

КЛАСТЕРНИЙ МЕХАНІЗМ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ШВІВ ПРИ ДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ З ДІЄЮ КЕРУЮЧИХ МАГНІТНИХ ПОЛІВ

Прийнятий в літературі зі зварювання і широко освітлений в навчальній літературі процес кристалізації металу в зварювальній ванні пояснюють з позиції дифузійного механізму. Механізм росту кристалів представляється як приєднання атомів речовини з розплаву до твердої фази (підкладки), тобто як дифузійний процес. При цьому процес кристалізації трактується як періодичний, з зупинками в період виділення прихованої теплоти кристалізації. На кордоні твердого металу ванни з рідким її металом утворюється тонкий твердо-рідкий прошарок, в якому розвиваються дифузійні процеси (рух атомів з розплаву до твердого металу шва, що закристалізувався). Такий підхід використаний у всіх роботах, які присвячені вивченню дії магнітних полів (МП) при дуговому зварюванні на подрібнення структури швів. У той же час в літературі в галузі ливарного і металургійного виробництва для пояснення властивостей злитків широко використовується кластерний механізм процесу їх кристалізації. Між процесами кристалізації металу в зварювальній ванні і процесами кристалізації злитків є схожість. Шляхом дифракції відбитих від рідких металів і сплавів (в тому числі і на основі заліза) рентгенівських променів, електронів і нейтронів встановлено, що в рідині є кристалоподібні складові-кластери. По літературним даним в одному кластері рідкого металу (сплаву на основі заліза) міститься близько $10^2 \dots 10^3$ атомів. Кластери виникають при плавленні кристалічних тіл. Кластери - це короткоживучі, але досить стійкі угруповання атомів. Навколо кластерів існує знеміцнена зона (тобто атоми рідкого металу). Об'єм знеміцненої зони становить для багатьох рідких металів і сплавів близько 2...5 %, а сплавів на основі заліза - до 28 %. Знеміцнена зона є проміжним середовищем. На наш погляд ці уявлення можна використовувати для опису процесу кристалізації зварних швів при дуговому зварюванні металів і сплавів, в тому числі і при дії керуючих магнітних полів. Це відбувається таким чином: рідкий метал в головній частині ванни має більш високу температуру (приблизно на 1000 °C) і більш дрібні кластери, ніж в хвостовій частині ванни, де більші кластери (і де метал кристалізується). Під дією знакозмінних електромагнітних сил керуючих магнітних полів рідкий метал періодично (примусово) переміщується в хвостову частину ванни, поставляючи туди більш дрібні кластери і це забезпечує при кристалізації в зварному шві (здією керуючих магнітних полів) формування більш дрібних зерен.

Ключові слова: дугове зварювання, магнітне поле, кристалізація, кластер

Постановка проблеми. Процеси дугового наплавлення і зварювання під флюсом займають одне з найважливіших місць при з'єднанні та відновленні конструкцій у галузі машинобудування. Ефективність процесу дугового наплавлення і зварювання залежить від продуктивності розплавлення електродного дроту і проплавлення основного металу, від можливості керування процесом кристалізації рідкого металу в зварювальній ванні. Для підвищення ефективності цих процесів перспективним є використання керуючих зовнішніх магнітних полів. Найчастіше при дуговому зварюванні та наплавленні використовують поздовжні магнітні поля (ПДМП) і поперечні магнітні поля (ПОМП). При цьому спостерігається подрібнення структурних складових швів. Але у даний час не уточнений механізм подрібнення структури швів при дуговому наплавленні та зварюванні з дією керуючих магнітних полів. Уточнення цього механізму дозволить підвищити ефективність дії магнітних полів на метал

Машинобудування і зварювальне виробництво

зварювальної ванни в процесі його кристалізації. У зв'язку з цим робота є актуальною при дуговому зварюванні і наплавленні деталей і конструкцій у машинобудівному виробництві.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Є значна кількість публікацій, в яких встановлено, що при дуговому зварюванні з дією керуючих магнітних полів відбувається подрібнення структури металу шва (або наплавленого металу) і підвищення механічних властивостей зварних швів [1]. Це відповідає відомому положенню Холла-Петча [2] про те, що зменшення розмірів структурних складових металу призводить до підвищення його механічних характеристик. Автори по-різному пояснюють дію магнітних полів на подрібнення структурних складових металу зварних швів, що утворюються при їх кристалізації. Розглянемо більш детально це питання.

В роботі [3] показано, що немає єдиного погляду на механізм спостережуваного ефекту подрібнення структурних складових при дуговому зварюванні металів і сплавів з дією керуючих магнітних полів. В роботі [4] показано, що ці явища відбуваються на стадії первинної кристалізації металу шва. У відомих роботах, короткий огляд яких наведено в роботі [3], механізм росту кристалів представляється як приєднання атомів речовини з розплаву до твердої фази (підкладці), тобто як дифузійний процес. Показано, що механізм кристалізації, прийнятий в літературі зі зварювання і широко освітлений в навчальній літературі [7, 8], пояснюють з позиції дифузійного механізму. При цьому процес кристалізації трактується як періодичний, з зупинками в період виділення прихованої теплоти кристалізації. На кордоні твердого металу ванни з рідким металом утворюється тонкий твердо-рідкий прошарок, в якому розвиваються дифузійні процеси (рух атомів з розплаву до твердого металу шва, що закристалізувався). Такий підхід використаний у всіх роботах, які присвячені вивченню дії магнітних полів (МП) при дуговому зварюванні на подрібнення структури швів. У той же час в літературі в області ливарного і металургійного виробництва для пояснення властивостей злитків широко використовується кластерний механізм процесу їх кристалізації. Між процесами кристалізації металу в зварювальній ванні і процесами кристалізації злитків є схожість.

Мета роботи. У даній роботі поставлене завдання проаналізувати сучасні літературні дані про механізм кристалізації злитків у ливарному виробництві і можливості їх використання для пояснення причин подрібнення структури металу швів при електродуговому зварюванні з дією керуючих магнітних полів.

Основні напрямки досліджень. Існує багато гіпотез про механізм подрібнення структури швів при зварюванні з керуючими магнітними полями. В роботі [4] встановлено, що подрібнення структурних складових металу швів при зварюванні з дією магнітних полів відбувається на стадії їх первинної кристалізації. Відомі роботи, де вивчали механізм кристалізації металу в процесі його затвердіння, відносяться до ливарних процесів, або до отримання надчистих монокристалів [5,6]. У всіх відомих роботах і підручниках по теорії зварювальних процесів [7, 8] процес кристалізації різних металів і сплавів розглядають з уявлень, висловлених в роботах [5, 6]. Такий же підхід використаний у всіх роботах, які присвячені вивченню дії магнітних полів при дуговому зварюванні на подрібнення структури швів.

Слід зазначити, що кристалізація металу зварних швів має схожість з кристалізацією злитків при звичайних процесах лиття в ливарному та металургійному виробництвах. В даний час є велика кількість робіт (досліджень) по ливарному та металургійному виробництву, в яких по-іншому розглядається механізм кристалізації злитків.

У роботах по кристалізації злитків виходять з моделі кластерної будови рідких металів і сплавів. В літературі по ливарному та металургійному виробництву докладно розглядаються процеси кристалізації, виходячи з гіпотези про кластерну будову рідкого металу. При цьому виходять з того, що при розплавленні металів (при температурі розплавлення) утворюються кластери, і в кінці розплавлення рідкий метал має кластеру будову [10-19].

Машинобудування і зварювальне виробництво

Дані цих робіт, на наш погляд, є перспективними при розгляді кристалізації швів при дуговому зварюванні з дією магнітних полів. Шляхом дифракції відбитих від рідких металів і сплавів (в тому числі і на основі заліза) рентгенівських променів, електронів і нейтронів було встановлено, що в рідкому металі є кристалоподобні складові-кластери [10-16].

Кластер – це кристалоподобні згущення атомів [10-13]. В одному кластері рідкого заліза міститься близько $10^2 \dots 10^3$ атомів. Кластери виникають при плавленні кристалічних тіл [10-26]. Час існування кластерів становить $10^{-7} \dots 10^{-8}$ с, яке набагато більше періоду коливання атомів в кристалічній решітці ($10^{-14} \dots 10^{-13}$ с). Кластери - це короткоживучі, але досить стійкі угруповання атомів. Навколо кластерів існує знеміцнена зона (тобто атоми рідкого металу). Об'ємознеміцненої зони становить для багатьох рідких металів і сплавів близько 2...5 % [10-11]. Але в роботі [12] показано, що об'єм цієї зони для розплаву заліза може складати 28 %. Знеміцнена зона є проміжним середовищем, за допомогою якого атоми з одних кластерів переходять до інших. Механізм кристалізації рідких металів розглядається, виходячи з того, що в рідині вже є кристалоподобні угруповання (кластери). Переконаливо показано, що дифузний механізм кристалізації, що раніше використовувався, не витримує критики, оскільки процес кристалізації металу протікає приблизно на 2-3 порядки швидше, ніж швидкість дифузії (самодифузії) атомів в рідких металах. Елементарною цеглинкою росту кристалів є деяке більш велике утворення, ніж атом, а саме: кластер [10]. Зростання кристалів за рахунок приєднання кластерів до твердої фази не виключає, що одночасно відбувається і приєднання окремих атомів. Але цей процес є як би додатковим [10]. Виходячи з цього положення, автор пояснив багато відомих властивостей як рідких, так і твердих металів і сплавів. В роботі [21] показано, що формування кластерів відбувається лише в прикордонному перехідному шарі розплаву, що формується перед фронтом кристалізації. Однак це постулюється (без доказів) при виконанні комп'ютерного моделювання процесу кристалізації металу з розплаву. В роботі [15] висловлено аналогічне припущення про наявність прикордонного шару, в якому в міру наближення до твердої фази в'язкість рідини збільшується і це робить найбільш імовірним дислокаційний механізм кристалізації. Автори роботи [26] на основі аналізу термічного охолодження розплавів висунули гіпотезу про існування мезофази вище точки плавлення, яка характеризується наявністю кристалоподобних кластерів. При кристалізації рідкого металу не виникають нові поверхні розділу, а закриваються існуючі межкластерні поверхні розділу. Будівельним матеріалом при цьому служать не атоми, а кластери. Більші кристали можуть поглинати дрібніші (конкуренція теорія кристалізації). Зрощення кластерів, (нанокристалів, кристаликів) автори зазначених робіт пояснюють по-різному. Однак, усі автори згодні з тим, що такі зрощення термодинамічно вигідні, оскільки через закриття поверхонь розділу зменшується вільна енергія. Це дозволяє, зокрема, пояснити той факт, що якщо вилівок охолоджується швидко, то часу на зрощення сусідніх кристалів (кластерів, наноструктур) не вистачає, і в виливках спостерігається дрібнозерниста первинна структура.

У роботах [19-21, 29] теоретично обґрунтований вказаний механізм кристалізації. У дисертації [21] математичним моделюванням підтверджений цей механізм кристалізації сплавів на основі заліза. Отримувані модельні структури пояснюються наявністю двох стадій процесу кристалізації сплавів. На першій стадії відбувається формування кластерів в прикордонному шарі, а на другій стадії – подальше їх приєднання до кластерно-шорсткої поверхні.

На наш погляд, на основі уявлень про будову рідких металів (сплавів) у вигляді кластерів можливо пояснити механізм дії зовнішніх (керуючих) магнітних полів на процес кристалізації розплаву у ванні при дуговому зварюванні в такий спосіб. Як відомо, рідкий метал в головній частині ванни при зварюванні сплавів на основі заліза має температуру щонайменше 2500 С (під дугою ця температура досягає температури кипіння – T_{kun}). Температура металу плавно знижується в напрямку до хвостової частини ванни до температури плавлення – $T_{пл}$ ($T_{пл} \approx 1500$ °С). Спостерігається перепад (градієнт) температури рідкого металу в напрямку до хвостової

Машинобудування і зварювальне виробництво

частини ванни. Ще більшою мірою спостерігається перепад (градієнт) температур в поперечних перетинах ванни. Слід зазначити, що аналогічний перепад температур має місце в напрямку до дна ванни. Тобто, процес кристалізації рідкого металу ванни починається на бічних стінках і у дна ванни, і просувається в хвостову частину ванни. При зварюванні з дією знакозмінних ПДМП і ПОМП (за нашими дослідженнями) перегрітий майже до температури кипіння під дугою рідкий метал ванни з головної частини періодично переміщується до хвостової її частини, а потім – до головної частини ванни. В роботах [10, 27-30] встановлено, що при перегріванні рідкого металу в ньому збільшується число кластерів, а їх розміри зменшуються. З огляду на дані цих робіт про кластерний механізм кристалізації і конкурентному їх приєднанню до твердої підкладці ванни це повинно привести до подрібнення первинної структури металу шва при наплавленні (зварюванні) з дією магнітних полів, що і спостерігали в роботах [1, 3, 5] по дуговому зварюванню і наплавленню з дією керуючих магнітних полів.

ВИСНОВКИ

1. У ливарному та металургійному виробництві для пояснення властивостей виливків і злитків застосовують кластерний механізм їх кристалізації. При цьому виходять з того обґрунтованого факту, що в розплавленому металі вже є кластери (аналоги кристаліків, наноструктур), які оточені безструктурними утвореннями з атомів, і вони є центрами кристалізації. Будівельним матеріалом при цьому служать не атоми, а кластери. Процес кристалізації розплавів представляється як приєднання один до одного цих кластерів і до твердої поверхні зварювальної ванни.

2. Для пояснення причин подрібнення структурних складових зварних швів при дуговому зварюванні металів і сплавів з дією керуючих магнітних полів доцільно виходити з кластерного механізму кристалізації металу в зварювальній ванні, але для цього необхідно в подальшому виконання додаткових досліджень.

Список використаних джерел:

1. Григораиш, В. В. Управление кристаллизацией металла шва с целью повышения технологической прочности сварных соединений : дис. ... канд. техн. наук / Григораиш В. В. – К., 1991. – 238 с.
2. Лахтин, Ю. М. Материаловедение / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1990. – 528 с.
3. Размышляев, А. Д. О механизме измельчения структуры металла шва при дуговой сварке с воздействием магнитных полей : обзор / А. Д. Размышляев, М. В. Агеева // Автоматическая сварка. – 2018. – № 3. – С. 29–33.
4. Размышляев, А. Д. Первичная кристаллизация металла при дуговой наплавке с воздействием продольного магнитного поля / А. Д. Размышляев, М. В. Агеева // Сварочное производство. – 2020. – № 3. – С. 9–13.
5. Чалмерс, Б. Теория затвердевания / Б. Чалмерс. – М. : Металлургия, 1968. – 258 с.
6. Флемингс, М. Процессы затвердевания / М. Флемингс. – М. : Мир, 1977. – 156 с.
7. Багрянский, К. В. Теория сварочных процессов / К. В. Багрянский, З. А. Добротина, К. К. Хренов. – К. : Вища школа, 1976. – 424 с.
8. Фролов, В. В. Теория сварочных процессов / В. В. Фролов. – М. : Высшая школа, 1988. – 559 с.
9. Размышляев, А. Д. Влияние магнитного поля на кристаллизацию швов при дуговой сварке / А. Д. Размышляев, М. В. Агеева // Автоматическая сварка. – 2019. – № 1. – С. 40–43.
10. Гаврилин, И. В. Плавление и кристаллизация металлов и сплавов / И. В. Гаврилин. – Владимир : Владимир. гос. ун-т, 2000. – 355 с.

Машинобудування і зварювальне виробництво

11. Жукова, Л. А. Строение металлических жидкостей / Л. А. Жукова. – Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 2002. – 46 с.
12. Репях, С. И. Размеры кластеров при температуре плавления чистых кристаллических веществ / С. И. Репях // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2014. – № 1. – С. 40–44.
13. Найдек, В. Л. Кластеры – структурные составляющие металлических расплавов / В. Л. Найдек, С. Г. Мельник // *Металл и литье Украины*. – 2015. – № 7 (266). – С. 21–33.
14. Стеценко, В. Ю. Термодинамика и наноструктурные механизмы процессов плавления и кристаллизации металлов / В. Ю. Стеценко // *Литье и металлургия*. – 2016. – № 3 (84). – С. 45–48.
15. Стеценко, В. Ю. Наноструктурные процессы плавки и литья стали / В. Ю. Стеценко // *Литье и металлургия*. – 2016. – № 3 (84). – С. 49–51.
16. Стеценко, В. Ю. Металлические расплавы – наноструктурные системы / В. Ю. Стеценко // *Литье и металлургия*. – 2014. – № 1 (74). – С. 48–49.
17. Стеценко, В. Ю. Наноструктурные процессы плавления и кристаллизации чугуна / В. Ю. Стеценко // *Литье и металлургия*. – 2015. – № 1 (78). – С. 29–31.
18. Стеценко, В. Ю. Наноструктурные процессы плавления, кристаллизации и модифицирования металлов / В. Ю. Стеценко // *Литье и металлургия*. – 2015. – № 3 (80). – С. 51–53.
19. Стеценко, В. Ю. Кластеры в жидких металлах – стабильные нанокристаллы / В. Ю. Стеценко // *Литье и металлургия*. – 2015. – № 2 (79). – С. 33–35.
20. Марукович, Е. И. Основные трудности современной теории металлических расплавов. Пути преодоления / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко // *Литье и металлы*. – 2016. – № 3 (84). – С. 24–27.
21. Иванов, И. А. Кинетический фазовый переход при кристаллизации металлов из расплава : автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук / Иванов И. А. – М., 2007. – 23 с.
22. Марукович Е. И. Кристаллизация металлов и сплавов. Проблема. Пути решения / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко // *Литье и металлургия = Foundry production and metallurgy*. – 2018. – № 3 (92). – С. 22–25.
23. О воздействии нерастворимых добавок и вибрации на кристаллизацию переохлаждаемого расплава / В. Л. Найдек, А. С. Нурадинов, А. С. Эльдарханов, Е. Д. Таранов // *Процессы литья*. – 2009. – № 6. – С. 23–27.
24. Еланский, Г. Н. Свойства и строение расплавов на основе железа / Г. Н. Еланский, В. А. Кудрин // *Вестник ЮУрГУ*. – 2015. – Т. 15, № 3. – С. 11–19. – (Серия : Металлургия)
25. Межидов В. Х. О механизме образования и роста кристаллических зародышей из расплава / В. Х. Межидов, А. С. Нурадинов, А. С. Эльдараханов // *Процессы литья*. – 2010. – № 6. – С. 3–7.
26. Александров, В. Д. Этапы развития кластерно-коагуляционной модели кристаллизации переохлажденных металлов / В. Д. Александров, С. А. Фролова, А. П. Зозуля // *Металлические конструкции*. – 2019. – Т. 25, № 1. – С. 5–15.
27. Скребцов, А. М. Количество атомов в кластере металлического расплава : (новый расчет) / А. М. Скребцов // *Процессы литья*. – 2007. – № 3. – С. 3–8.
28. Изучение структурных перестроек в жидких металлах на модельном сплаве / А. М. Скребцов [и др.] // *Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту : зб. наук. пр. / ПДТУ*. – Маріуполь, 2008. – Вип. 18, ч. 1. – С. 61–65.
29. Новый способ определения числа атомов в кластере металлического расплава / А. М. Скребцов [и др.] // *Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту : зб. наук. пр. / ПДТУ*. – Маріуполь, 2006. – Вип. 16. – С. 56–62.

30. Скребцов, А. М. Структура жидких металлов в интервале температуры ликвидус-кипения / А. М. Скребцов // Процессы литья. – 2009. – № 3. – С. 3–7.

Размышляев А. Д., Агеева М. В.

КЛАСТЕРНЫЙ МЕХАНИЗМ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ШВОВ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ С ДЕЙСТВИЕМ УПРАВЛЯЮЩИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Принятый в литературе по сварке и широко освещенный в учебной литературе процесс кристаллизации металла в сварочной ванне объясняют с позиции диффузионного механизма. Механизм роста кристаллов представляется как присоединение атомов вещества из расплава к твердой фазе (подложке), то есть как диффузионный процесс. При этом процесс кристаллизации трактуется как периодический, с остановками в период выделения скрытой теплоты кристаллизации. На границе твердого металла ванны с жидким ее металлом образуется тонкий твердо-жидкий слой, в котором развиваются диффузионные процессы (движение атомов из расплава к твердому металлу шва закристаллизовавшегося). Такой подход использован во всех работах, посвященных изучению действия магнитных полей (МП) при дуговой сварке на измельчение структуры швов. В то же время в литературе в области литейного и металлургического производства для объяснения свойств слитков широко используется кластерный механизм процесса их кристаллизации. Между процессами кристаллизации металла в сварочной ванне и процессами кристаллизации слитков есть сходство. Путем дифракции отраженных от жидких металлов и сплавов (в том числе и на основе железа) рентгеновских лучей, электронов и нейтронов установлено, что в жидкости является кристаллоподобные составляющие-кластеры. По литературным данным в одном кластере жидкого металла (сплава на основе железа) содержится около $10^2 \dots 10^3$ атомов. Кластеры возникают при плавлении кристаллических тел. Кластеры - это короткоживущие, но достаточно устойчивые группировки атомов. Вокруг кластеров существует разупрочненная зона (то есть атомы жидкого металла). Объем разупрочненной зоны составляет для многих редких металлов и сплавов около 2 ... 5 %, а сплавов на основе железа - до 28 %. Разупрочненная зона является промежуточной средой. На наш взгляд эти представления можно использовать для описания процесса кристаллизации сварных швов при дуговой сварке металлов и сплавов, в том числе и при воздействии управляющих магнитных полей. Это происходит следующим образом: жидкий металл в головной части ванны имеет более высокую температуру (примерно на 1000 °С) и более мелкие кластеры, чем в хвостовой части ванны, где кластеры большие (и где металл кристаллизуется). Под действием знакопеременных электромагнитных сил управляющих магнитных полей жидкий металл периодически (принудительно) перемещается в хвостовую часть ванны, поставляя туда более мелкие кластеры и это обеспечивает при кристаллизации в сварном шве (под действием управляющих магнитных полей) формирование более мелких зерен.

Ключевые слова: дуговая сварка, магнитное поле, кристаллизация, кластер.

Razmyshlyayev A. D., Ahieieva M. V.

THE CLUSTER MECHANISM OF WELD CRYSTALLIZATION IN ARC WELDING WITH THE ACTION OF CONTROL MAGNETIC FIELDS

The process of metal crystallization in a welding bath, which is accepted in the welding literature and widely covered in the educational literature, is explained from the standpoint of the diffusion mechanism. The mechanism of crystal growth is represented as the attachment of atoms of matter from

the melt to the solid phase (substrate), that is, as a diffusion process. In this case, the crystallization process is treated as periodic, with stops during the release of the latent heat of crystallization. At the boundary of the solid metal of the bath with its liquid metal, a thin solid-liquid layer is formed, in which diffusion processes develop (movement of atoms from the melt to the solid metal of the crystallized weld. This approach is used in all works devoted to the study of the action of magnetic fields (MF) in arc welding on the weld structure grinding. At the same time, the cluster mechanism of the crystallization process is widely used in the literature in the field of foundry and metallurgical production to explain the properties of ingots. There are similarities between the metal crystallization processes in the welding bath and the ingot crystallization processes. By diffraction of X-rays, electrons, and neutrons reflected from liquid metals and alloys (including iron-based ones), it has been established that crystal-like clusters are present in the liquid. According to the literature, one cluster of liquid metal (an alloy based on iron) contains about $10^2 \dots 10^3$ atoms. Clusters arise when crystalline bodies melt. Clusters are short-lived but fairly stable groups of atoms. There is a softened zone around the clusters (that is, liquid metal atoms). The volume of the softened zone is for many rare metals and alloys about 2 ... 5 % and iron-based alloys - up to 28 %. The softened zone is an intermediate medium. In our opinion, these representations can be used to describe the crystallization process of welds in arc welding of metals and alloys, including under the action of control magnetic fields. This is as follows: the liquid metal in the head of the bath has a higher temperature (up to about 1000 ° C) and smaller clusters than in the tail of the bath, where the clusters are larger (and where the metal crystallizes). Under the action of alternating electromagnetic forces of the controlling magnetic fields, the liquid metal periodically (forcibly) moves into the tail of the bath, supplying smaller clusters and this ensures the formation of smaller grains during crystallization in the weld (under the action of the controlling magnetic field).

Keywords: arc welding, magnetic field, crystallization, cluster.

Стаття надійшла 13.04.2021 р.

УДК 621.791.75

doi.org/10.31498/2522-9990242021249000

Размишляев О. Д., Агеева М. В., Видмиш П. О.

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ПОПЕРЕЧНОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ПЕРЕМІШУВАННЯ МЕТАЛУ В ВАННІ ПРИ ДУГОВОМУ НАПЛАВЛЕННІ

Для підвищення ефективності процесу дугового наплавлення перспективним є використання керуючих зовнішніх магнітних полів. При дуговому наплавленні (зварюванні) доцільно використовувати знакозмінні поперечні магнітні поля (ПОМП), оскільки в цьому випадку забезпечується гарне формування валиків (швів). На рідкий метал зварювальної ванни впливає знакозмінне (у вигляді імпульсів) ПОМП. Огляд літературних даних показав, що не визначені оптимальні значення індукції і частоти знакозмінного ПОМП, при яких відбувається ефективно (по всій довжині ванни) перемішування рідкого металу при електродуговому наплавленні (зварюванні) дротом під флюсом. В даній роботі розроблена розрахункова методика, яка дозволяє отримати дані про швидкість примусового руху рідкого металу ванни при дуговому наплавленні з дією керуючого знакозмінного поперечного магнітного поля і встановити оптимальні параметри цього поля для ефективного перемішування рідкого металу у зварювальній ванні. В розробленій методиці розрахунками визначали геометричні розміри зварювальних ванн на передній стінці кратеру зварювальної ванни, а інші розміри зварювальних ванн визначали експериментально. Електромагнітну силу при дії ПОМП визначали множенням