють відповідно в кристалізатори діаметром 0.1 м і 0.15 м. При проведенні плавки по серійної технології електричні параметри режиму були обрані з урахуванням рекомендацій виходячи з умов отримання максимально допустимої швидкості наплавлення злитка. Параметри додаткові підігріву вибирали за результатами досліджень характеру оплавлення електродного торця і руслових кристалізації виливка.

У дослідних плавках підігрів витрачаємого електрода починали одночасно з розведенням. У стаціонарний період плавки електричний режим на шлаку і параметри підігріву підтримували автоматично. Під час процесу фіксували струм і напруга на шлакової ванні, струм і напруга дуги нагрівача, швидкість подачі електрода, час плавки, витрата електроенергії.

Як плазмообразующего газу використовували аргон, який одночасно захищав поверхню витрачається електрода від окислення.

7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДІЛЯНКИ

7.1 Організація виробництва вироби

Для того, щоб спроектувати ділянку електрошлакової виплавки необхідно:

- розробити технологічний процес і пронормувати операції;
- встановити річну виробничу програму виробів;
- розрахувати необхідну кількість обладнання;
- розрахувати чисельність персоналу ділянки.

7.1.1 Нормування операцій технологічного процесу

Точний розрахунок техніко-економічних параметрів ділянки залежить від ретельності нормування виконуваних робіт, обліку всіх операцій і визначення норм часу на кожну операцію.

Норма часу на кожну операцію розраховується за формулою:

$$t_{\text{шт}} = t_o + t_{\text{всп}} + t_{\text{обт}} + t_{\text{обо}} + t_{\text{отл}}, \quad (7.1)$$

де t_o — основний час, необхідний для виконання операції;

$t_{\text{доп}}$ — допоміжний час на операцію;

$t_{\text{обт}}$ — обслуговування технічного робочого місця;

$t_{\text{обо}}$ — організаційне обслуговування робочого місця;

$t_{\text{вос}}$ — відпочинок і особисті потреби робітника.

Таблиця 7.1. – Норма часу виплавочних робіт

Номер операції	Назва операцій	Норма штучного часу, Н\год
1	Транспортування	0,15
2	Прожарення флюсу	0,5
3	Складання кристалізатора і підгот. установки	0,55
4	Електрошлакове виплавлення	0,8
5	Охолодження деталі	0,5
6	Розбирання кристалізатора	0,3
7	Контроль якості	0,2
8	Транспортування на склад	0,75
	Всього	3,45

7.2 Виробнича програма

Основа для розрахунку ділянки електрошлакової виплавки є виробнича програма в штуках.

Виробнича програма ділянки задається виходячи із завдання на дипломний проект, на основі визначення норм часу по виготовленню виробу, річна програма виплаваних робіт $N = 7000$ шт. Розрахунок необхідних і покупних деталей наведено в табл.7.2.

Таблиця 7.2 – Розрахунок виробничої програми наплавлення колкових ножів

Найменування виробів	Норма часу на одиницю виробу, нормо-годин	Виробнича програма	
		Одиниць	Нормо-годин
Балка струшування	3,45	7000	19250
Всього	3,45	7000	19250

7.3 Розрахунок кількості обладнання, площі ділянки.

Номінальний річний фонд часу роботи обладнання для двозмінного режиму роботи прийнятий 4160 годин.

Дійсний річний фонд часу роботи обладнання визначається за формулою:

$$F_{\text{ЕФ}}^{\text{ОБ}} = F_{\text{НОМ}} \cdot (1 - R_3), \quad (7.2)$$

де $F_{\text{НОМ}}$ – номінальний річний фонд часу роботи обладнання;

$K_{\text{в}}$ – коефіцієнт витрат часу на ремонти та обслуговування обладнання.

Приймаємо $K_{\text{в}} = 0,07$.

$$F_{\text{ЕФ}}^{\text{ОБ}} = 4160 \cdot (1 - 0,07) = 4000 \text{ (годин)}$$

Розрахунок необхідної кількості обладнання по кожному типу ведеться за формулою:

$$G_0 = \sum_{i=1}^m \frac{t_i \cdot N_i}{F_{\text{до}}}, \text{ одиниць} \quad (7.3)$$

де m – кількість видів робіт;

t_i – норма часу i -ої операції, нормо-годин;

N_i – річна виробнича програма i -ого виробу, одиниць;

$F_{до}$ – дійсний річний фонд часу роботи обладнання, годин.

Прийнята кількість обладнання встановлюється шляхом округлення до цілої величини.

Коефіцієнт завантаження обладнання:

$$K_z = \frac{G_0}{G_{po}}, \quad (7.4)$$

де G_0 – кількість обладнання за розрахунком, одиниць;

G_{po} – прийнята кількість обладнання, одиниць.

Розрахункова кількість печей для розжарювання флюсу визначається за формулами (7.3):

$$G_{po(n)} = \frac{1 \cdot 7000}{4000} = 1,75 \text{ (одиниць)}$$

Приймаємо $G_{po(n)} = 2$

Коефіцієнт завантаження обладнання визначається за формулою (7.4):

$$K_{z(n)} = \frac{1,75}{2} = 0,87$$

Розрахункова кількість установок для ЕШВ визначається за формулою (7.3):

$$G_{0(y)} = \frac{0,25 \cdot 7\,000}{4000} = 0,43 \text{ (одиниць)}$$

Приймаємо $G_{po(y)} = 1$

Коефіцієнт завантаження обладнання визначається за формулою (7.4):

$$K_{z(y)} = \frac{0,43}{1} = 0,43$$

Розрахункова кількість відрізних верстатів PS 4.5 визначається за формулою (7.3):

$$G_{0(b)} = \frac{0,25 \cdot 7000}{4000} = 0,43 \text{ (одиниць)}$$

Приймаємо $G_{po(b)} = 1$

Коефіцієнт завантаження обладнання визначається за формулою (7.4):

$$K_{z(b)} = \frac{0,43}{1} = 0,43$$

Розрахункова кількість заточувально-шліфувальних верстатів визначається за формулою (7.3):

$$G_{0(зш)} = \frac{0,35 \cdot 7\,000}{4\,000} = 0,6 \text{ (одиниць)}$$

Приймаємо $G_{po(зш)} = 1$

Коефіцієнт завантаження обладнання визначається за формулою (7.4):

$$K_{з(зш)} = \frac{4,46}{5} = 0,89$$

Розрахункова кількість обднання для зварювання визначається за формулою (7.3):

$$G_{0(зв)} = \frac{1 \cdot 7000}{4000} = 1,75 \text{ (одиниць)}$$

Приймаємо $G_{ро(зв)} = 2$

Коефіцієнт завантаження обладнання визначається за формулою (7.4):

$$K_{з(зв)} = \frac{1,75}{2} = 0,87$$

Результати розрахунків занесемо до таблиці 7.3.

Таблиця 7. 3 – Розрахунок кількості обладнання

Найменування обладнання	Модель	Кількість обладнання, шт		Коефіцієнт завантаження	Потужність, кВт/год	
		зарозра- хун-ком	прийнята		одиниці	всього
Електропіч	СНОЛ- 25	1,75	2	0,873	8	16
Установка для ЕШВ	A-550У	2,43	3	0,87	18	18
Відрізний вер- стат		0,43	1	0,43	2,5	2,5
Заточувально - шліфувальний верстат	ТШ-1	0,6	1	0,6	2,2	2,2
Разом		4,96	9	0,64	37,7	52,7

Вартість будівлі виробничого призначення визначають виходячи з обсягу, що визначається за прийнятою висоті прольоту, кількості одиниць обладнання та питомої площі, займаної одиниці обладнання, вартості 1 м² будівлі і ін.

При визначенні питомої площі, займаної одиницею обладнання, необхідно враховувати додаткову площу (проходи, проїзди), що припадає на одиницю обладнання. Вартість 1 м² будівлі виробничого призначення приймаємо рівною 1000 грн.

7.4 Розрахунок кількості персоналу ділянки

Чисельність основних виробничих робітників дільниці на нормованих роботах розраховується згідно з розрядами і професіями за формулою:

$$R_0 = \frac{\sum_{i=1}^m t_i \cdot N_i}{F_{\text{др}} \cdot K_{\text{в.н}}}, \quad (7.5)$$

де m – кількість видів робіт;

t_i – норма часу i -ої операції, нормо-годин;

N_i – річна виробнича програма i -ого виробу, одиниць;

$F_{\text{до}}$ – дійсний річний фонд часу роботи одного робітника, годин;

$K_{\text{в.н}}$ – коефіцієнт виконання норм виробітку. $K_{\text{в.н}} = 1,05$.

Дійсний річний фонд часу роботи одного робітника визначається за формулою:

$$F_{\text{др}} = F_{\text{ном}} (1 - h), \text{ год} \quad (7.6)$$

де $F_{\text{ном}}$ – номінальний річний фонд часу роботи одного робітника для одностійного режиму, год. $F_{\text{ном}} = 2080$ год;

h – плановий коефіцієнт невиходів робітників на роботу. Приймаємо $h = 0,12$.

$$F_{\text{др}} = 2\,080 (1 - 0,12) = 1830 \text{ (год)}$$

Визначаємо кількість операторів ЕШВ ділянки за формулою 7.5:

$$R_{0(\text{сл.})} = \frac{(0,116 + 0,25 + 0,083) \cdot 7\,000}{1\,830 \cdot 1,05} = 2 \text{ (осіб)}$$

Визначаємо кількість зварювальників ділянки за формулою 7.5:

$$R_{0(\text{сл.})} = \frac{1 \cdot 7\,000}{1\,830 \cdot 1,05} = 2 \text{ (осіб)}$$

Визначаємо кількість термістів ділянки за формулою 7.5:

$$R_{0(\text{сл.})} = \frac{1 \cdot 7\,000}{1\,830 \cdot 1,05} = 1 \text{ (осіб)}$$

Чисельність допоміжних робітників розраховується за нормами обслуговування.

Приймаємо:

- контролер – 1 особи;
- слюсар – 1 особи;

Чисельність робітників і спеціалістів ділянки розраховуємо за штатним розкладом:

- майстер – 2 особи;
- технолог – 1 особа.

Загальна чисельність персоналу ділянки наведена у вигляді таблиці 7.4.

Таблиця 7.4 – Загальна чисельність персоналу

Персонал	Чисельність, осіб	У тому разі за роз- рядом			У т.ч. за змінами	
Робітники:						
Основні						
Зварювальник	2	1	1		1	1
Оператор ЕШВ	2		2		1	1
Теміст	1		1		1	
Допоміжні						
Контролер	1	1			1	
Слюсар	1	1			1	
Усього	7	3	4	-	5	2
ІТП						
Майстер	2				1	1
Технолог	1				1	
Усього	3				2	1
Разом	10	3	4	-	7	3

7.5 Матеріальні витрати

Розрахунок необхідних основних зварювальних матеріалів наведено в таблиці 7.5 балансова вартість покупних виробів визначається сумою прејскурантної і транспортно-заготівельних витрат - 5%.

Таблиця 7.5 – Розрахунок потреби основних і допоміжних матеріалів та їх вартості

Найменування матеріалу, марка, ГОСТ, розмір	Норма витрат		Ціна 1т матеріалу, грн	Вартість матеріалу на програму, грн.	Вартість на програму за вирахуванням відходів, тис.грн.	
	На виробу, кг	На програму, кг			Запрејскуранту	Балансова
Зварювальний дріт Св08Г2С	1,5	10,5	1000	850,5	850,5	890,6
Флюс АНФ-6	0,13	0,91	9000	71,89	71,89	82,3
Електроди ВСт 3 кп ГОСТ 380-71	3,12	21,84	7000	1463,28	1463,28	1521,51
Разом				2385,67	2385,67	2494,41

7.6 Вартість основних засобів

Вартість приміщення: з розрахунку 1000 грн. за 1м² вартість приміщення площею 216 м² дорівнює 216000 грн.

Розрахунок кількості обладнання, його вартості і потужності наведено в таблиці 7.6

Таблиця 7.6 - Розрахунок кількості обладнання, його вартості і потужності

Найменування обладнання	Ціна за одиницю, грн.	Кількість обладнання, шт.	Балансова вартість, грн.
Електропіч	37900	2	75800
Установка для ЕШВ	145400	2	145400
Відрізний верстат	18700	1	18700
Заточно-шліфувальний верстат	16500	1	16500
Всього		8	312400

Балансова вартість обладнання:

$$Q_{np} = 312400 \cdot 1.15 = 359260 \text{ грн}$$

Балансова вартість цінного інструменту становить 5% балансової вартості обладнання:

$$Q_{np} = 359260 \cdot 0.05 = 17963 \text{ грн}$$

Балансова вартість виробничого інвентарю приймаємо 2% від вартості обладнання, а господарського 30грн. на одного працівника.

$$Q_{np} = 359260 \cdot 0.02 + 330 = 7515,2 \text{ грн}$$

де 330- вартість господарського інвентарю, грн.

Основні фонди ділянки і розрахунок амортизаційних відрахувань наведені в таблиці 7.7.

Таблиця 7.7 - Основні фонди ділянки їх структура і амортизаційні

Групи основних фондів	Балансова вартість, грн	Структура, %	Термін експлуатації, лет	Річні амортизаційні відрахування, грн
Приміщення	216000	40	40	17280
Виробниче обладнання	312400	55,9	20	74976
Інструмент і пристосування	17963	2,8	10	7185,2
Виробничий інвентар	7515,2	1,3	5	3006,08
Разом	1004122,55	100		102447,28

7.5 Заробітня плата

Сума заробітної плати, яка виплачується робітникам підприємства, утворює фонд оплати праці.

Основний фонд заробітної плати основних робітників – відрядників розраховується за формулою:

$$З_{\text{відр}} = N \sum P_i, \text{ грн} \quad (7.7)$$

де N – річна виробнича програма виробів, одиниць. $N = 25\,000$ (див. стор. 29);

P_i – розцінка на i -ту операцію, грн;

B – кількість операцій технологічного процесу.

Розцінка на операцію розраховується за формулою:

$$P_i = C_i \cdot t_i, \text{ грн} \quad (7.8)$$

де C_i – часова тарифна ставка i -того розряду, грн;

t_i – норма часу на i -ту операцію, н-годин.

Розрахунок по операціях зводимо до таблиці 7.8.

Таблиця 7.8 – Розрахунок розцінок по операціям

Найменування операції	Норма часу, н-годин	Розряд робіт	Часова тарифна ставка, грн	Розцінка, грн
1. Термообробка	1	4	45	45
2. Зварювання	1	5	55	55
3. ЕШВ	0,25	5	55	13,75
Усього	2, 25			113,75

Результати розрахунків підставляємо до формули (7.7):

$$З_{\text{відр}} = 7000 \cdot 113,75 = 795,250 \text{ (грн)}$$

Основний фонд заробітної плати допоміжних робітників, які знаходяться на погодинній оплаті праці, розраховується за формулою

$$З_{\text{погод}} = C_1 \cdot F_{\text{др}} \cdot R_{\text{доп}} \cdot K_{\text{тар.сер.}}, \text{ грн} \quad (7.9)$$

де C_1 – часова тарифна ставка i -го розряду, грн;

$F_{\text{др}}$ – дійсний річний фонд часу роботи одного робітника, грн. $F_{\text{др}} = 1830$ грн (див. стр. 35);

$R_{\text{доп}}$ – чисельність допоміжних робітників, осіб;

$K_{\text{тар.сер}}$ – середній тарифний коефіцієнт, що знаходиться за формулою:

$$K_{\text{тар.сер}} = \frac{\sum_{i=1}^m K_i \cdot R_{\text{доп.}i}}{R_{\text{доп}}}, \quad (7.10)$$

де m – кількість розрядів допоміжних робітників. $m = 1$ (див. табл. 7.3);

K_i – тарифний коефіцієнт i -го розряду. $K_i = 1,5$ (тарифний коефіцієнт 4-го розряду);

$R_{\text{доп.}i}$ – чисельність допоміжних робітників i -го розряду, осіб. $R_{\text{доп.}i} = 2$

$R_{\text{доп}}$ – чисельність допоміжних робітників, осіб. $R_{\text{доп}} = 2$

$$K_{\text{тар.сер}} = \frac{1,5 \cdot 4}{2} = 1,5$$

$$З_{\text{погод}} = 55 \cdot 1830 \cdot 2 \cdot 1,5 = 301,905 \text{ (грн)}$$

Планувальні доплати і премії приймаються у розмірі (50-60)% від основної заробітної плати. Премії з прибутку складають для робітників – 15% до основної заробітної плати, для керівників та спеціалістів – 40%.

Результати розрахунків фонду оплати праці зводимо до таблиці 7.9.

Таблиця 7.9 – Фонд оплати праці

№	Категорія працюючих	Кількість працюючих, осіб	Тарифний фонд з/пл, грн	Доплати, доп. з/пл, премії, грн	Річний фонд з/пл, грн	Середня з/пл за місяць, грн
1	Основні	5	795,250	194600	538800	13,254
2	Допоміжні	2	301,905	83815,9	251447,7	7838,5
3	ІТП	3	109736,1	54868,05	164604,15	7672,33
Всього			1,206,891	333283,95	954851,85	7825,28

7.8 Собівартість продукції

В цьому розділі розраховують усіх витрат виробництва, які припадають на одиницю продукції і на виконання виробничої програми в цілому.

Собівартість виробу визначається всіма затратами ділянки за такими статтями прямих та непрямих витрат.

Прямі витрати: основні і допоміжні матеріали, основна заробітна плата основних робітників і додаткова заробітна плата, відрахування на соціальні заходи.

До непрямих витрат відносять: витрати на утримання і експлуатацію обладнання, загальновиробничі витрати.

Таблиця 7.12 – Калькуляція собівартості електрошлакового виплавлення

	Найменування статей витрат	Витрати	
		на програму, грн	на одини- цю, грн.
1.	Допоміжні і основні матеріали	2494,41	0,35
2.	Паливо і енергія на технологічні цілі	89512,5	12,87
3.	Тарифна заробітна плата основних працівників	796,250	113,75
4.	Доплати, додаткова заробітна плата, премії основних працівників	398,090	56,87
5.	Відрахування на соціальні заходи	262,710	37,53
6.	Витрати на утримання і експлуатацію устаткування	2,388,750	341,25
7.	Загально виробничі витрати	1,592,500	227,5
	Виробнича собівартість	5,530,306.91	790,58

7.9 Економічне обґрунтування запропонованих розробок

Фондомісткість:

$$\Phi_{\text{см}} = \frac{\Phi_{\text{осн.}}}{C_n - C_{\text{м.п.}}} \quad (7.22)$$

$$\Phi_{\text{см}} = \frac{553878,2}{1888752,55 - 2494,41} = 0,29 \text{ грн.}$$

В таблиці 7.13 наведені техніко-економічні показники наплавлювальної ділянки.

Таблиця 7.13 – Техніко-економічні показники

Показники	Одиниця виміру	Показники
1. Річний випуск продукції:	шт. компл.	7000
- за кількістю		
- по трудомісткості	Н\Годин	41250
2. Виробнича площа ділянки	м ²	216м ²
3. Вартість основних фондів	грн.	553878,2
4. Чисельність працівників	Чол.	10
-Основних	Чол.	5
- Допоміжних	Чол.	2
-ІТП	Чол.	3
5. Загальний фонд заробітної плати	грн.	954851,85
6.Середньомісячна заробітна плата працівників	грн.	6825,28
7. Продуктивність роботи працівника	Грн.	110956,36
8. Фондовіддача	Грн./чол.	3,41
9. Коефіцієнт завантаження обладнання	Грн./грн.	0.64
10. Фондомісткість	Грн.	0.29
11. Собівартість зварювальних робіт:	Грн./шт	326,75
12. Економічний ефект	Грн.	1042086,31

Визначення економічного ефекту від впровадження технології наплавлення роликів рольганга

Розрахунок економічного ефекту для обладнання довготривалого використання проводиться за формулою:

$$E = \left(3_2 \cdot \frac{\frac{1}{P_6} + E_H}{\frac{1}{P_H} + E_H} - 3_1 \right) \cdot N,$$

де:

де P_6, P_H – терміни служби в роках за базовим та річного варіанту.

$N = 7000$ – річний обсяг продукції;

3_1 – наведені витрати на одиницю продукції по базовому варіанту, грн.;

$$3_1 = C_1 + \Xi_H \cdot K_{1 \text{ ПИТ}} \quad (7.23)$$

де: $C_1 = 269,89$ – собівартість одиниці продукції по базовому варіанту, грн.;

3_2 – наведені витрати на одиницю продукції по новому варіанту, грн.;

$$3_2 = C_2 + E_H \cdot K_{2 \text{ ПИТ}} \quad (7.24)$$

де: C_2 – собівартість одиниці продукції по новому варіанту, грн.;

$K_{1,2 \text{ ПИТ}}$ – питомі капітальні вкладення, грн.;

$E_H = 0.15$ – нормативний коефіцієнт економічної ефективності;

$$3_1 = 269,82 + 0,15 \cdot 150,85 = 292,44 \text{ грн}$$

$$3_2 = 326,75 + 0,15 \cdot 150,85 = 349,37 \text{ грн}$$

$$\Xi = \left(349,37 \frac{\frac{1}{0,33} + 0,15}{\frac{1}{0,43} + 0,15} - 292,44 \right) \cdot 7000 = 104208631 \text{ грн.}$$

8 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи з охорони праці, при технології електрошлакової виплавки злитків.

8.1 Аналіз потенційних небезпек

а) Незадовільна організація робочого місця може бути пов'язано з недостатнім урахуванням вимог ергономіки, включаючи нераціональним розміщенням технологічного обладнання і захаращеності робочої зони. Можливість отримати механічних травм в разі порушень правил з охорони праці, не використання індивідуальних засобів захисту.

б) Можливість поразки електричним струмом. Основними причинами поразок можуть бути не виконання правил електробезпеки, не використання індивідуальних засобів захисту, відсутність захисного заземлення, частково оголені дроти, неізольовані скрутки, пробій ізоляції.

в) Можливість отримати термічні опіки при розігріву флюсу в муфельній печі в результаті випадкового дотику нагрітих поверхонь обладнання, деталей або заготовок.

г) Небезпеки, які пов'язані з налаштування дослідницького обладнання, зокрема, отримання механічних травм при установці разходуємий електрод.

г) Небезпеки які показані, з попереднім нагрівом електроду та безпосередньо процесу електрошлаковій виплавці, зокрема потужне електромагнітне випромінювані та інтенсивне виділення тепла.

д) Небезпеки, які пов'язані з визначення макроструктури та механічних властивосте при використанні абразивного інструменту, та хімічні опіки при травленні макроструктури.

е) Незадовільне освітлення робочої зони, що може бути пов'язано з виходом з ладу освітлювальних приладів або надмірної забрудненості. Це може призвести до погіршення зору, погіршення здатності розрізняти об'єкти, а в результаті і до травмування.

є) Можливість загорянь причинами яких є порушення правил пожежної безпеки, витік горючих робочих газів, коротке замикання.

ж) Неправильні дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій різного характеру, причинами яких є невідповідність персоналу до дій в умовах НС, низька ефективність управління в цих умовах, що може призвести до тяжких травм або летального результату.

8.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

а) Саме на робочому місці відбувається поєднання елементів виробничого процесу - засобів праці, предметів праці та самого праці. На робочому місці досягається головна мета праці - якісне, економічне і своєчасне виготовлення продукції або виконання встановленого обсягу роботи. Залежно від типу виробництва, особливостей технологічного процесу, характеру трудових функцій, форм організації праці та інших факторів визначається класифікація робочих місць. Так, за рівнем механізації робочі місця поділяються на автоматизовані, механізовані робочі місця, де виконуються ручні роботи. Механізовані робочі місця в свою чергу поділяються на частково механізовані (робота верстата, механізму і т. д.) і механізовані, автоматизовані а на напівавтоматизованих і роботизовані. За ознакою поділу праці робочі місця можуть бути індивідуальними і колективними (бригадними), за спеціалізацією універсальними, спеціалізованими і спеціальними, за кількістю обслуговуваного устаткування одностаночними і многостаночними, за ступенем рухливості стаціонарними і пересувними. Робочі місця можуть перебувати в приміщенні, на відкритому повітрі, на

висоті, під землею. Робота на них може виконуватися сидячи, стоячи або з чергуванням тієї та іншої пози.

б) Основними заходами можуть бути невиконання правил електробезпеки, невикористання засобів індивідуального захисту, відсутність захисного заземлення, неізольовані скручування, пробій ізоляції.

Основні заходи захисту повинні бути:

Електрообладнання зварювальних ділянок, ділянок нанесення наплавлень, ділянок електрошлакової переплавки і т.д., повинні відповідати вимогам НПАОН 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів», ДСН 3.3.6.096-2002 «Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів» і ін. чинним нормативним актам.

Експлуатацію та ремонт електроустановок повинні проводити спеціально навчений персонал (вимоги до персоналу повинні відповідати ДНАОП 0.00-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»).

Для кожної електроустановки повинні бути зроблені експлуатаційні схеми нормального та аварійного роботи. В електричних схемах повинні бути передбачені захисні електроприймачі від перевантажень і коротких замикань.

Електричне обладнання повинні бути заземлені відповідно до ПУЕ-2009.

Всі неізольовані струмопровідні елементи електрообладнання повинно бути надійно обгороджено суцільними огорожами, зняття або відкриття яких можливо тільки за допомогою спеціальних пристроїв. Друге рішення - розташування на недоступній висоті (більш ніж на 3 м). Умови роботи на ділянках зварювальних і наплавочних робіт характеризується підвищеною запиленістю через генерації аерозолів при роботі зварювального устаткування або наплавочного. У цих умовах електрообладнання повинно використовуватися в пилозахисні виконанні.

При виконанні робіт, що стосуються можливості ураження електричним струмом, необхідно використовувати індивідуальні засоби захисту відповідно до НПАОП 24,9-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок

споживачів», НПАОП 40.1-1.01.97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок». Наприклад: діелектричні килимки та ін.

Проводка для трансформаторів може бути тимчасовою і постійною, але на всій її протяжності вона повинні бути піднята на висоту, яка забезпечує недосяжність (> 3 м). Спуск проводів виконується по колонах для виключення механічних пошкоджень, застосовують шланговий провід.

Зварювальні дроти повинні бути гнучкими, з легкої і міцної ізоляцією.

Включення джерел живлення зварювального поста здійснюється тільки через рубильник.

в) Для виключення термічних опіків передбачено використання індивідуальних засобів захисту, зокрема, рукавиці брезентові ГОСТ 12.4.010-75 ССБТ «Засоби індивідуального захисту. Рукавиці спеціальні. Технічні умови », костюми захисні від підвищених температур по ГОСТ 12.4.045-78, спеціальної шкіряним взуттям по ГОСТ 12.4.032-77« Взуття спеціальне шкіряне для захисту від підвищених температур. Технічні умови".

г) Після заливки першої порції металу ведуть електрошлаковий обігрів дзеркала металу. Потужність, що підводиться, повинна підтримувати його рідким по усьому перерізу виливниці. При цьому залита сталь поступово твердне в напрямі від низу до верху і до моменту заливки наступної порції металу під шаром рідкого шлаку залишається невеликий об'єм рідкого металу . Сталь наступної порції аналогічним чином заливають у виливницю, і він змішується із залишком рідкого металу першої порції. Цей процес повторюють кілька разів до заповнення всієї виливниці. Після заливки останньої порції металу поступово знижують електричну потужність, що підводиться до шлакової ванні, тобто запобігають утворенню усадочною раковини в головній частині зливки . Інтенсивна обробка металу рафінуючі шлаком забезпечує високу чистоту металу зливка по сірці і неметалічних включень. Спрямована від низу до верху послідовна кристалізація металу в виливниці при постійній наявності порівняно невеликого обсягу рідкого металу і високого градієнта температур в металевій ванні обмежує розвиток в зливку зональної ліквідації і виключає утворення в

ньому дефектів усадочного і ліквационного походження. Травмування можливе при не вірному закріпленні електроду в установці або при транспортуванні к установці.

г) При виконанні ЕШВ треба керуватися загальними інструкціями по техніці безпеки для електрозварювань і газо-резательних робіт з урахуванням додаткових заходів, пов'язаних з особливостями цього процесу. Ця наявність відкритої поверхні шлакової ванни, нагрітої до високої температури і випромінюючої сліпуче світло, сусідство розплавленого металу і шлаку з проточною водою, застосування дугового процесу для наведення шлакової ванни, можливі викиди рідкого шлаку і металу, відскік гарячого шлаку з поверхні шва при його охолодженні. Тому робітникам дозволяється працювати тільки з покритою головою, у брезентовому костюмі, в рукавицях і в прозорому щитку, що закриває обличчя. Спостереження за поверхнею шлакової ванни слід вести через стекла або окуляри (димчасті або сині). Необхідно ретельно стежити за справністю водяної комунікації і водоохолоджуваних пристроїв. Категорично забороняється знаходитися над плавильним простором, під формувальними пристроями і поблизу шва, щоб не отруїтися газоподібними виділеннями шлакової ванни і не отримати опіки при виплеску або витіканні шлаку і металу, а також при відскоку гарячого шлаку з поверхні шва.

д) Горизонтальний металографічний мікроскоп МИМ-8 призначений для дослідження мікроструктури металів і інших непрозорих об'єктів в світлому полі при прямому і косому освітленні, а також в темному полі і в поляризованому світлі. Для візуального спостереження об'єктів мікроскоп забезпечений монокулярної і бінокулярної насадками. Власне збільшення бінокулярної насадки - 2,5 х. Набір ахроматичних і алохроматичних об'єктивів і окулярів забезпечує збільшення мікроскопа при візуальному спостереженні - від 100х до 1350х. Предметний столик мікроскопа забезпечений механізмами для координатного переміщення об'єкта. Освітлення здійснюється від електролампи розжарювання потужністю 170 Вт, 17 В, живиться від освітлювальної мережі 220 В через понижуючий трансформатор, забезпечений секційним перемикачем для регулю-

вання яскравості напруження лампи. Сам мікроскоп і все його частини встановлені на станині, що представляє собою оптичну лаву довжиною 1,8 м. Станина встановлюється на чотири демпфера, призначених для запобігання мікроскопа від вібрації. Демпфери вмонтовані в стіл, який має з боків дві тумби з висувними ящиками для зберігання приладдя. Правильне використання мікроскопа виходить тільки за умови раціональної комбінації об'єтивів, окулярів. При вживанні їх треба пам'ятати, що збільшення повинно знаходитися в межах від 500 до 1000 апертур. Об'єктиви апохромати в поєднанні з компенсаційними окулярами для візуального спостереження дають збільшення. Крім правильної комбінації об'єтивів і окулярів, не менш важливе значення має і правильне застосування світлофільтрів. Як правило, при роботі з об'єктивами-ахроматами слід застосовувати світлофільтри, а з апохроматами можна працювати і без них. Об'єктиви-ахромати мають корекцію тільки для середніх кольорів видимої частини спектра; з цієї причини при білому світлі вони дають зображення з нечіткими контурами, пофарбованими головним чином по краю поля зору. Щоб погасити всі кольори, в яких об'єкт не має корекції, застосовують жовто-зелений світлофільтр. З огляду на те, що об'єктиви-апохромати мають корекцію майже для всіх кольорів видимої частини спектра, жовто-зелені світлофільтри для них зайві.

8.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

а) Для нормалізації параметрів повітряного середовища в проекті передбачено: пристрій технічних систем, які повинні забезпечувати параметри повітряного середовища відповідно до норм, які вказані в таблиці 8.1, згідно СНиП 23-01-99 «Будівельна кліматологія»

Таблиця 6.1 – Оптимальні фізичні параметри навколишнього середовища цеху.

Період року	Температура, °С	Відносна вологість %	Швидкість, м/с
Холодний	18-22	40-60	0,1 – 0,3
Теплий	20-23	40-60	0,1-0,4

У теплий період року для зниження температури повітря в робочому просторі необхідно використовувати природну вентиляцію, або загальнообмінну припливну витяжну вентиляцію відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартів безпеки праці. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони ». У холодний період року використовуються системи водяного опалення відповідно до СНиП 2.04.05-91 "Отопление, вентиляция и кондиционирование».

Розрахунок продуктивності природної вентиляції (приплив або витяжка повітря):

$$L = k \cdot V_n, \text{ м}^3/\text{год}$$

де k – кратність повітрообміну (відповідно до галузевих норм кратність повітрообміну в цеху становить $k=2$);

V_n – об'єм приміщення, м³.

$$V_n = 216 \cdot 8 = 1728 \text{ м}^3$$

$$L = 2 \cdot 1728 = 3456 \text{ м}^3/\text{год}$$

б) Незадовільне освітлення робочої зони, що може бути пов'язано з виходом з ладу освітлювальних приладів або надмірної забрудненості. Це може привести до погіршення зору, погіршення здатності розрізняти об'єкти, а в результаті і до травмування.

Для забезпечення необхідного рівня виробничого освітлення слід дотримуватися вимог ДБН В.2.5-28-3006 «Природне і штучне освітлення. Норми проектування». Вибір джерел освітлення виконується в залежності від розмірів виробничого приміщення. Рекомендовано використовувати лампи типу ДРЛ – 250-400 лм., які встановленні у світильник типу РСР.

8.4 Заходи з пожежної безпеки

Пожежна безпека на виплавляючій ділянці може бути забезпечена сукупністю заходів, спрямованих на попередження пожеж, запобігання поширення вогню в разі виникнення пожеж і створення умов, що сприяють швидкій ліквідації пожежі, що почалася.

Передбачені на наплавлювальній ділянці заходи, попереджуючи причини виникнення пожеж, підрозділяються на організаційні, експлуатаційні, технічні і режимні.

До організаційних заходів відносяться: навчання робітників протипожежним правилам, інструкцій, організація добровільних дружин, пожежно-технічних комісій, видання наказів по питаннях посилення пожежної безпеки згідно НПАОП.

До режимних заходів відносяться: заборона куріння в невстановлених місцях, проведення зварювальних і інших вогневих робіт в пожежонебезпечних місцях.

До експлуатаційних заходів відносяться: правильна експлуатації, профілактичні ремонти, огляди і випробування наплавлюваного обладнання і пристроїв і так далі.

Пожежну техніку згідно ГОСТ 124009 — 82 «Пожежна техніка для захисту об'єктів. Основні види. Розміщення і обслуговування», призначену для захисту складально-зварювальних об'єктів підрозділяють на наступні групи: поже-

жні машини (автомобілі, мотопомпи і причеви); установки пожежогасінні; установки пожежної сигналізації; вогнегасники; пожежне устаткування; пожежний ручний інвентар; пожежні рятувальні пристрої.

До ручних вогнегасників відносяться: пінні (ВХП-10), вуглекислотні (ВВК-5).

8.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

Безпека у надзвичайних ситуаціях – це стан захищеності населення, об'єктів економіки та довкілля від небезпеки у надзвичайних ситуаціях.

Надзвичайна ситуація техногенного та природного характеру – порушення нормальних умов життя та діяльності людей на окремій території чи об'єкті на ній або на водному об'єкті, спричинене аварією, катастрофою, стихійним лихом чи іншою небезпечною подією, зокрема епідемією, епізоотією, епіфітотією, пожежею, яке призвело (може призвести) до неможливості проживання населення на території чи об'єкті, ведення там господарської діяльності, загибелі людей та значних матеріальних втрат.

Захист населення і територій від НС техногенного та природного характеру – система організаційних, технічних, медико-біологічних, фінансово-економічних та інших заходів щодо запобігання та реагування на НС техногенного та природного характеру і ліквідації їх наслідків, що реалізуються центральними і місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування, відповідними силами та засобами підприємств, установ та організацій, незалежно від форм власності й господарювання, добровільними формуваннями і спрямовані на захист населення і територій, а також матеріальних і культурних цінностей та довкілля.

Неправильні дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій різного характеру, причинами яких є невідповідність персоналу до дій в умовах НС, ни-

зська ефективність управління в цих умовах, що може привести до травмування або смерті.

Забезпечення безпеки персоналу досягається підвищенням стійкості промислового об'єкта в умовах НС; організацією рятувальних і відновлювальних робіт на промисловому об'єкті, наявністю технічних ресурсів до більш швидкої евакуації персоналу із зони ураження.

Таким чином, для створення ефективної системи охорони праці та створення безпечних умов для персоналу необхідно:

- Обов'язкове проведення медичних оглядів, проведення інструктажів, допуск до роботи осіб старше 18 років, які пройшли навчання за фахом, відповідно НВАО 0.00.-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці»;

- Використання індивідуальних захисних засобів відповідно до ГОСТ 12.4.103-83 «Одяг спеціальний захисний, засоби індивідуального захисту ніг і рук», щитки захисні ГОСТ 12.4.035 78 «ССБТ Щитки захисні лицьові для електрозварників»;

- Робоче місце повинно бути організовано в спеціальних кабінах, має бути зручним, з хорошою вентиляцією згідно ГОСТ 12.4.021-75 «Система стандартів безпеки праці. Системи вентиляційні»;

- Регулярно проводиться перевірка захисного заземлення, відсутність оголених проводів, відкритих скруток пробоїв ізоляції ПУЕ-2011 «Правила улаштування електроустановок»;

- Перевірка наявності та справності засобів індивідуального захисту органів дихання згідно ГОСТ 12.4.034-2001 «Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту органів дихання»;

- Робоча зміна не повинна перевищувати встановленої для даної категорії працівників щоденної тривалості робочого часу, в перебігу кожної години відпочинок на 5 хвилин;

- Проведення перевірки освітленості робочої зони і справності освітлювальних ламп відповідно ДБН В.2.5-28-3006 «Природне і штучне освітлення. Норми проектування »;

- Перевірка системи водяного опалення та кондиціонування ділянки відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартів безпеки праці. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони »;

- Проведення оглядів усіх засобів пожежогасіння (вогнегасники, пожежні щити) знаходяться на ділянці відповідно до СНиП 2.01.02-85 «Протипожежні норми проектування будівель і споруд».

- Контроль за рівнем освітленості - по ГОСТ 24940-81;

- Контроль пожежної небезпеки - по ГОСТ 12.1.004-85;

- Контроль вентиляції робочих місць - по ГОСТ 12.3.018-79.

ВИСНОВОК

У результаті роботи над дипломним проектом встановлено:

1. Структура і властивість литого металу при ЕШВ виплавки залежить від теплових умов плавлення витрачаємого електрода.
2. Умови кристалізації можна поліпшити за рахунок формування додаткових зон каплепадіння з електродного торця.
3. При додатковому плазмовому-дуговому підігріві витрачаємого електрода забезпечуючи форму на електродному торці концентричне коло є прибутковим додаткове джерело каплепадінням.
4. Додатковий плазменно-дуговий підігрів витрачаємого електрода забезпечує можливість збільшити швидкість плавлення в 1,25-1,30 рази при забезпеченні високої якості литого металу.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. **Норкрос, Дж.** Выплавка толстостенных сосудов давления методом непрерывного электрошлакового переплава [Текст] / Норкрос, Дж. Электрошлаковый переплав, Москва, 1973. - с.261-267.
2. **Баландин, Г.Ф.** Формирование кристаллического строения отливок, [Текст] / Баландин, Г.Ф. - М.: Машиностроение, 1965- 255 с.
3. **Гиббс, В.Д.** Термодинамические работы. [Текст] / Гиббс, В.Д. - М.: Наука, 1950.- 492 с.
4. **Френкель, Я.И.** Кинетическая теория жидкости. [Текст] / Френкель, Я.И. - М.: Наука, 1975. - 592 с.
5. **Шульте, Ю.А.** Производство отливок из стали. [Текст] / Шульте, Ю.А. - Киев- -Донецк: Вища школа, 1983. - 184 с.
6. **Неймарк, Г.М.** Модифицированный стальной слиток. [Текст] / Неймарк, Г.М. - М.: Металлургия.- 200 с.
7. **Данков, В.И.** Кристаллохимический механизм взаимодействия поверхности кристалла с чужеродными элементарными частицами [Текст] / Данков, В.И. Журн. физ. химии. ~ 1946. -№ 8. - с.853-869.
8. **Wolmer, M.** Kinetik der Phasenbildung. [Текст] / Wolmer, M. - Drezden, 1959. – 220 s.
9. **Данилов, В.И.** Строение и кристаллизация жидкости [Текст] / Изд. АН УССР, К., 1956. - 216 с.
10. **Мальцев, В.М.** Модифицирование структуры металлов и сплавов. [Текст] / Мальцев, В.М. - М.: Металлургия, 1964. - 216 с.
11. **Семенченко, В.К.** Поверхностные явления в металлах и сплавах. [Текст] / Семенченко, В.К. - М.: Гостехиздат, 1957. - 491 с.
12. **Кунин, Л.Л.** Поверхностные явления в металлах. [Текст] / Кунин, Л.Л. - М.: Металлургиздат, 1955, - 304 с.
13. **Корольков, А.М.** Литейные свойства металлов и сплавов. [Текст] / Коро-

льков, А.М. - М.: Наука, 1967. - 200 с.

14. **Бабаскин, Ю.З.** Структура и свойства литой стали. [Текст] / Бабаскин, Ю.З. - К.: Наук.думка, 1980. - 240 с.

15. **Вайнгард, У.** Введение в физику кристаллизации металлов. Перевод с английского. [Текст] / Вайнгард, У. - М.: Мир, 1967. - 159 с.

16. **Чалмерс, Б.** Теория затвердевания. Перевод с английского. [Текст] / Чалмерс, Б. - М.: Metallurgia, 1968. - 288 с.

17. **Шмрга, Л.** Затвердевание и кристаллизация стальных слитков. Перевод с чешского. [Текст] / Шмрга, Л. - М.: Metallurgia, 1985. - 248 с.

18. **Шульте, Ю.А.** Электрометаллургия стального литья. [Текст] / Шульте, Ю.А. - М.: Metallurgia, 1970. - 224 с.

19. **Гуляев, Б.Б.** Литейные процессы. [Текст] / Гуляев, Б.Б. - М.: Машгиз, 1960. - 416 с.

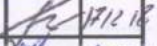
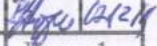
20. **Fredriksoon, H.** Solidification of steels. [Текст] / Fredriksoon, H. - "Acta univ ouluen". 1983.-№26.- р. 24.

21. **Ефимов, А.В.** Разливка и кристаллизация стали. [Текст] / Ефимов, А.В. - М.: Metallurgia, 1976. - 552 с.

22. **Хворинов, Н.И.** Кристаллизация и неоднородность стали. Перевод с чешского. [Текст] / Хворинов, Н.И. - М.: Машгиз, 1958. - 392 с.

23. **Флеминге, М.** Процессы затвердевания. Перевод с английского. [Текст] / Флеминге, М. - М.: Мир, 1967. - 423 с.

Дубл.			
Взам.			
Подл.			

Разраб.	Волошин М.П.		17.12.18
Провер.	Білоник І.М.		17.12.18
Н.контр.	Нетребко В.В.		12.12.18
Листов 3		Лист 1	

	ГКЮ 055618.001	
	ДП	

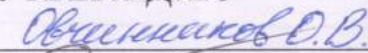
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ЗАПОРОЖСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

СОГЛАСОВАНО

КОМПЛЕКТ ДОКУМЕНТОВ

Електрошлакова технологія поліпшення структури і
властивостей литих заготовок деталей машин

УТВЕРЖДАЮ



Нормоконтроль проф. В. В. Нетребко

Дата

Внедрен в производство

Акт № _____ Дата _____.

Зав. кафедрой ОТСП д.т.н., проф. О. В. Овчинников

Дата 20.12.2018.

Комплект документов

соответствует

ТД

→ ○

Взам.															
Подл.															
												Листов 3	Лист 2		
Разраб.			Волошин М.П.	<i>Волошин</i>	17.12.18							ГКІЮ 055618.002			
Пров.			Білоник І.М.	<i>Білоник</i>	17.12.18										
Н. контр.			Нетребко В.В.	<i>Нетребко</i>	17.12.18										
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.		Код. назви операції					Назва документа				
Б	Код. назви обладнання					СМ	Проф.	Р	УТ	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпз	Тшт
К/М	Назва деталі сб. одиниці або матеріала					Позначення, код					ОП	ЕВ	ЕН	КИ	Н. расх
01	Транспортна														
02	Доставити заготовки витратних					Підсобний робочий 2р					0,15				
03	електродів до електрошлакової установки														
04															
05	Термічна														
06	Електропід СНОЛ 2,5.					Терміст 3р					0,5				
07	Т = 850 °С, 1,5 год.														
08	Прокалка флюса АНФ – 6														
09	ГОСТ 30756-2001														
10															
11	Підготовчі роботи														
12	Кристалізатор, установка А – 550					Підсобний робочий 3р					0,25				
13	плазменно-дугового нагрівача														
14	Установка кристалізатора					0,10									
15	Установити плазменно-дуговий нагрівач (ПДН)					0,20									
16	Установити електрод					0,15									
17	Увімкнути воду на кристалізатор и нагрівач					0,05									
18	Засипати флюс АНФ-6 в кристалізатор					0,05									
19															
20	Виправлення деталі														
21	Установка А-550 ; ТШС-3001 ; ПДН					Зварювальник 5р					0,8				

[illegible]