

РОЗДІЛ «ЗВАРЮВАННЯ»

УДК 671.791.927

КАМЕЛЬ Г.И., д.т.н., профессор
МИЛЮТИН В.Н., к.т.н., доцент
МАКАРЕНКО П.П., инженер
БАША А.Ю., магистр

Днепродзержинский государственный технический университет

РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НАПЛАВКИ
РЕЗЦОВ ДОРОЖНОЙ ФРЕЗЫ

Введение. Изнашивание деталей, рабочих органов инструмента является закономерным процессом, неизбежно сопровождающим работу машин, механизмов промышленного оборудования и представляющим одну из форм их физического старения. Изнашивание происходит, как правило, интенсивно и приводит к изменению размеров, формы и состояния рабочих поверхностей деталей, чем вызывает постепенное снижение производительности машин.

Постановка задачи. При разработке технологий восстановления и упрочнения резцов дорожных фрез необходимо учитывать характер их износа. Так как рабочая кромка закаленного корпуса резца подвержена наибольшему износу, то необходимо производить ее восстановление. Износ твердосплавного наконечника несоизмерим с износом корпуса и происходит в результате заклинивания резца в резцедержателе, следовательно, на данном этапе производить его восстановление и упрочнение нерационально.

Целью исследований является разработка и внедрение рациональных способов ремонта и сварочных материалов для восстановления резцов дорожных фрез.

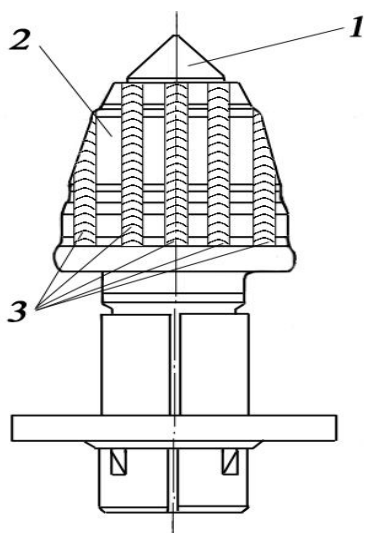
Результаты работы. В настоящее время известны многочисленные примеры применения различных износостойких наплавочных материалов и технологий для повышения износостойкости деталей дорожно-строительных машин, работающих в условиях абразивного изнашивания под действием нагрузок различной динамичности. В связи с этим на основе изучения предшествующего опыта по наплавке рабочих органов дорожных фрез предлагается ряд технологий повышения износостойкости резцов, а также восстановления изношенных рабочих органов.

Наиболее широко применяются наплавочные работы. Для этих целей предусмотрено проводить повышение износостойкости (рис.1) путем выполнения канавок на корпусе резца с последующей наплавкой высокоизносостойким материалом.

Предлагается также метод повышения износостойкости, основанный на применении паяных швов. В закаленном корпусе резца производится профрезеровывание канавок (рис.2). Пластины из твердого сплава ВК-8 накладываются в канавки, после чего выполняется наложение паяных швов. В качестве припоя используются смеси в пропорции 10-25% латуни или мельхиора с 90-75% твердых соединений (TiC , WC , VC , Cr_7C_3 , SiC , B_4C).

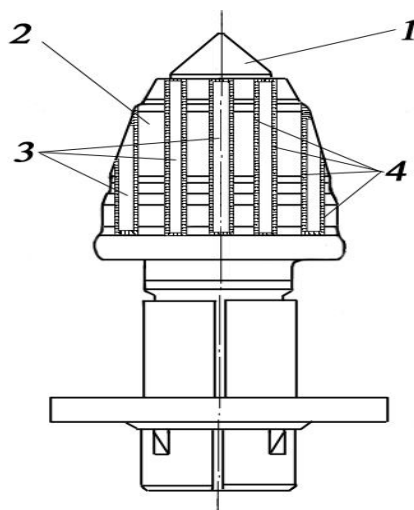
Пайка производится газовой горелкой либо с помощью индукционного нагрева. В смесь припоя в виде порошка вводится флюс ($Na_2B_4O_7 + H_3PO_4$) в соотношении 1:1 или 1:0,75, что обеспечивает надежное очищение порошка от оксидов, а также защищает пространство при пайке.

В последнее время для упрочнения деталей машин и механизмов, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания, применяется наплавка композиционным сплавом, состоящим из зернистого карбида вольфрама и сплава-связки на медной основе [1-3].



- 1 – твердосплавный наконечник;
- 2 – закаленный корпус резца;
- 3 – металл, наплавленный в предварительно профрезерованные канавки

Рисунок 1 – Технология упрочнения резца дорожной фрезы методами наплавки



- 1 – твердосплавный наконечник;
- 2 – закаленный корпус резца;
- 3 – пластины из твердого сплава, вставленные в профрезерованные канавки;
- 4 – припой с твердосплавными частицами

Рисунок 2 – Повышение износостойкости резца дорожной фрезы методом впайки твердосплавных пластин

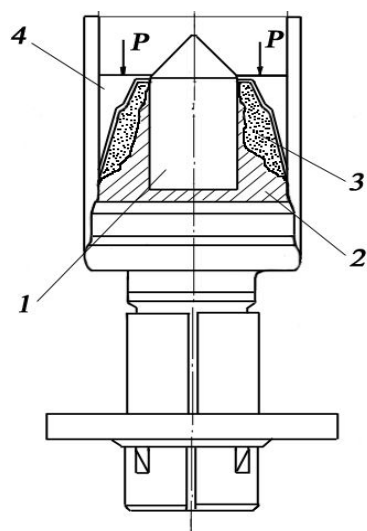
В результате анализа результатов, полученных различными исследователями [1-4], была предложена технология восстановления изношенных резцов дорожных фрез и повышения срока их службы. Технологический процесс предусматривает наплавку методом пропитки зернистого наполнителя жидким матричным сплавом (рис.3) в условиях автовакуумного эффекта [1, 3, 4] по режиму: нагрев со скоростью 100-150°С/ч до 1150°С, изотермическая выдержка 30 мин. В качестве наполнителя выбраны различные карбиды (WC, V₄C, VC, SiC) и твердые сплавы (P9M4K8, P12M3K5Ф2, P12M3K8Ф2) (табл.1). Матрица наплавочного композиционного сплава – латунь или марганцевый мельхиор МНМц 20-20.

Таблица 1 – Химический состав и механические свойства твердых порошков

Марка стали	C, %	Cr, %	W, %	V, %	Co, %	Mo, %	Твердость HRC, не менее	P _{изг} , МПа
P9M4K8	1,00-1,10	3,0-3,6	8,5-9,5	2,30-2,70	7,5-8,5	3,8-4,3	66-68	2300-2500
P12M3K5Ф2	1,05-1,15	3,8-4,3	11,5-12,5	1,80-2,30	5,0-5,5	2,5-3,0	66	2600-3500
P12M3K8Ф2	1,05-1,15	3,9-4,3	12,0-13,0	1,85-2,30	7,5-8,5	2,5-3,1	68	2700-3600

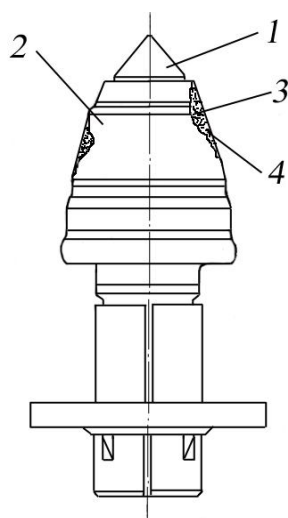
В кристаллизатор, повторяющий первоначальную форму резца, засыпается порошкообразный материал. После надежного закрепления двух получастей кристаллизатора производится нагрев резца в печи и пропитка, в результате чего восстановленный слой по твердости и износостойкости превышает материал закаленного корпуса.

Для восстановления небольших участков резца возможно использование газового нагрева с предварительно засыпанной порошковой массой в месте износа.



- 1 – твердосплавный наконечник;
- 2 – закаленный корпус резца;
- 3 – смесь зернистого наполнителя и матричного сплава;
- 4 – кристаллизатор для придания порошковому материалу исходной формы

Рисунок 3 – Восстановление изношенных резцов дорожных фрез способом автовакуумной пропитки зернистого наполнителя жидким матричным сплавом



- 1 – твердосплавный наконечник;
- 2 – закаленный корпус резца;
- 3 – металлополимерный композитный материал;
- 4 – частицы карбидов

Рисунок 4 – Восстановление изношенных резцов дорожных фрез путем нанесения слоя металлополимера

По аналогии с данным методом восстановление изношенной части целесообразно проводить с помощью технологии порошковой металлургии. Пресс-форма, имеющая геометрические размеры корпуса резца, наполняется порошковой массой и прессуется под воздействием температуры, в результате чего материал резца при определенном соотношении порошковых материалов имеет высокие эксплуатационные характеристики.

Широкое распространение на сегодняшний день получили металлополимеры – двухкомпонентные материалы, состоящие из эпоксидных смол и волоконных наполнителей. Так в промышленности находят применение металлополимеры фирмы Chester Molecular: Chester Metal Super BR – для ремонта дефектов корпусов, а также поврежденных и изношенных изделий, изготовленных из бронзы; Chester Metal Super AL – изделий из алюминия; Chester Metal Ceramic – восстановление роторов и корпусов насосов, восстановление деталей, подвергшихся износу и коррозии.

Для выполнения ремонтных работ корпуса резца дорожной фрезы (рис.4) проводится смешивание основы и активатора металлополимера. После размешивания смеси до однородной массы производится нанесение ее на место износа. В качестве основы применяются карбиды WC, VC, B_4C , SiC. При этом твердость восстановленных участков составляет 68-70 HRC.

Выводы. 1. Предложен ряд методов упрочнения и восстановления изношенных резцов дорожных фрез фирмы Wirtgen. В результате оптимизации материалов для наплавки резцов выбрана порошковая проволока ПП-250X15Ф2РН.

2. Предложены оптимальные режимы наплавки резцов и разработаны рациональные технологии: наплавки износостойкой порошковой проволокой, впайки твердосплавных пластин, автовакуумной пропитки зернистого наполнителя жидким матричным сплавом, нанесения слоя металлополимера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прихно И.Г. Разработка износостойких наплавочных композиционных сплавов с напол-

- нителем на основе карбида титана / Прихно И.Г., Дзыкович И.Я., Козина Г.К. // Автоматическая сварка. – 1987. – №3. – С.47-50.
2. Спиридонова И.М. Влияние структуры композитов с железной матрицей, содержащей бор, на процессы износа / Спиридонова И.М., Суховая Е.В., Ющенко К.А. // Автоматическая сварка. – 1995. – №7. – С.25-27.
 3. Спиридонова И.М. Износостойкие композиционные покрытия с наполнителями системы Fe-B-C / Спиридонова И.М., Суховая Е.В., Пиляева С.Б. // Автоматическая сварка. – 2003. – №1. – С.31-34.
 4. Тугинский Л.И. Композиционные материалы, получаемые методом пропитки. – М.: Металлургия, 1986. – 208с.

Поступила в редколлегию 15.11.2012.

УДК 621.791.75

МИРОНОВА М.В., к.т.н., доцент

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»

К ВЫБОРУ ОПТИМАЛЬНЫХ СХЕМ УСТРОЙСТВ ВВОДА ПОПЕРЕЧНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ДУГОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

Введение. Процессы автоматической сварки и наплавки под флюсом плавящимся электродом занимают важное место при производстве сварных конструкций. Эффективность применения дуговой сварки под флюсом повышается интенсифицированием процесса расплавления электродной проволоки и уменьшением глубины и площади проплавления основного металла. Для управления этими процессами, а также процессом кристаллизации металла сварочной ванны перспективным является применение внешних (управляющих) магнитных полей, воздействующих на каплю, дугу и жидкий металл сварочной ванны. Магнитное управление имеет преимущества по сравнению с механическими способами управления, поскольку оно осуществляется без непосредственного контакта управляющих устройств с зоной сварки (наплавки), и его применение не требует существенных изменений стандартного оборудования и техники сварки (наплавки).

При дуговой сварке применяют продольные (ПРМП) и поперечные магнитные поля (ПОМП).

Постановка задачи. В работах [1, 2] применительно к дуговой сварке и наплавке предложены устройства ввода (УВ) ПРМП, которые представляют собой соленоид с ферромагнитным сердечником, наличие которого позволяет значительно увеличить продольную (аксиальную) компоненту индукции в зоне сварочной дуги и жидкого металла ванны.

В некоторых статьях, посвященных, в основном, рассмотрению влияния ПОМП на геометрию швов (валиков) при дуговой сварке (наплавке), данные об использованных при этом конструкциях УВ ПОМП даже не упоминаются. Вопрос же об оптимальности применявшихся конструкций УВ ПОМП в большинстве работ не обсуждался. Рассмотрим более подробно литературные данные о конструкциях УВ ПОМП применительно к дуговой сварке и наплавке плавящимся электродом. При этом проанализируем также и строение магнитного поля, которое обеспечивают эти УВ ПОМП в зоне сварочной дуги (электродной капли) и жидкого металла сварочной ванны, поскольку ПОМП воздействует на дугу и на потоки жидкого металла в сварочной ванне, а это оп-

ределяет конечный результат, то есть, размеры сварных швов и наплавленных валиков в поперечном сечении.

Следует отметить, данные о конструкциях УВ ПОМП для процессов дуговой сварки и наплавки немногочисленны. Работы [3-6] посвящены исследованию различных аспектов процесса сварки и наплавки с воздействием ПОМП. Однако в этих работах не приведены данные о применявшихся конструкциях УВ ПОМП.

Данная работа направлена на изучение схем УВ ПОМП применительно к процессам дуговой сварки и наплавки для повышения эффективности этих процессов.

Результаты работы. В одной из первых работ, посвященной исследованию влияния переменного ПОМП на геометрию стыковых швов при сварке стали Ст.3 проволокой Св-08А под флюсом АН-348А, указано, что для создания ПОМП использовали специальный электромагнит, который крепился к автомату АДС-1000 [7]. Магнитное поле, создаваемое этим электромагнитом, вызывало колебания дуги поперек шва. Было установлено, что при переходе от пластины без разделки к пластине с разделкой величина магнитной индукции (при одном и том же значении намагничивающей силы) снижалась в 4...7 раз. Применение ПОМП при дуговой наплавке под флюсом способствовало снижению глубины проплавления на 10...50% и увеличению ширины шва на 20...25%. Однако в этой работе не приведена конструкция применявшегося УВ ПОМП.

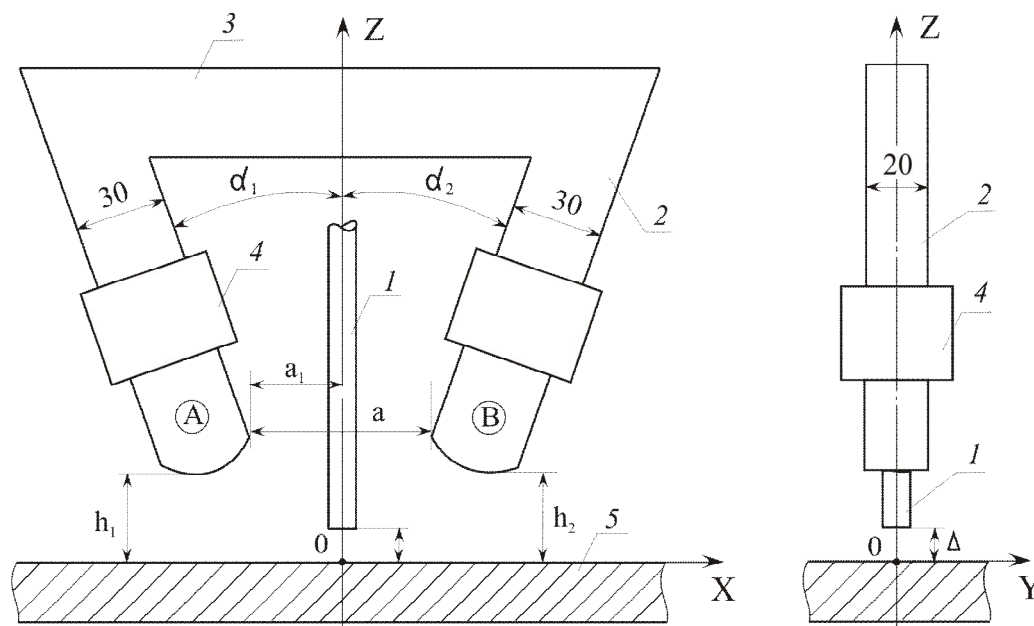
В работе [8] использовали УВ ПОМП в виде П-образного электромагнита с двумя катушками, размещенными на стержнях с постоянным и переменным сечением применительно к сварке проволокой Св-08ГА постоянным током под флюсом АН-348А кольцевых поворотных стыков труб из стали с толщиной стенки 11...12 мм.

Установлено, что при количестве 3000...7500 ампер-витков и сечении магнитопровода 25×25 мм с воздушным зазором между полюсами 20...30 мм обеспечивалось качественное формирование швов. Измерения индукции показали, что устройство с постоянным сечением электромагнитов обеспечивало при равных условиях большую индукцию магнитного поля, чем устройство со стержнями переменного сечения, сужающимися в направлении к полюсам. Следует отметить, что в этой работе в зоне стыка измерялась только поперечная компонента магнитного поля V_x , приводящая к колебаниям дуги. Но в этой же зоне имеет место значительная величина продольной компоненты индукции V_z , которая не измерялась. Продольная компонента индукции V_z могла значительно повлиять на движение дуги жидкого металла сварочной ванны, а, следовательно, и на форму сварных швов. На форму швов в этом случае могла влиять не только поперечная, но и продольная компонента магнитного поля.

В работе [9] приведено устройство ввода ПОМП, которое использовалось при наплавке под флюсом проволокой Нп-30ХГСА цилиндрических образцов диаметром 76 мм из стали 45. Конструкция УВ ПОМП представляла собой электромагнит с П-образным сердечником. Показано, что при воздействии ПОМП изменяется коэффициент расплавления электродной проволоки. Однако приведенное в этой работе УВ ПОМП применимо только к процессу наплавки узлов цилиндрической формы и неприменимо для наплавки плоских изделий. Еще одним недостатком такого устройства является ограниченный диаметр изделий, восстанавливаемых путем наплавки.

Следует отметить, что во всех указанных работах применяли УВ ПОМП с П-образным магнитопроводом (с обмотками). Однако оптимальность именно такой схемы магнитопровода и оптимальные размеры ее элементов не обсуждались. Не обсуждалась возможность использования конструкций УВ ПОМП, выполненных по другим схемам.

Более совершенной представляется разработанная конструкция УВ ПОМП (рис.1). Устройство состоит из двух наклонных участков, на которых размещены катушки, а также горизонтального участка-перемычки.



1 – электродная проволока; 2 – стержни;
3 – перемычка; 4 – катушки; 5 – изделие (пластина)

Рисунок 1 – Схема конструкции УВ ПОМП

Указанное устройство обеспечивает распределение индукции B_z постоянного и переменного (частотой 50 Гц) ПОМП с возрастающим характером. При этом в зоне под торцом электрода компонента индукции B_z значительно меньше, чем компонента B_x .

В этой конструкции стержни (2) и перемычка (3), выполненные из листов электротехнической стали Э 42 толщиной 0,5 мм, имели сечение 30×20 мм. На этих стержнях размещали обмотки (4) с числом витков $W = 70$ из медного изолированного провода диаметром 2,0 мм. Индукцию ПОМП измеряли у поверхности пластины – изделия 5 – универсальным тесламетром 43205 с датчиком Холла, имевшем измерительную базу 0,9×0,9 мм.

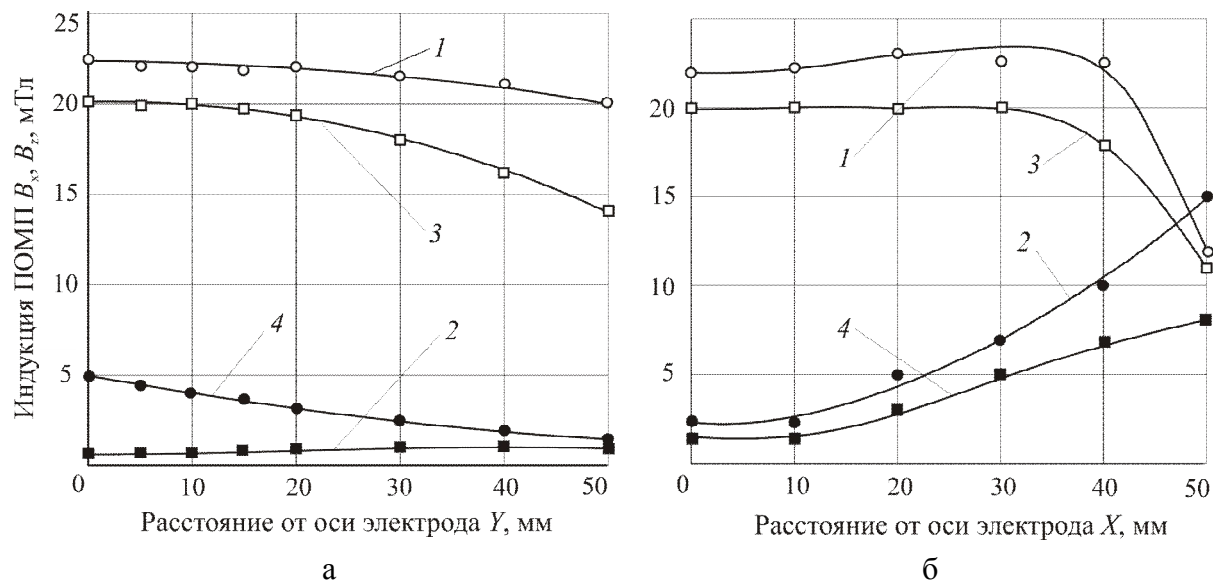
Исследование проплавления основного металла необходимо выполнить при наплавке с воздействием ПОМП, обеспечивающего 2 варианта отклонения дуги: поперек направления наплавки и вдоль направления наплавки.

В этих двух вариантах наплавки необходимо обеспечить максимальные значения поперечной компоненты индукции ПОМП (B_x) и минимальные значения продольной компоненты индукции (B_z).

Предварительными исследованиями установлено, что оптимальным наклоном стержней А и В к вертикали является угол 20...30°, который в дальнейших исследованиях оставляли без изменений в указанных пределах. Установлено также, что оптимальной является закругленная форма торцов стержней УВ ПОМП (рис.1). После варьирования размерами h_1 , h_2 , a_1 , a установлено, что при величине $h_1 = h_2 = 25...30$ мм; $a_1 = 40...45$ мм; $a = 80...90$ мм распределение поперечной компоненты индукции B_x вдоль оси ОХ между стержнями А и В получается достаточно равномерным, а величина индукции B_z в активной зоне сварочной ванны ($x \leq 20...30$ мм) не превышает значений 2...5 мТл при уровне индукции $B_x = 20 \dots 23$ мТл (рис.2, а). Это распределение индукции B_x , B_z вдоль оси ОХ следует учитывать при выполнении наплавки вдоль оси ОХ и расположении стержней УВ ПОМП также вдоль оси ОХ.

В этом варианте наплавки дуга будет отклоняться вдоль оси ОУ. Для варианта выполнения наплавки вдоль оси ОУ (рис.1) измерениями установлено, что вдоль оси

ОУ в диапазоне значений $X = 0 \dots 30$ мм (в зоне сварочной дуги и хвостовой части ванны) уровень индукции $B_x = 22,5 \dots 20,0$ мТл, а уровень индукции B_z незначителен и составляет $5 \dots 2,5$ мТл (рис.2, б). Таким образом, и в этом варианте наплавки на сварочную дугу и жидкий металл ванны будет воздействовать, в основном, поперечная компонента индукции B_x .



1, 3 – B_x ; 2, 4 – B_z ; а – 1, 2 – $Y = 0$; 3, 4 – $Y = 20$ мм; б – 1, 2 $X = 0$; 3, 4 – $X = 20$ мм (постоянное ПОМП, ток в катушках 60А)

Рисунок 2 – Распределение индукции B_x, B_z ПОМП вдоль оси OX (а) и оси OY (б)

Представляется актуальным выполнение исследований по дальнейшей оптимизации схем конструкций УВ ПОМП применительно к процессам дуговой сварки и наплавки.

Выводы. В литературном обзоре проанализированы известные УВ ПОМП, применяемые при дуговой сварке и наплавке.

Приведена разработанная схема конструкции УВ ПОМП, которая обеспечивает более равномерное распределение поперечной компоненты индукции между УВ ПОМП.

Показана целесообразность выполнения исследований по дальнейшему совершенствованию конструкций УВ ПОМП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сварка с электромагнитным перемешиванием / [В.П.Черныш, В.Д.Кузнецов, А.Н.Брискман и др.]. – Киев; Техника, 1983. – 127с.
2. Черныш В.П. Оборудование для сварки с электромагнитным перемешиванием / Черныш В.П., Кухарь С.Н. – Киев: Вища школа, 1984. – 56с.
3. Акулов А.И. Магнитное управление дугой при сварке плавящимся электродом в аргоне // Акулов А.И., Копаев Б.В. // Автоматическая сварка. – 1972. – №7. – С.39-42.
4. Измельчение структуры металла шва при сварке дугой, колеблющейся в поперечном магнитном поле / А.М.Болдырев, Ю.С.Ткаченко, Н.П.Толоконников [и др.] // Автоматическая сварка. – 1975. – №7. – С.70-71.
5. Магнитное управление формированием шва при автоматической сварке под флюсом / Ю.Г.Гаген, И.В.Перун, С.Т.Добровольский [и др.] // Автоматическая сварка. –

1975. – №11. – С.73-74.
6. Демянцевич В.П. Влияние внешнего магнитного поля и параметров режима сварки на формирование сварных швов / Демянцевич В.П., Лебедев Г.А., Максимец Н.А. // Сварочное производство. – 1975. – № 11. – С.7-9.
 7. Шейнкин М.З. Применение магнитных колебаний при сварке под флюсом / Шейнкин М.З., Шмелева И.А., Варяхов Н.Ф. // Сварочное производство. – 1969. – № 6. – С.24-25.
 8. Пацкевич И.Р. Распределение индукции наведенного магнитного поля в зоне горения сварочной дуги / Пацкевич И.Р., Зернов А.В., Иванцов В.Я. // Сварочное производство. – 1970. – № 2. – С.9-10.
 9. Влияние внешнего электромагнитного поля на скорость плавления электродной проволоки при автоматической наплавке под флюсом / П.А.Иофинов, В.С.Ибрагимов, А.К.Дмитриенко [и др.] // Сварочное производство. – 1991. – № 1. – С.34-35.

Поступила в редколлегию 19.11.2012.

УДК 612.791

НОСОВ Д.Г., к.т.н., доцент
КЛИМЕНКО В.В., студент
МАЛЬЦЕВ В.В., студент

Дніпродзержинський державний технічний університет

ВПЛИВ ЧАСТОТИ ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ ВАЛИКА, НАПЛАВЛЕНОГО ПІД ФЛЮСОМ (ЧАСТИНА I)

Вступ. Зовнішні електромагнітні поля (ЕМП) застосовують для підвищення продуктивності процесу наплавлення (за рахунок збільшення коефіцієнта розплавлення електродного дроту) [1, 2] та покращення якісних характеристик наплавленого металу [3], яке відбувається за рахунок зниження хімічної мікронеоднорідності та рівномірного розподілу легуючих елементів у всьому перетині валика. Крім того, при наплавленні із застосуванням ЕМП у ряді випадків фіксується підвищення механічних властивостей зварного з'єднання в цілому [4]. При цьому усі автори збігаються на думці, що значно впливають на згадані показники не тільки амплітудні але й частотні характеристики ЕМП.

Тому визначення впливу частоти зовнішніх ЕМП на геометричні розміри валика з урахуванням основних параметрів режиму наплавлення та розробка математичної моделі прогнозування геометрії валика є актуальною задачею.

Постановка задачі. Об'єктом дослідження є технологічний процес дугового наплавлення дротом під флюсом із застосуванням зовнішнього впливу поперечного магнітного поля (ПОМП). Предметом дослідження виступають процеси формоутворення валиків при дуговому наплавленні дротом під флюсом з дією поперечного магнітного поля.

Метою даної роботи є дослідження впливу частоти поздовжнього магнітного поля, сили струму та швидкості наплавлення на геометричні параметри валика при електродуговому наплавленні під флюсом.

Результати роботи. Дослідження по встановленню параметрів зони проплавлення основного металу при дуговому наплавленні дротом під флюсом з дією ПОМП

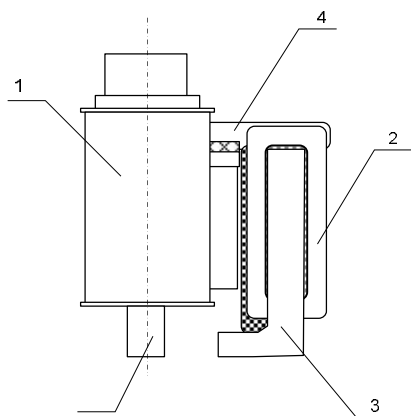
виконані на установках з використанням стандартних методик та устаткування в лабораторних умовах.

Для визначення впливу частоти зовнішнього магнітного поля на геометричні параметри валика при електродуговому наплавленні під флюсом використовували метод статистичної обробки даних, отриманих експериментальним шляхом.

Наплавлення виконували на листи вуглецевої сталі Ст3пс (ДСТУ 2661) товщиною $50 \cdot 10^{-3}$ м зварювальним трактором ТС-17Р від джерела живлення дуги ВДУ-1201 дротом Св-08А діаметром $4 \cdot 10^{-3}$ м під флюсом АН-348А. Зовнішнє магнітне поле генерували спеціальним пристроєм (рис.1), що складається з котушки соленоїду, розташованого на горизонтальній ділянці П-подібного магнітопроводу, яка створює зосереджене поперечне магнітне поле, що сприяє коливальним рухам дуги і розплавленого металу ванни у поперечному наплавленню напрямку та дозволяє впливати на процеси формування валика.

При проведенні експериментальних наплавлень незмінними залишали виліт електроду та відстань від торців електромагнітів до виробу. За фактори, що впливають, були обрані: струм (I) та швидкість (V) наплавлення, індукція (B_x) та частота (ω) ПОМП.

Параметри валика (ширину e , висоту g , глибину проплавлення h) визначали з макрошліфів наплавлень. На рис.2, як приклад, наведені типові макрошліфи валиків, отриманих при наплавленні без (а) та з використанням ПОМП (б). Для зменшення кількості експериментальних наплавлень по встановленню залежності геометричних параметрів валика від параметрів ПОМП було використано центральний композитний ротатбельний повнофакторний план експериментів [5].



- 1 – наплавна головка трактора ТС-17Р;
2 – соленоїд; 3 – магнітопровід електромагніту з П-подібним осердям;
4 – фіксатори; 5 – струмопідвід

Рисунок 1 – Зовнішній вигляд електромагніту, що створює зовнішнє ПОМП

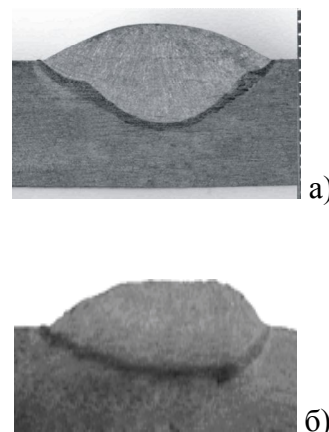


Рисунок 2 – Типові макрошліфи валиків, отриманих при наплавленні без (а) та з використанням ПОМП (б)

Серію експериментів було рондамізовано, щоб уникнути появи систематичної погрішності в методиці. Межі змінних значень процесу наплавлення в ПОМП наведено у табл.1. Для побудови математичних моделей і графіків, а також для подальшого аналізу результатів параметри перетворювали в закодовану форму.

Встановлений діапазон відпрацьованих оптимальних режимів наплавлення забезпечує задовільну якість наплавленого валика.

Зварювання

Коефіцієнти поліноміального рівняння визначали за допомогою математичного пакета *Nonlinear Models STATISTICA 6.0*.

Таблиця 1 – Змінні значення процесу наплавлення в ПОМП

Значення змінної процесу	Струм наплавлення (I), А	Швидкість наплавлення (V), м/год.	Індукція ПОМП, (B_x), мТл	Частота ПОМП, (ω), Гц
-2	450	28	0	0
-1	500	32	10	2
0	550	36	20	4
1	600	40	30	6
+2	650	44	40	8

Для зручності попередній аналіз отриманих експериментальних даних виконували шляхом їх обробки за допомогою графічного оператора 3D Contours Plots математичного пакета STATISTIKA 6.0. Отримані залежності наведено на рис.3-9.

Вплив частоти ПОМП та сили струму наплавлення на геометричні параметри валика. При визначенні впливу частоти ПОМП та сили струму наплавлення на геометричні розміри валика (ширину e , висоту g та глибину проплавлення h) було встановлено, що взаємозв'язки зазначених параметрів носять нелінійний характер.

Ширину наплавленого валика e можна збільшити шляхом поєднання наступних показників при напавленні: струм наплавлення $I = 550...650$ А при частоті ПОМП $\omega = 2...7$ Гц. Збільшення частоти ПОМП не призводить до збільшення ширини валика (рис.3). Це може бути пояснено інерційністю електричної дуги як об'єкта електромагнітного впливу.

На рис.3 чітко простежується область максимальних значень ширини наплавленого валика, а саме струм наплавлення $I = 575...625$ А при частоті ПОМП $\omega = 3...5$ Гц. За цих умов ширину наплавленого валика можна збільшити на 20...26%.

Висоту наплавленого валика g можна збільшити шляхом поєднання наступних показників при напавленні: струм наплавлення $I = 520...620$ А при частоті ПОМП $\omega = 1...6$ Гц. Збільшення частоти ПОМП, як і у випадку з шириною валика, не призводить до збільшення висоти наплавленого шару (рис.4).

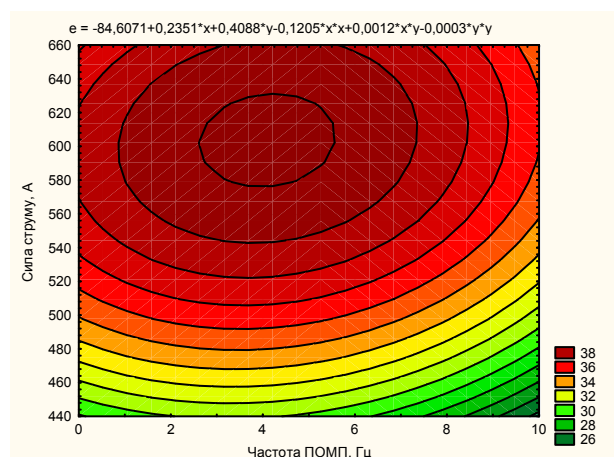


Рисунок 3 – Залежність ширини наплавленого валика від частоти ПОМП та сили струму наплавлення

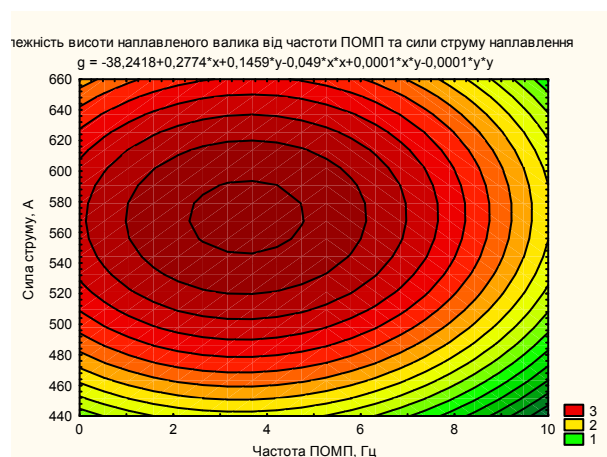


Рисунок 4 – Залежність висоти наплавленого валика від частоти ПОМП та сили струму наплавлення

На рис.4 чітко простежується область максимальних значень висоти наплавленого валика, а саме струм наплавлення $I = 550...595$ А при частоті ПОМП

$\omega = 2,5 \dots 4,5$ Гц. За цих умов висоту наплавленого валика можна збільшити на 28...34% порівняно з процесом електродугового наплавлення під флюсом без застосування зовнішнього електромагнітного впливу.

На рис.5 наведено залежність глибини проплавлення h від частоти ПОМП та сили струму наплавлення. Як видно, застосування ПОМП при електродуговому наплавленні призводить до зменшення цього контрольованого параметра. Отримані в роботі дані збігаються з опублікованими науковими матеріалами авторів робіт [1-3]. Зменшення глибини проплавлення є позитивним, так як призводить до зменшення витрат наплавних матеріалів – дріт, флюс – при багат шаровому наплавленні.

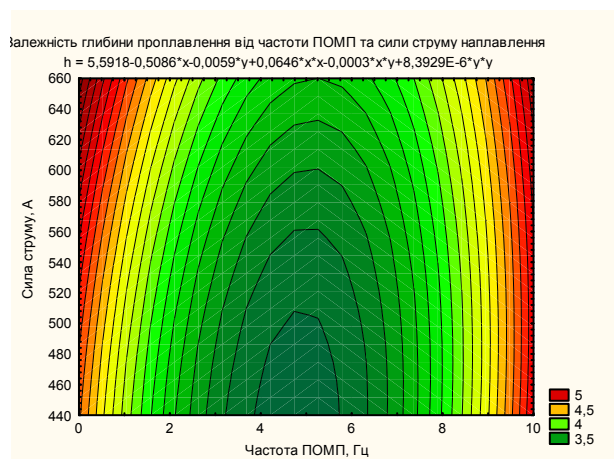


Рисунок 5 – Залежність глибини проплавлення від частоти ПОМП та сили струму наплавлення

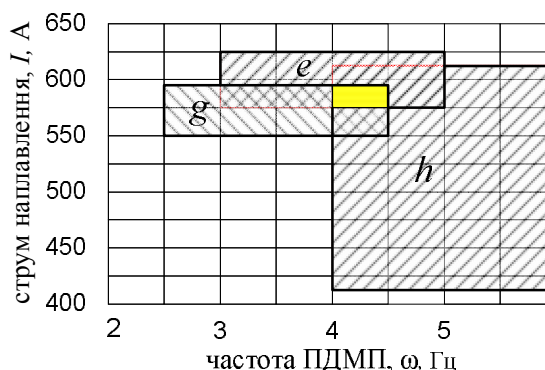


Рисунок 6 – Карта оптимізації частоти ПОМП та сили струму наплавлення за геометричними параметрами валика

Мінімальні значення глибини проплавлення h можна отримати в досить широкій межі струму наплавлення $I = 440 \dots 660$ А за умов використання впливу на дугу поперечним магнітним полем частотою $\omega = 2 \dots 8$ Гц.

Збільшення частоти ПОМП призводить до збільшення глибини проплавлення до 5 Гц (рис.5). Подальше збільшення частоти ω призводить до зворотного ефекту.

На рис.5 чітко простежується область мінімальних значень глибини проплавлення, а саме струм наплавлення $I = 440 \dots 620$ А при частоті ПОМП 4...6 Гц. За цих умов глибину проплавлення можна зменшити до 30% порівняно з процесом електродугового наплавлення під флюсом без застосування зовнішнього електромагнітного впливу.

Математично залежність геометричних параметрів валика (ширини e , висоти g та глибини проплавлення h) від частоти ПОМП ω та сили струму наплавлення I можна виразити через наступні рівняння:

$$e = -84,6071 + 0,2351 \cdot I + 0,4088 \cdot \omega - 0,1205 \cdot I^2 + 0,0012 \cdot I \cdot \omega - 0,0003 \cdot \omega^2;$$

$$g = -38,2418 + 0,2774 \cdot I + 0,1459 \cdot \omega - 0,049 \cdot I^2 + 0,0001 \cdot I \cdot \omega - 0,0001 \cdot \omega^2;$$

$$h = 5,5918 - 0,5086 \cdot I - 0,0059 \cdot \omega + 0,0646 \cdot I^2 - 0,0003 \cdot I \cdot \omega + 8,393 \cdot 10^{-6} \cdot \omega^2.$$

За отриманими залежностями графічно визначено область оптимальних частот ПОМП для отримання валика з меншою глибиною проплавлення і найбільшою шириною та висотою (рис.6), яку виділено сірим кольором.

Вплив частоти ПОМП та швидкості наплавлення на геометричні параметри валика. При визначенні впливу частоти ПОМП та швидкості наплавлення на геометри-

чні розміри валика було встановлено, що взаємозв'язки зазначених параметрів носять нелінійний характер.

Ширина наплавленого валика e значно зменшується в наступному інтервалі зазначених параметрів: частота ПОМП $\omega = 0,5 \dots 9,5$ Гц при швидкості наплавлення $V = 35 \dots 41$ м/год (рис.7). Збільшення частоти ПОМП не призводить до збільшення ширини валика. Це може бути пояснено меншим впливом частоти ПОМП на формування валика порівняно з впливом швидкості наплавлення.

На рис.7 чітко простежується область максимальних значень ширини наплавленого валика, а саме швидкість наплавлення $V = 26 \dots 29$ м/год в широкому діапазоні частот ПОМП $\omega = 0 \dots 10$ Гц.

Висоту наплавленого валика g можна збільшити шляхом поєднання наступних показників при наплавленні: швидкість наплавлення $V = 25 \dots 30$ м/год при частоті ПОМП до 5 Гц. Збільшення частоти ПОМП, як і у випадку з шириною валика, не призводить до збільшення висоти наплавленого шару (рис.8). Однак ця тенденція характерна лише при наплавленні з низькою швидкістю – до 38 м/год. При наплавленні зі швидкістю 42...48 м/год. із збільшенням частоти ПОМП висота наплавленого валика дещо збільшується, але не більше, ніж на 25%.

На рис.8 чітко простежується область мінімальних значень висоти наплавленого валика, а саме швидкість наплавлення $V = 33 \dots 37$ м/год при частоті ПОМП $\omega = 8 \dots 10$ Гц. За цих умов висота наплавленого валика близька до значень висоти, отриманих при електродуговому наплавленні під флюсом без застосування зовнішнього електромагнітного впливу.

На рис.9 наведено залежність глибини проплавлення h від частоти ПОМП та швидкості наплавлення. При наплавленні прагнуть до мінімальних значень цього показника, так як це призводить до значної економії наплавних матеріалів. Як видно, залежності носять складний характер та мають чотири зони екстремальних значень контрольного параметра. Так, при наплавленні зі швидкістю $V = 26 \dots 40$ м/год. глибина проплавлення має максимальні значення при впливі на дугу поперечним магнітним полем частотою ω до 2 Гц. Рівні з цими значеннями глибини проплавлення можна отримати при наплавленні зі швидкістю $V = 29 \dots 46$ м/год. при впливі на дугу поперечним магнітним полем частотою ω до 8...10 Гц.

Зменшення глибини проплавлення спостерігали при наплавленні на наступних режимах: швидкість наплавлення $V = 40 \dots 46$ м/год. з ПОМП частотою $\omega = 2 \dots 8$ Гц або $V = 26 \dots 32$ м/год. з ПОМП частотою $\omega = 4 \dots 8$ Гц (рис.9). За цих умов глибину проплавлення можна зменшити до 50% порівняно з процесом електродугового наплавлення під флюсом без застосування зовнішнього електромагнітного впливу.

Математично залежність геометричних параметрів валика (ширини e , висоти g та глибини проплавлення h) від частоти ПОМП ω та швидкості наплавлення V можна виразити через наступні рівняння:

$$\begin{aligned} e &= 174,0327 + 0,6726 \cdot V - 7,3824 \cdot \omega + 0,0513 \cdot V^2 - 0,0313 \cdot V \cdot \omega + 0,0988 \cdot \omega^2; \\ g &= 36,8034 - 0,4967 \cdot V - 1,7812 \cdot \omega + 0,0001 \cdot V^2 + 0,0125 \cdot V \cdot \omega + 0,0235 \cdot \omega^2; \\ h &= -5,099 - 0,8854 \cdot V + 0,6224 \cdot \omega + 0,0523 \cdot V^2 + 0,0094 \cdot V \cdot \omega - 0,0096 \cdot \omega^2. \end{aligned}$$

За отриманими залежностями графічно визначено область оптимальних частот ПОМП для отримання валика з меншою глибиною проплавлення і найбільшою шириною та висотою (рис.10), яку виділено сірим кольором.

Висновки. При дослідженні технологічного процесу дугового наплавлення дротом під флюсом із застосуванням зовнішнього впливу змінного поперечного магнітного поля було визначено режимні умови, за яких можливе ефективне керування формоут-

воренням валиків: частота змінного ПОМП $\omega = 4 \dots 5$ Гц, індукція $B_x = 32 \dots 38$ мТл, струм наплавлення $I = 575 \dots 625$ А, швидкість наплавлення $V = 26 \dots 29$ м/год.

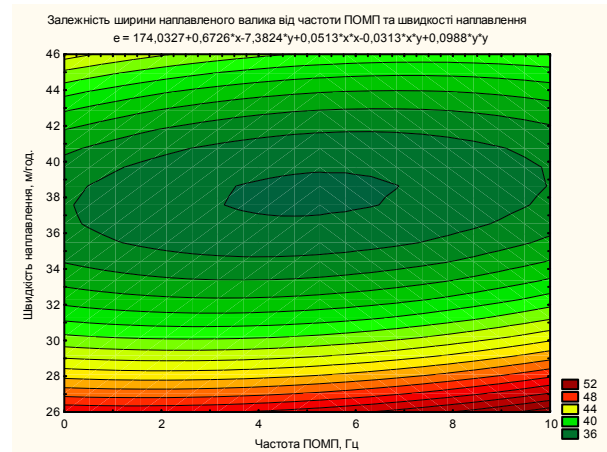


Рисунок 7 – Залежність ширини наплавленого валика від частоти ПОМП та швидкості наплавлення

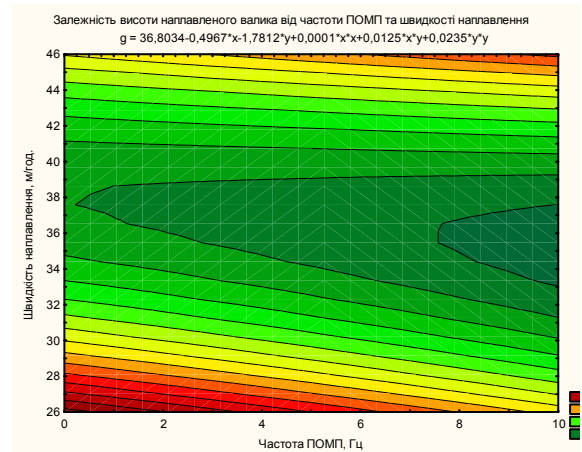


Рисунок 8 – Залежність висоти наплавленого валика від частоти ПОМП та швидкості наплавлення

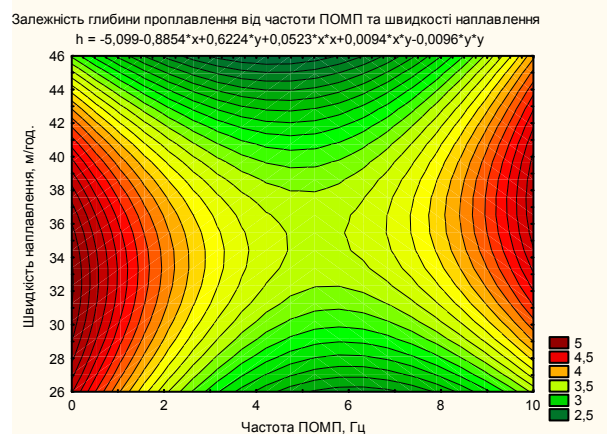


Рисунок 9 – Залежність глибини проплавлення від частоти ПОМП та швидкості наплавлення

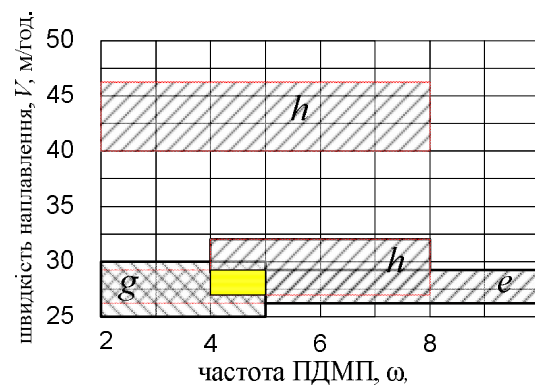


Рисунок 10 – Карта оптимізації частоти ПОМП та швидкості наплавлення за геометричними параметрами валика

Застосування зазначених режимів при дуговому наплавленні дротом під флюсом дозволить збільшити ширину та висоту валика на 28...34% та 20...26% відповідно, що дозволить підвищити продуктивність процесу наплавлення та зменшити глибину проплавлення до 30%, що дозволить зменшити витрати на наплавні матеріали.

ЛІТЕРАТУРА

1. Размышляев А.Д. Влияние продольного магнитного поля на производительность расплавления проволоки при электродуговой наплавке под флюсом / А.Д.Размышляев, А.А.Дели, М.В.Миронова // Автоматическая сварка. – 2007. – № 6. – С.31-35.
2. Носов Д.Г. К вопросу о повышении производительности дуговой наплавки посредством внешнего электромагнитного воздействия / Д.Г.Носов, Л.А.Алехина // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: VII Всероссийская науч.-

- практ. конф. с международным участием, 26-29 мая 2009 г.: сб. трудов. – Юрга, 2009. – С.21-25.
3. Рыжов Р.Н. Применение комбинированных электромагнитных воздействий для улучшения качества швов при сварке / Рыжов Р.Н. // Автоматическая сварка. – 2005. – №7. – С.159-161.
 4. Измельчение структуры металла шва при сварке дугой, колеблющейся в поперечном магнитном поле / А.М.Болдырев, Ю.С.Ткаченко, Н.П.Толоконников [и др.] // Автоматическая сварка. – 1975. – № 7. – С.70-71.
 5. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / Спиридонов А.А. – М.: Машиностроение, 1981. – 184с.

Надійшла до редколегії 30.11.2012.

УДК 612.791

НОСОВ Д.Г., к.т.н., доцент
КЛИМЕНКО В.В., студент
МАЛЬЦЕВ В.В., студент

Дніпродзержинський державний технічний університет

ВПЛИВ ЧАСТОТИ ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ ВАЛИКА, НАПЛАВЛЕНОГО ПІД ФЛЮСОМ (ЧАСТИНА II)

Вступ. Електромагнітні дії, застосовувані при зварюванні, наплавленні та споріднених процесах, мають розширену класифікацію [1], тому і науково-технічна інформація, доступна досліднику стосовно цього питання, має подекуди протилежний характер [2-4]. Аналіз опублікованих робіт дозволив виділити напрям вектора керуючого магнітного поля та його частотні характеристики як основні ознаки цієї класифікації.

Розрізняють постійні, імпульсні, низько-, середньо- та високочастотні подовжні (ПДМП), поперечні (ПОМП) та комбіновані (КМП) магнітні поля, що впливають на краплю електродного металу, дугу, рідкий метал зварної ванни та його кристалізацію, процеси формування валика та ін.

В попередній роботі експериментальним шляхом було визначено вплив частоти ПОМП, сили струму та швидкості наплавлення на геометричні параметри (ширину e , висоту g та глибину проплавлення h) валика, формованого при електродуговому наплавленні під флюсом. В даній роботі запропоновано результати досліджень впливу частоти та величини індукції ПОМП на згадані показники наплавленого валика та зроблено загальні висновки.

Постановка задачі. Об'єктом дослідження є технологічний процес дугового наплавлення дротом під флюсом із застосуванням зовнішнього впливу поперечного магнітного поля. Предметом дослідження виступають процеси формоутворення валиків при дуговому наплавленні дротом під флюсом з дією ПОМП залежно від його частоти.

Метою даної роботи є дослідження впливу частоти та індукції подовжнього магнітного поля на геометричні параметри валика при електродуговому наплавленні під флюсом та узагальнення результатів досліджень, виконаних в попередній роботі.

Результати роботи. Дослідження по встановленню параметрів зони проплавлення основного металу при дуговому наплавленні дротом під флюсом з дією ПОМП виконані на установках з використанням стандартних методик та устаткування в лабораторних умовах [5].

Для визначення впливу частоти зовнішнього магнітного поля на геометричні параметри валика при електродуговому наплавленні під флюсом використовували метод статистичної обробки даних, отриманих експериментальним шляхом в роботі [6].

Вплив частоти та величини індукції ПОМП на геометричні параметри валика. При визначенні впливу частоти та величини індукції ПОМП на геометричні розміри валика (ширину e , висоту g та глибину проплавлення h) було встановлено, що взаємозв'язки зазначених параметрів носять нелінійний характер.

Для зручності попередній аналіз отриманих експериментальним шляхом даних виконували шляхом їх обробки за допомогою графічного оператора 3D Contours Plots математичного пакета STATISTIKA 6.0. Отримані залежності наведено на рис.1-6.

Ширину наплавленого валика e можна збільшити шляхом поєднання наступних показників при наплавленні: індукція ПОМП $B_x = 20 \dots 50$ мТл при частоті ПОМП $\omega = 2 \dots 7$ Гц. Збільшення частоти ПОМП не призводить до збільшення ширини валика (рис.1). Це може бути пояснено позитивним впливом на контрольований параметр саме зовнішнього магнітного поля B_x .

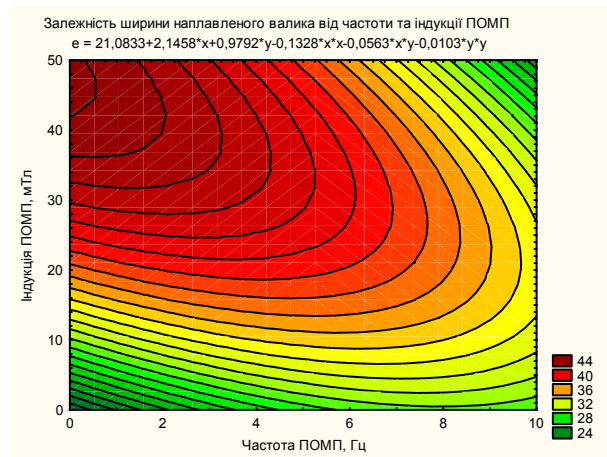


Рисунок 1 – Залежність ширини наплавленого валика від частоти та індукції ПОМП

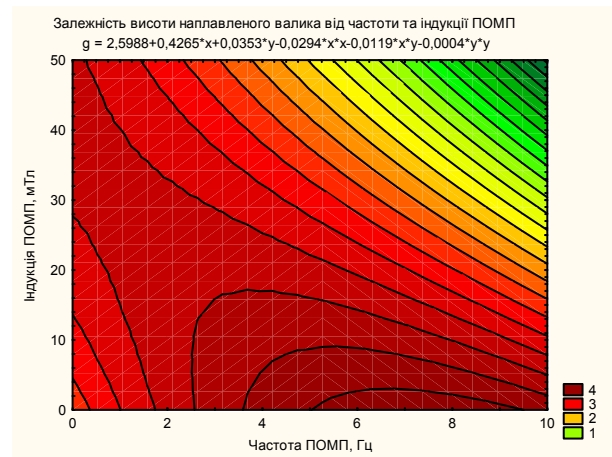


Рисунок 2 – Залежність висоти наплавленого валика від частоти та індукції ПОМП

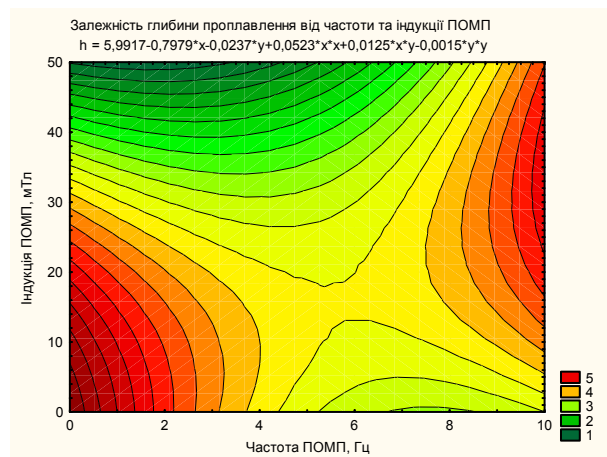


Рисунок 3 – Залежність глибини проплавлення від частоти та індукції ПОМП

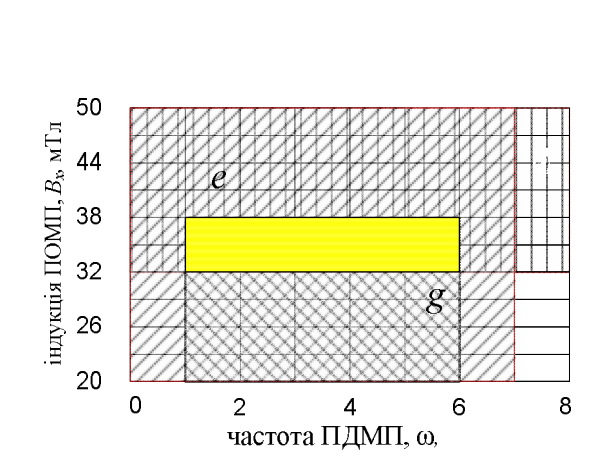


Рисунок 4 – Карта оптимізації частоти та індукції ПОМП за геометричними параметрами валика

На рис.1 чітко простежується область максимальних значень ширини наплавленого валика, а саме струм наплавлення $B_x = 63...52$ мТл при частоті ПОМП $\omega = 0...3$ Гц. За цих умов ширину наплавленого валика можна збільшити майже удвічі.

Висота наплавленого валика g , як видно з рис.2, значно залежить від зовнішнього впливу ПОМП. Максимальні значення цього показника можна отримати в достатньо широких межах індукцій ПОМП B_x . Причому, збільшення частоти магнітного поля ω при менших значеннях індукції B_x викликає зростання висоти наплавленого валика, а при більш високих значеннях B_x спостерігали зворотній ефект, тобто висота валика зменшувалась.

За оптимальні режими в цьому випадку можна признати наступні: частота ПОМП $\omega = 1...6$ Гц при індукції ПОМП $B_x = 18...38$ мТл. На рис.2 чітко простежується область мінімальних значень висоти наплавленого валика, а саме індукція ПОМП $B_x = 30...50$ мТл при частоті ПОМП $\omega = 7...10$ Гц. За цих умов висота наплавленого валика близька до значень висоти, отриманих при електродуговому наплавленні під флюсом без застосування зовнішнього електромагнітного впливу.

На рис.3 наведено залежність глибини проплавлення h від частоти та індукції ПОМП. Як видно, залежності носять складний характер та мають три зони екстремальних значень контрольованого параметра. Так, при наплавленні з впливом ПОМП $B_x = 0...20$ мТл частотою ω до 2 Гц глибина проплавлення має максимальні значення. Близькі до цих значень глибини проплавлення отримано при наплавленні з ПОМП $B_x = 20...45$ мТл частотою ω , більшою від 9 Гц.

Значне зменшення глибини проплавлення спостерігали при наплавленні на наступних режимах: індукція ПОМП $B_x = 32...50$ мТл частотою ω до 8 Гц (рис.3). За цих умов глибину проплавлення можна зменшити в 3...5 рази порівняно з процесом електродугового наплавлення під флюсом без застосування зовнішнього електромагнітного впливу.

Математично залежність геометричних параметрів валика (ширини e , висоти g та глибини проплавлення h) від частоти ω та індукції ПОМП B_x можна виразити через наступні рівняння:

$$\begin{aligned} e &= 21,0833 + 2,1458 \cdot \omega + 0,9792 \cdot B_x - 0,1328 \cdot \omega^2 - 0,0563 \cdot \omega \cdot B_x - 0,0103 \cdot B_x^2; \\ g &= 2,5988 + 0,4265 \cdot \omega + 0,0353 \cdot B_x - 0,0294 \cdot \omega^2 - 0,0119 \cdot \omega \cdot B_x - 0,0004 \cdot B_x^2; \\ h &= 5,9917 - 0,7979 \cdot \omega - 0,0237 \cdot B_x + 0,0523 \cdot \omega^2 + 0,0125 \cdot \omega \cdot B_x - 0,0015 \cdot B_x^2. \end{aligned}$$

За отриманими рівняннями визначимо графічно область оптимальних частот ПОМП для отримання валика з меншою глибиною проплавлення і найбільшою шириною та висотою (рис.4), яку виділено сірим кольором.

Складання багатofакторних математичних моделей та оптимізація технологічних режимів наплавлення з дією ПОМП. Для розробки математичних моделей прогнозування геометричних розмірів наплавленого валика використовували регресійний метод. Функція поверхні відгуку, що відображає будь-яку геометрію валика y , може бути виражена як $y = f(I, V, B_x, \omega)$, а вибрана залежність, що є поверхнею відгуку другого порядку, має вигляд:

$$\begin{aligned} y &= b_1 + b_2 \cdot I + b_3 \cdot V + b_4 \cdot B_x + b_5 \cdot I \cdot V + b_6 \cdot I \cdot B_x + b_7 \cdot V \cdot B_x + b_8 \cdot I^2 + b_9 \cdot V^2 + \\ &+ b_{10} \cdot B_x^2 + b_{11} \cdot \omega + b_{12} \cdot I \cdot \omega + b_{13} \cdot V \cdot \omega + b_{14} \cdot B_x \cdot \omega + b_{15} \cdot \omega^2. \end{aligned} \quad (1)$$

Обробку результатів експерименту при розрахунках коефіцієнтів регресії виконували з використанням програмного пакету *STATISTICA 6.0*. Результати статистичної обробки наведено в табл.1.

Оцінку статистичної значимості знайдених коефіцієнтів та перевірку адекватності отриманих залежностей виконували з використанням критеріїв Стьюдента та Фішера.

Як видно з табл.1, найбільше впливає на зміну конфігурації формування валика при електродуговому наплавленні під флюсом частота та індукція поперечного магнітного поля (коефіцієнти b_4 , b_{10} , b_{11} , b_{15}).

Сумісного впливу струму I та швидкості V наплавлення залежно від частоти ПОМП ω не виявлено, так як коефіцієнт для системи рівнянь (1) $b_5 = 0$. Остаточна мате-

Таблиця 1 – Коефіцієнти рівняння (1)

	e	g	h
b_1	-57,7084	-2,28776	-77,1296
b_2	0,4758	0,09858	0,1619
b_3	-3,3021	-1,28854	2,1052
b_4	1,3375	0,16792	0,0867
b_5	0	0	0
b_6	0,0002	0,00002	0
b_7	-0,0125	-0,00438	0,0006
b_8	-0,0004	-0,00009	-0,0001
b_9	0,0456	0,01784	-0,0303
b_{10}	-0,0115	-0,00015	-0,0049
b_{11}	2,8125	-0,14792	-0,3333
b_{12}	0,0013	0,00013	-0,0003
b_{13}	-0,0313	0,0125	0,0094
b_{14}	-0,0563	-0,01188	0,0125
b_{15}	-0,1615	-0,0224	-0,0307

матичні моделі впливу частоти ПОМП на геометричні розміри наплавленого валика наведено нижче:

$$e = -57,7084 + 0,4758 \cdot I - 3,3021 \cdot V + 1,3375 \cdot B_x + 0,0002 \cdot I \cdot B_x - 0,0125 \cdot V \cdot B_x - 0,0004 \cdot I^2 + 0,0456 \cdot V^2 - 0,0115 \cdot B_x^2 + 2,8125 \cdot \omega + 0,0013 \cdot I \cdot \omega - 0,0313 \cdot V \cdot \omega - 0,0563 \cdot B_x \cdot \omega - 0,1615 \cdot \omega^2 \quad (2)$$

$$g = -2,28776 + 0,09858 \cdot I + 1,28854 \cdot V + 0,16792 \cdot B_x - 0,00438 \cdot V \cdot B_x - 0,00009 \cdot I^2 + 0,01784 \cdot V^2 - 0,00015 \cdot B_x^2 - 0,14792 \cdot \omega + 0,00013 \cdot I \cdot \omega + 0,0125 \cdot V \cdot \omega - 0,01188 \cdot B_x \cdot \omega - 0,0224 \cdot \omega^2 \quad (3)$$

$$h = -77,1296 + 0,1619 \cdot I + 2,1052 \cdot V + 0,0867 \cdot B_x + 0 \cdot I \cdot V + 0 \cdot I \cdot B_x + 0,0006 \cdot V \cdot B_x - 0,0001 \cdot I^2 - 0,0303 \cdot V^2 - 0,0049 \cdot B_x^2 - 0,3333 \cdot \omega - 0,0003 \cdot I \cdot \omega + 0,0094 \cdot V \cdot \omega + 0,0125 \cdot B_x \cdot \omega - 0,0307 \cdot \omega^2 \quad (4)$$

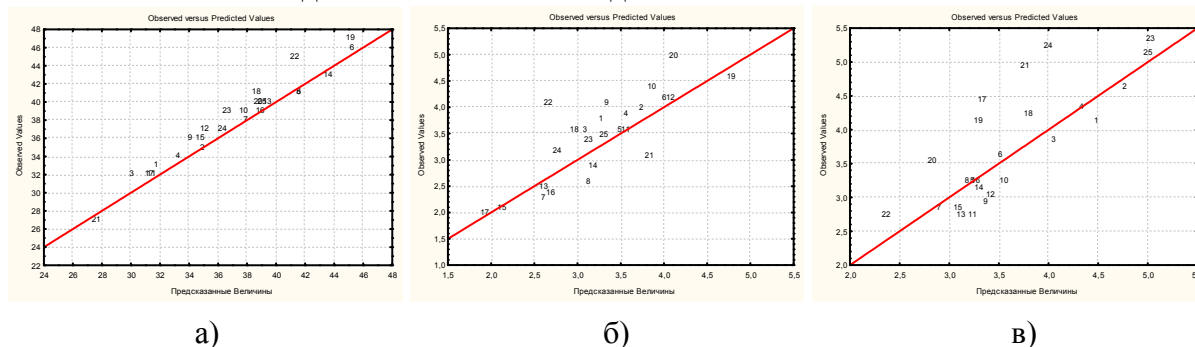
Значимість коефіцієнтів перевіряли за допомогою *t-тесту*, а також методу зворотного виключення. Розроблені моделі перевіряли на адекватність за допомогою регресійного аналізу. Адекватність розроблених моделей також перевіряли за допомогою дисперсійного аналізу.

Достовірність отриманих моделей була також перевірена шляхом складання діаграм розкиду, які показують ступінь збігу експериментальних і прогнозованих значень розмірів валиків. Характерні діаграми розкиду для основних параметрів валика (ширини e , висоти g та глибини проплавлення h) наведено на рис.5. Крім того, були визначені відхилення експериментальних даних від розрахованих за формулами (2)-(4). Середнє сумарне відхилення для ширини валика e (2) складає мінус $0,3 \cdot 10^{-6}$, для висоти валика g

(3) – $1 \cdot 10^{-6}$, для глибини проплавлення h (4) – мінус $2 \cdot 10^{-6}$, тобто отримані моделі мають достатній рівень верифікації та можуть бути визнані за адекватні.

Оптимізацію виконували по групах режимів (табл.2), на базі якої побудовано діаграму (рис.6) взаємозв'язку частоти ω ПОМП за групами контрольованих параметрів струм наплавлення (I) – швидкість наплавлення (V) – індукція ПОМП (B_x).

Тобто, за оптимальну частоту змінного поперечного магнітного поля слід визнати $\omega = 4 \dots 5$ Гц індукцією $B_x = 32 \dots 38$ мТл при напавленні струмом силою $I = 575 \dots 625$ А зі швидкістю $V = 26 \dots 29$ м/год.



а) – ширина валика e ; б) – висота валика g ; в) – глибина проплавлення h
Рисунок 5 – Діаграми розкиду експериментальних і прогнозованих значень розмірів валиків

Таблиця 2 – Зведена таблиця оптимізації режимів за геометричними параметрами валика

I , А	ω , Гц	V , м/год	ω , Гц	B_x , мТл	ω , Гц
575...625	3...5	26...29	0...10	20...50	2...7
550...595	2,5...4,5	25...30	0...5	18...38	1...6
440...620	4...6	26...32	4...8	32...50	0...8
575...625 А 4,0...4,5 Гц		26...29 м/год. 4...5 Гц		32...38 мТл 1...6 Гц	

Сірим кольором на рис.6 зазначено область, в якій всі контрольовані параметри мають необхідні геометричні характеристики для підвищення ефективності процесу електродугового наплавлення під флюсом з впливом зовнішнього магнітного поля.

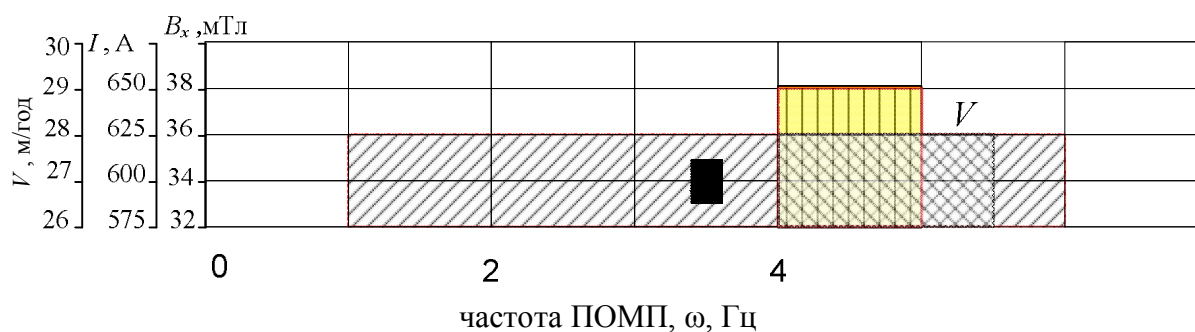


Рисунок 6 – Оптимальні частоти ω ПОМП за групами струм наплавлення (I); швидкість наплавлення (V); індукція ПОМП (B_x)

Висновки. При дослідженні технологічного процесу дугового наплавлення дротом під флюсом із застосуванням зовнішнього впливу змінного поперечного магнітного поля було визначено режимні умови, за яких можливе ефективне керування формуванням валиків: частота змінного ПОМР $\omega = 4 \dots 5$ Гц, індукція $B_x = 32 \dots 38$ мТл, струм наплавлення $I = 575 \dots 625$ А, швидкість наплавлення $V = 26 \dots 29$ м/год.

Застосування зазначених режимів при дуговому наплавленні дротом під флюсом дозволить збільшити ширину та висоту валика на 28...34% та 20...26% відповідно, що дозволить підвищити продуктивність процесу наплавлення та зменшити глибину проплавлення до 30%, що дозволить зменшити витрати на наплавні матеріали.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рыжов Р.Н. Внешние электромагнитные воздействия в процессах дуговой сварки и наплавке (обзор) / Р.Н.Рыжов, В.Д.Кузнецов // Автоматическая сварка. – 2006. – № 10. – С.36-44.
2. Размышляев А.Д. Влияние продольного магнитного поля на производительность расплавления проволоки при электродуговой наплавке под флюсом / А.Д.Размышляев, А.А.Дели, М.В.Миронова // Автоматическая сварка. – 2007. – № 6. – С.31-35.
3. Носов Д.Г. К вопросу о повышении производительности дуговой наплавки посредством внешнего электромагнитного воздействия / Д.Г.Носов, Л.А.Алехина // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: VII Всероссийская науч.-практ. конф. с международным участием, 26-29 мая 2009 г.: сб. трудов. – Юрга, 2009. – С.21-25.
4. Рыжов Р.Н. Применение комбинированных электромагнитных воздействий для улучшения качества швов при сварке / Рыжов Р.Н. // Автоматическая сварка. – 2005 – №7. – С.159-161.
5. Измельчение структуры металла шва при сварке дугой, колеблющейся в поперечном магнитном поле / А.М.Болдырев, Ю.С.Ткаченко, Н.П.Толоконников [и др.] // Автоматическая сварка. – 1975. – № 7. – С.70-71.
6. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / Спиридонов А.А. – М.: Машиностроение, 1981. – 184с.

Надійшла до редколегії 30.11.2012.

УДК 621.791

ЧИНАХОВ Д.А., к.т.н., доцент
ЗУЕВ А.В., аспирант

Юргинский технологический институт
Национального исследовательского Томского политехнического университета
г. Юрга, Россия

ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ СТРУИ ЗАЩИТНОГО ГАЗА НА ПЕРЕНОС КАПЕЛЬ ПРИ СВАРКЕ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

Введение. Сварочные процессы быстро протекают по сложным физико-химическим законам при высокой температуре. Совокупность различных факторов и явлений определяет качество сварных соединений. Особенно сильно это влияние сказывается при сварке сталей, склонных к закалке. Формирование структуры и фазового

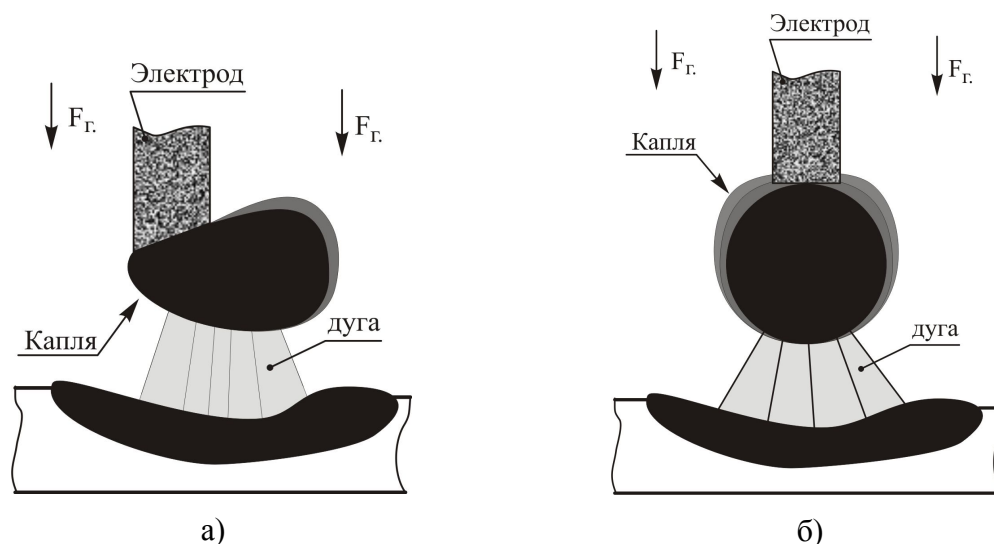
состояния металла зависит от его химического состава и условий теплового воздействия, зависящих при прочих равных условиях от режима и условий сварки [1-12]. Основная роль при формировании свойств сварных соединений отводится процессам, протекающим в капле расплавленного электродного металла и в металле сварочной ванны [1, 2, 3, 13].

Постановка задачи. Перенос электродного металла зависит от различных факторов в зоне варки. Известно [1, 3, 11], что при сварке в защитных газах с традиционной одноструйной защитой на каплю электродного металла действуют следующие основные силы: сила давления потоков плазмы дуги, сила поверхностного натяжения, реактивная сила испаряющегося металла и выделения газа, сила тяжести, электродинамическая сила. Составляющие этих сил зависят от условий, в которых горит дуга, материала электродов, напряжения дуги, силы сварочного тока, скорости движения сварочной проволоки и капли. Большинство сил связано с размером капли электродного металла и местом расположения капли относительно сварочной ванны. Эти силы, в зависимости от их направления, либо препятствуют переносу электродного металла, либо способствуют ему.

При сварке плавящимся электродом в струйной газовой защите при определенных условиях, кроме основных сил, на каплю электродного металла существенное влияние оказывает сила действия струи защитного газа [2, 11, 12], которая зависит от способа и состава газовой защиты зоны сварки. Значительное влияние этой силы отмечено при двухструйной газовой защите в CO_2 [12].

Поэтому задачей работы является исследование газодинамического воздействия струи защитного газа на перенос капель при сварке плавящимся электродом.

Результаты работы. Сила действия струи защитного газа F_g направлена вдоль электрода к свариваемому изделию и способствует позиционированию капли вдоль оси электрода (рис. 1, 2).



а) традиционная одноструйная газовая защита; б) двухструйная газовая защита

Рисунок 1 – Сила действия струи защитного газа на каплю

Для составления описания силы действия струи защитного газа на каплю электродного металла примем допущение, что давление на каплю равно давлению на срезе сварочного сопла.

Давление газа на срезе сопла рассчитали по формуле [14]:

$$P = \frac{bV^2}{2}, \quad (1)$$

где b – плотность газа, кг/м^3 , V – скорость истечения, м/с .

Скорость истечения рассчитали по формуле:

$$V = G/S, \quad (2)$$

где G – расход защитного газа, $\text{м}^3/\text{с}$; S – площадь сечения сопла, м^2 .

Силу действия струи защитного газа на каплю электродного металла определяли по формуле [12]:

$$F_{\Gamma} = Pc_x 2\pi r_k \sqrt{r_k^2 - r_s^2}, \quad (3)$$

где P – давление защитного газа на поверхность капли в нормальных условиях, Па ; r_k – радиус капли, м ; r_s – радиус сварочной проволоки, м ; $c_x = 0,48$ – аэродинамический коэффициент сопротивления шара.

По предложенной методике определения силы действия струи защитного газа на каплю электродного металла провели сравнительный расчет для традиционной одноструйной и разработанной двухструйной защиты. Защитный газ – CO_2 , плотность газа $b = 1,97 \text{ кг/м}^3$, расход газа $Q = 20 \text{ л/мин}$, диаметр электродной проволоки $1,2 \text{ мм}$ (Св-08Г2С), диаметр капли 3 мм (сварочный ток 200 А , напряжение 27 В) [2]; взятые из литературных источников данные размера капли подтверждаются результатами анализа кадров скоростной видеосъемки собственных экспериментальных исследований (рис.2).



а) традиционная одноструйная газовая защита; б) двухструйная газовая защита

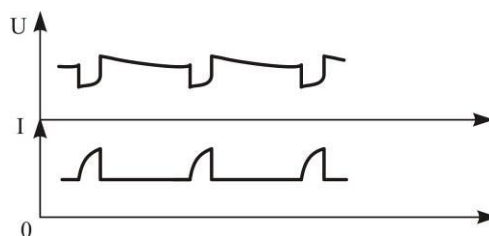
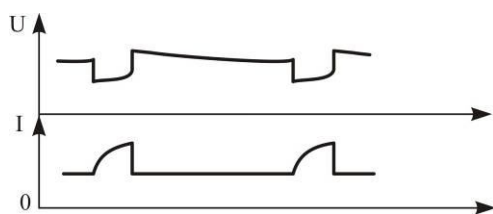
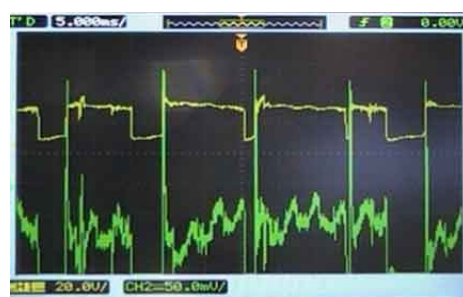
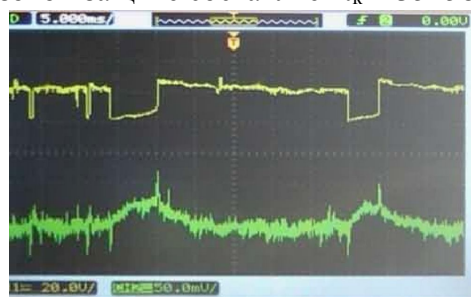
Рисунок 2 – Кадры скоростной видеосъемки (скорость 750 кад/с , камера «Видеоспринт»)

Определили величину силы действия струи защитного газа на каплю электродного металла. Для капли, расположенной соосно с электродом (рис.1, б), при традиционной одноструйной защите она составляет $8,33 \cdot 10^{-6} \text{ Н}$, при двухструйной – $100,21 \cdot 10^{-6} \text{ Н}$. В случае, если капля вытесняется на боковую поверхность электрода (рис.1, а) и ее поверхность при воздействии струи защитного газа увеличивается ($S_k = 2\pi r_k^2$), что является типичным при сварке в CO_2 на обратной полярности (рис. 1), то сила действия струи защитного газа на каплю электродного металла при одноструйной защите составляет $9,09 \cdot 10^{-6} \text{ Н}$, при двухструйной – $109,34 \cdot 10^{-6} \text{ Н}$.

Таким образом, сила действия струи защитного газа на каплю электродного металла при двухструйной газовой защите в 12 раз превышает силу воздействия при одноструйной газовой защите. С увеличением силы действия струи защитного газа на каплю электродного металла возрастает частота переноса капель с электрода в сварочную

ванну и интенсивность протекания металлургических процессов на поверхности капли, уменьшается время перехода капли.

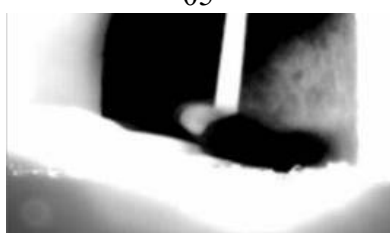
Результаты анализа кадров скоростной видеосъемки экспериментальных исследований (рис.3) показали, что время существования капли при сварке в CO₂ проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2мм (I = 200А, U = 27В, Q = 20 л/мин, l = 12 мм) при одноструйной газовой защите изменяется в пределах $t_k = 65-100 \cdot 10^{-3}$ с, а при двухструйной газовой защите составляет $t_k = 35-58 \cdot 10^{-3}$ с [12].



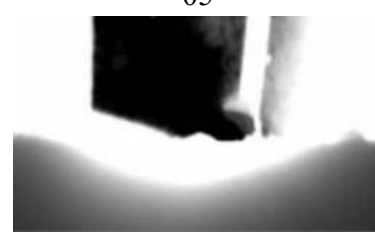
05



05



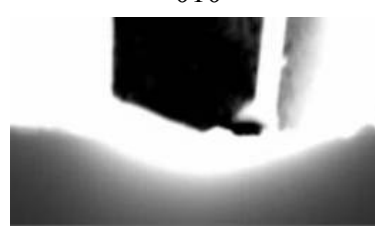
030



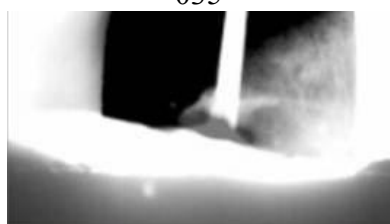
010



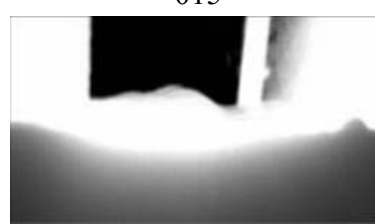
035



015



050



025

а)

б)

а) традиционная одноструйная газовая защита; б) двухструйная газовая защита

Рисунок 3 – Осциллограммы и кадры скоростной видеосъемки
(скорость 750 кад/с, камера «Видеоспринт»)

Выводы. По результатам исследований установлено, что сила действия струи защитного газа на каплю электродного металла при двухструйной газовой защите в 12 раз больше по сравнению с одноструйной, направлена вдоль электрода к изделию и способствует стабильности переноса капель электродного металла в сварочную ванну. Установлена зависимость частоты переноса капель электродного металла в сварочную ванну от силы действия струи защитного газа на каплю. С увеличением силы действия струи защитного газа на каплю электродного металла при двухструйной газовой защите возрастает частота и стабильность перехода капель в сварочную ванну за счет придания капле соосного с электродом положения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сварка и свариваемые материалы: В 3-х т. Т. 1. Свариваемость материалов: справ. изд.; под ред. Э.Л.Макарова. – М.: Металлургия, 1991 – 528с.
2. Потапьевский А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. – М.: Машиностроение, 1974. – 240с.
3. Ленивкин В.А. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах / Ленивкин В.А., Дюргеров Н.Г., Сагиров Х.Н. – М.: Машиностроение, 1989. – 264с.
4. Шоршоров М.Х. Металловедение сварки стали и сплавов титана / Шоршоров М.Х. – М.: Издательство «Наука», 1965. – 337с.
5. Лившиц Л.С. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений / Лившиц Л.С., Хакимов А.Н. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 339с.
6. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов / Лахтин Ю.М. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1983. – 359с.
7. Багрянский К.В. Теория сварочных процессов /Багрянский К.В., Добротина З.А., Хренов К.К. – К.: Издательское объединение «Вища школа», 1976. – 424с.
8. Фролов В.В. Теория сварочных процессов / Фролов В.В. – М.: Высш. шк., 1988. – 559с
9. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке / Рыкалин Н.Н.. – М.: Машгиз, 1951. – 296с.
10. Березовский Б.М. Математические модели дуговой сварки: в 7 т. Том.4. Основы тепловых процессов в свариваемых изделиях / Березовский Б.М. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 547с.
11. Столбов В.И. Сварочная ванна: монография / Столбов В.И. – Тольятти: ТГУ, 2007. – 147с.
12. Чинахов Д.А. Роль газодинамического воздействия струи защитного газа на процессы сварки плавящимся электродом: монография / Д.А. Чинахов; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 151с.
13. Новожилов М.Н. Основы металлургии дуговой сварки в газах / Новожилов М.Н. – М.: Машиностроение, 1979. – 231с.
14. Разработка новой технологии дуговой сварки в защитных газах на основе применения пульсаций газовых потоков и потенциалов ионизации / О.М.Новиков,

Э.П.Радько, Е.Н.Иванов, Н.С.Иванов // Сварщик-профессионал. – 2006. – № 6. – С.10-13, 16.

Поступила в редколлегию 07.02.2013.

УДК 621.791.927.5

МИЛЮТИН В.М., к.т.н., доцент
РОЗДОБУДЬКО Е.В., к.э.н., доцент

Днепродзержинский государственный технический университет

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ МОЛОТКОВ ДРОБИЛОК ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ

Введение. Наплавка – один из основных процессов реновации деталей, что позволяет экономить природные и энергетические ресурсы и значительно улучшить экологию. Одной из основных расходных статей для поддержки жизнедеятельности любого производства есть расходы, связанные с ремонтом машин и агрегатов, обеспечением их запасными деталями и узлами. В вопросе значительного уменьшения этих расходов большую роль играет технология восстановительной и упрочняющей электродуговой наплавки. Наплавка находит широкое применение как при изготовлении новых деталей, так и при ремонте тех, которые вышли из строя.

Экономическая эффективность наплавки следующая: наплавка одного килограмма металла при восстановлении заменяет изготовление 15-25 кг новых деталей, а при упрочнении – 60-75 кг; один килограмм наплавленного металла, восстанавливая или упрочняя в среднем 20 кг деталей, уменьшает расходы металла на изготовление новых деталей; после упрочняющей и восстановительной наплавки срок службы деталей увеличивается в 2-3 раза; одна гривня, вложенная в наплавку, позволяет получить экономию от 5 до 10 гривен. Кроме этого наплавка имеет природоохранное и ресурсосберегающее значение, поскольку использование 1 кг наплавленного материала позволяет сэкономить 70-100 кг агломерата, 20-30 кг кокса, 4-5 кВт электроэнергии и 6-8 м³ природного газа [1, 2].

Черная металлургия наиболее реновационная отрасль как по фактическому объему восстанавливаемых деталей, так и по перспективе ее расширения. При выплавке чугуна в шихте, кроме руды, используют офлюсованный агломерат, для получения которого необходим известняк или известь. Для получения извести используют известняк и доломит, которые измельчают в молотковых дробилках для последующего обжига. Граница прочности известняка при сжатии в сухом состоянии – 60 МПа, а в водонасыщенном – 40-60 МПа.

К молотковым дробилкам относятся дробилки ударного действия с шарнирно закрепленными на роторе ударными элементами – молотками. Молотковые дробилки отличаются высокой степенью измельчения, которое достигает 100, а также малой массой и незначительной стоимостью 1 т материала, который измельчается. Производительность молотковых дробилок колеблется в значительных пределах – от 3 до 600 т/час. Молотковые дробилки состоят из следующих узлов: ротора с шарнирно подвешенными молотками, колосниковых решеток, корпуса и регулировочных устройств. Молотки являются главной частью дробилки. Выбор числа рядов и количества молотков определяется назначением дробилки. От числа рядов молотков зависит глубина проникновения дробимого материала в зону действия молотков и частота прохода молотков по колосниковой решетке.

Молотки классифицируют: по числу рабочих поверхностей – с одной, двумя и четырьмя; по диапазону колебаний – со свободными и ограниченными; по количеству

деталей – сплошные, составные; по конструкционной форме – пластины, с утолщенной головкой, П-образные, кольцевые и др.

Конструкции молотков отличаются большим разнообразием, которое вызвано разными условиями работы дробилок и требованиями к их износостойкости [2].

Износостойкость материалов зависит от многих факторов: величины и характера нагрузки, твердости и прочности абразивов, свойств металлов, которые контактируют с агрессивной средой в условиях работы молотков и бил молотковых дробилок.

Измельчение пород высокой и средней прочности ведут раздавливанием, раскалыванием и ударом; помол – трением и ударом. Измельчение разделяют на крупное ($D_{\max} = 1200-1500$ мм, $d_{\max} = 100-300$ мм), среднее ($D_{\max} = 100-300$ мм, $d_{\max} = 30-100$ мм), мелкое ($D_{\max} = 30-100$ мм, $d_{\max} = 5-30$ мм), а помол – грубый ($d_{\max} = 0,1-5$ мм), средний ($d_{\max} = 0,05-0,1$ мм), тонкий ($d_{\max} = 0,005-0,01$ мм) и сверхтонкий ($d_{\max} = 0,001$ мм)[3].

Постановка задачи. Задача работы – выбор материалов для наплавки и повышение износостойкости молотков, бил дробилок, срока эксплуатации и качества измельчаемого известняка. В работе для наплавки молотков были использованы самозащитные порошковые проволоки ПП-У25Х17Т, ПП-АН170(Нп-80Х20Р3Т) и ВЕЛТЕК-Н.620(Нп-70Х5Г3М3С2ФР) диаметром 3,0-3,2 мм. Режим наплавки для разных проволок был следующим:

- проволока 3,2ПП-У25Х17Т: $I_{зв} = 300-350$ А; $U_{д} = 30$ В; $V_{п.др} = 110-120$ м/ч;
- проволока 3,2ПП-АН170: $I_{зв} = 300-350$ А; $U_{д} = 30$ В; $V_{п.др} = 110-120$ м/ч;
- проволока 3,0ВЕЛТЕК-Н.620: $I_{зв} = 250-300$ А; $U_{д} = 26$ В; $V_{п.др} = 100-110$ м/ч.

Общая толщина наплавленных слоев металла – 20 мм. Многослойная наплавка иногда вызывает откалывание поверхности рабочего слоя и другие дефекты – волосяные трещины, поры. Общая масса одного молотка – 18 кг, время наплавки – 10-15 минут и объем наплавленного металла – 162-170 см³. Наплавленные молотки не поддавались термической обработке и были медленно охлаждены в песке.

Химический состав наплавленного на молотки металла разными проволоками приведен в табл.1.

Таблица 1 – Химический состав и твердость наплавленного металла

Марка проволоки	С	Mn	Si	Cr	Mo	V
ПП-У25Х17Т	2,20-2,60	0,20-0,40	0,30-0,40	16-18	-	-
ПП-АН170	1,80	0,60	0,35	18,80	-	-
ВЕЛТЕК-Н.620	0,50-0,70	2,53	1,75	4,68	2,36	0,78

Продолжение таблицы 1

Марка проволоки	В	Ti	S	P	Твердость, HRC
ПП-У25Х17Т	-	0,80-1,10	≤ 0,035	≤ 0,030	47-50
ПП-АН170	3,0	0,93	≤ 0,035	≤ 0,030	63-65
ВЕЛТЕК-Н.620	0,95	-	≤ 0,035	≤ 0,030	64-66

На предприятии раньше изготавливали кованые молотки из разных сталей, которые потом термически обрабатывали или наплавляли. Такая технология изготовления молотков была трудоемка и неэкономична.

В настоящее время для изготовления молотков дробилок ДРМИЗ-100 производительностью 100 т/год используют листовой прокат Ст50Г2, из которого изготавливается основа молотков и две пластины, которые накладываются и привариваются к основе, образуя молоток с утолщенной головкой. Готовые молотки проходят термообработку и имеют твердость 45-48 HRC.

Плановый срок работы молотков из термообработанной стали 50Г2 без замены – 720 часов, что равняется сроку их месячной эксплуатации.

Расход молотков из термообработанной стали 50Г2 в агломерационном цехе за один месяц работы 200 шт. Навеска молотков для одной дробилки ДРМИЗ-100 составляет 45 штук. Расход времени на навешивание молотков – 2,5-3 часа и на балансировку – 5-6 часов.

Результаты работы. При выполнении работы на вал молотковой дробилки типа ДРМИЗ-100 было установлено 36 молотков, изготовленных из термообработанной стали 50Г2, без наплавки и 9 молотков из Ст45 (по 3 молотка для каждой марки наплавочной проволоки), которые были наплавлены порошковыми проволоками ПП-У25Х17Т, ПП-АН170 и ВЕЛТЕК-Н.620.

При проведении исследований дробилка отработала 720 часы машинного времени и была остановлена для замены молотков, потому что начался некондиционный выход известняка. Схемы типов наплавленных молотков показаны на рис.1.

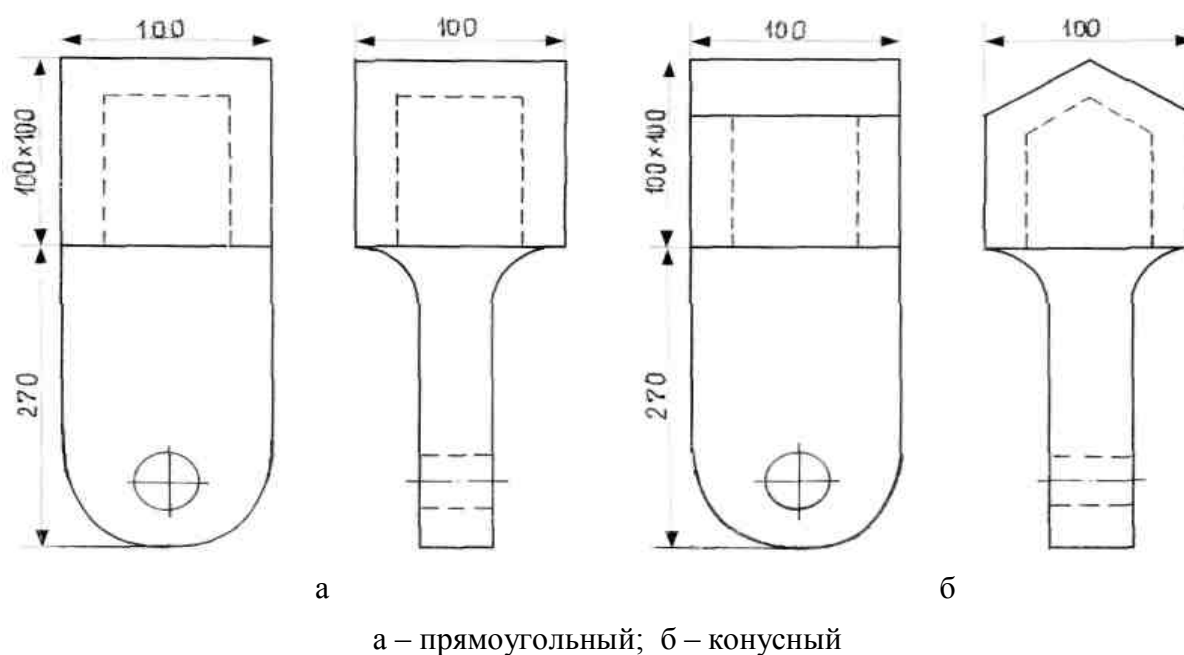


Рисунок 1 – Типы наплавленных молотков дробилки

Износ головок молотков из термоупрочненной Ст50Г2 составил 35-45%, а отверстий хвостовой части – 10-15%. Это приводит к значительному изменению гранулометрического состава и снижению качества помола известняка, что в практике производства является признаком необходимости замены молотков. В дробилке заменялись изношенные молотки из Ст50Г2, а наплавленные продолжали работу до допустимого износа в зависимости от химического состава и твердости наплавленного металла. Средние результаты экспериментов приведены в табл.2.

Таблица 2 – Результаты экспериментов

Материал молотков	Вид обработки и проволоки для наплавки	HRC	Потеря массы молотка за 720 ч, г/т	Потеря массы молотка, %	$K_{0,из}$
Ст50Г2 эталон	Термообработка	45-48	5,913	40,52	1,0
Ст45	ППУ25Х17Т	47-50	3,196	21,90	1,85
	ПП-АН170	62-65	1,523	10,44	3,88
	ВЕЛТЕК-Н.620	62-66	0,910	6,24	6,50



Обработка результатов экспериментов показала, что износ термообработанной стали 50Г2 и наплавленных головок молотков проволоками различного химического состава за период испытания составил 6,0-1,0 г/т измельченного известняка при 720 часах работы дробилки, а увеличение коэффициента относительной износостойкости $K_{o.из}$ равнялось 1,0-6,5.

Фотографии изношенных накладных головок молотков из термоупрочненной Ст50Г2 показаны на рис.2.

Рисунок 2 – Вид изношенных накладных головок из термообработанной Ст50Г2

Относительная износостойкость термообработанной стали 50Г2 (эталон) и наплавленного металла проволоками разного химического состава приведена на рис.3.

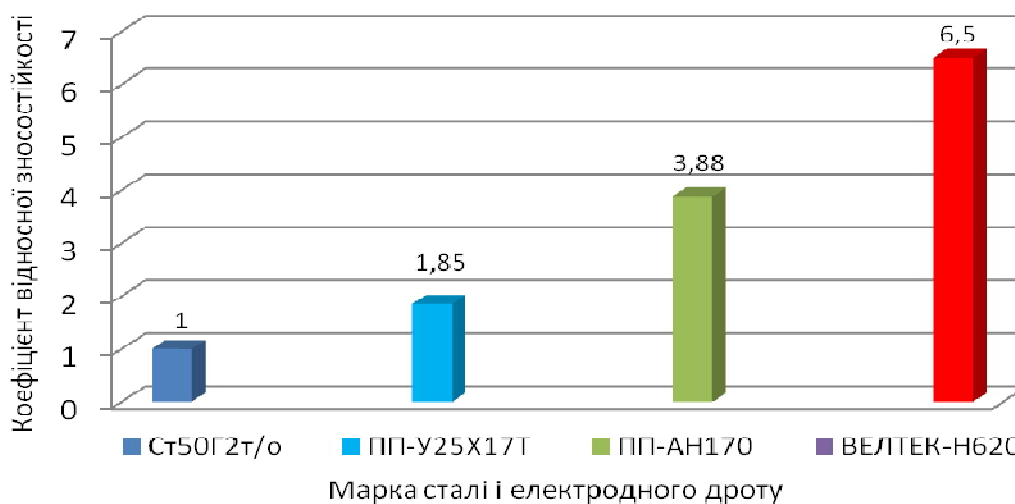


Рисунок 3 – Гистограмма относительной износостойкости наплавленного металла

Из табл.2 и рис.3 видно, что наибольшую износостойкость имеют молотки, наплавленные порошковыми проволоками ПП-АН170 и ВЕЛТЕК-Н.620, которые относятся к системам наплавки Fe-C-Cr-V-Ti и Fe-C-Cr-Mo-V-B.

Полученное уравнение полиномиальной аппроксимации изменения износостойкости следующее:

$$y = 0,4425x^2 + 0,3595x + 0,8875; \quad R^2 = 0,9990.$$

Разработка математической модели выполнялась на основе планирования эксперимента для трех независимых переменных на двух уровнях варьирования.

Выбор уровней и интервалов варьирования легирующих элементов был сделан на основе химического состава проволоки и твердости наплавленного металла.

С целью нахождения функциональных связей между независимыми факторами (x_1, x_2, x_3) и параметрами оптимизации (HRC, $K_{0,из}$) использовали методику регрессионного анализа для многофакторных планов [5]. Был реализован полный факторный эксперимент типа $N=2^3$, который включал восемь основных экспериментов.

Математическая модель подбиралась последовательно, начиная от линейного уравнения до получения высоких показателей коэффициентов корреляции.

Уровни и интервалы варьирования при наплавке валиков на образцы различными проволоками приведены в табл.3, 4.

Таблица 3 – Уровни и интервалы варьирования

Показатель	ПП-У25Х17Т			ПП-АН170			
	X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3	X_3
	C, %	Cr, %	Ti, %	C, %	Cr, %	Ti, %	B, %
Верхний уровень (+1)	3.0	18	1.0	1,0	20	1,0	4,0
Нулевой уровень (0)	2.5	17	0.80	0,80	18	0,80	3,0
Нижний уровень (-1)	2.0	16	0.60	0,60	16	0,60	2,0
Интервал варьирования (i)	0.5	1	0.20	0,20	2	0,20	1,0

Таблица 4 – Уровни и интервалы варьирования

Показатель	ВЕЛТЕК-Н620		
	X_1 - C, %	X_2 - Cr, %	X_3 - B, %
Верхний уровень (+1)	1,0	7	1,20
Нулевой уровень (0)	0,70	5	1,0
Нижний уровень (-1)	0,40	3	0,80
Интервал варьирования (i)	0,30	2	0,20

Матрица планирования и результаты экспериментов приведены в табл.5.

Таблица 5 – Матрица планирования и результаты экспериментов

№*	X_1 C, %	X_2 Cr, %	X_3 Ti, B, %	ПП-У25Х17Т		ПП-АН170		ВЕЛТЕК-Н620	
				HRC	$K_{0,из}$	HRC	$K_{0,из}$	HRC	$K_{0,из}$
7	-	-	-	48	1,84	68	3,94	67	6,48
16	+	-	-	50	1,87	66	3,83	70	6,52
3	-	+	-	52	1,88	67	3,86	66	6,46
6	+	+	-	50	1,86	67	3,84	68	6,50
20	-	-	+	46	1,82	68	3,85	66	6,45
11	+	-	+	51	1,87	66	3,82	68	6,51
15	-	+	+	47	1,83	68	3,95	70	6,53
1	+	+	+	45	1,81	67	3,85	71	6,55

* № рандомизированных опытов

Обработка экспериментальных данных выполнялась с помощью регрессионного анализа и программного комплекса "Statistica". Получена линейная регрессионная модель, которая характеризует влияние химического состава наплавленного металла на физико-химические и эксплуатационные свойства сплавов системы Fe-C-Cr-Ti и Fe-C-

Cr-Mo-V-W.

Регрессионные уравнения для расчетов следующие.

Молотки, наплавленные проволокой ПП-У25Х17Т:

$$\begin{aligned} \text{HRC} &= 41 + 0,548 \cdot C + 0,186 \cdot \text{Cr} + 1,875 \cdot \text{Ti}; \\ K_{\text{в.зн}} &= 1,64 + 0,014 \cdot C + 0,008 \cdot \text{Cr} + 0,056 \cdot \text{Ti}. \end{aligned}$$

Молотки, наплавленные проволокой ПП-АН170:

$$\begin{aligned} \text{HRC} &= 53 - 2,28 \cdot C + 0,819 \cdot \text{Cr} + 0,091 \cdot \text{W}; \\ K_{\text{в.зн}} &= 4,27 - 0,076 \cdot C - 0,015 \cdot \text{Cr} - 0,021 \cdot \text{W}; \\ \text{HRC} &= 53 - 2,28 \cdot C + 0,819 \cdot \text{Cr} + 0,455 \cdot \text{Ti}; \\ K_{\text{в.зн}} &= 4,11 - 0,076 \cdot C + 0,015 \cdot \text{Cr} + 0,103 \cdot \text{Ti}. \end{aligned}$$

Молотки, наплавленные проволокой ВЕЛТЕК-Н.620:

$$\begin{aligned} \text{HRC} &= 64 + 2,433 \cdot C + 0,183 \cdot \text{Cr} + 0,183 \cdot \text{W}; \\ K_{\text{в.зн}} &= 6,47 + 0,024 \cdot C + 0,003 \cdot \text{Cr} + 0,006 \cdot \text{W}. \end{aligned}$$

Анализ адекватности полученной модели оценивался при $\alpha = 0,05$ по критерию Фишера, который был меньше табличных значений, а проверка значимости коэффициентов регрессии – по t-критерию Стьюдента. Значение коэффициентов детерминации R^2 равнялось 0,8595-0,8947. Полученные результаты свидетельствуют об адекватности модели и возможности ее использования.

Выводы. 1. Установлено, что наибольший коэффициент относительной износостойкости $K_{\text{о.из}} = 6,50$ имеют молотки дробилки, которые наплавлены самозащитной порошковой проволокой ВЕЛТЕК-Н.620, у которых выше физико-механические, технологические и эксплуатационные показатели, чем у молотков, наплавленных проволоками ПП-У25Х17Т и ПП-АН170.

2. Износ молотков из термообработанной стали 50Г2 за 720 часов работы составлял 5,913 г/т известняка, а наплавленных проволоками ПП-У25Х17Т – 3,196, ПП-АН170 – 1,523 и ВЕЛТЕК-Н.620 – 0,910 г/т.

3. Срок эксплуатации молотков, наплавленных проволоками ПП-У25Х17Т, ПП-АН170 и ВЕЛТЕК-Н.620 выше, чем у молотков из термообработанной стали 50Г2 в 2-3,5 раза.

4. Использование полученной математической модели позволяет прогнозировать твердость и износостойкость наплавленных молотков дробилок в зависимости от химического состава металла.

5. Для повышения технологической и эксплуатационной прочности молотков дробилок, снижения трудоемкости и себестоимости целесообразно изготовление молотков из готовых, наплавленных необходимыми износостойкими материалами пластин листового проката [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Рябцев И.А. Реновационные наплавочные технологии в металлургии и машиностроении / И.А.Рябцев, Ю.М.Кусков, Н.А.Кондратьев // Металлургия машиностроения. – 2003. – № 1. – С.11-14.
2. Клушанцев Б.В. Дробилки. Конструкция, расчёт, особенности эксплуатации / Б.В.Клушанцев, А.И.Косарев, Ю.А.Муйземек. – М.: Машиностроение, 1990. – 320с.
3. Виноградов В.Н. Абразивное изнашивание / В.Н.Виноградов, Г.М.Сорокин, М.Г.Колокольников. – М.: Машиностроение, 1990. – 221с.
4. Попов С.Н. Оптимизация износостойкого наплавочного сплава системы Fe-C-Ti-W для условий изнашивания закрепленным абразивом / Попов С.Н., Антонюк А.Д. //

- Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2009. – № 1. – С.93-99.
5. Ольшанецкий В.Е. О физических подходах к математическому моделированию функциональных связей / Ольшанецкий В.Е. // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2003. – № 1. – С.80-86.
 6. Жудра А.П. Оборудование и материалы для износостойкой наплавки листовых футеровочных элементов / А.П.Жудра, А.П.Ворончук, С.И.Великий //Автоматическая сварка. – 2009. – № 9. – С.53-55.

Поступила в редколлегию 11.01.2013.