



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ВОЗДУШНОЙ СТРУЕ И НАПЫЛЯЕМОЙ ОСНОВЕ ПРИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

Н. М. ВОРОПАЙ, д-р техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
А. И. МАЖЕЙКА, канд. техн. наук, **С. И. МАРКОВИЧ**, инж. (Кировоград. гос. техн. ун-т)

Рассмотрено влияние технологических режимов электродуговой металлизации на распределение температуры в воздушной струе и напыляемой основе. Использован метод зондирования температуры отдельных участков струи и подложки при изменении тока дуги, давления воздуха и дистанции напыления. Показано, что температура струи и подложки возрастает с увеличением тока дуги и давления воздуха.

Ключевые слова: электродуговая металлизация, параметры режимов, электродная проволока, воздушная струя, температура струи, температура подложки, толщина покрытия

Качество формирования покрытий при электродуговой металлизации существенно зависит от аксиального и радиального распределения температуры в воздушной струе и тепловых условий на границе контактирования расплавленных частиц напыляемого материала с поверхностью основного металла (подложки) [1–3]. Источником энергии при электродуговой металлизации является электрическая дуга, горящая между двумя плавящимися электродами в струе сжатого воздуха. Основными технологическими параметрами этого процесса являются ток дуги I_d , напряжение на дуге U_d , давление сжатого воздуха P и дистанция напыления L_n . Ранее выполнены исследования [4] влияния некоторых параметров технологического режима плазменного напыления на температуру струи аргона и его смеси с водородом.

В настоящей работе использован метод зондирования отдельных участков зоны электродуговой металлизации для определения распределения температуры в воздушной струе и подложке при изменении технологических параметров процесса.

Опыты проводили на установке электродугового напыления КДМ-4(5), состоящей из металлизатора ЭМ-14М с центральной сопловой системой подачи сжатого воздуха, источника питания постоянного тока типа ВС-632 с пологопадающей внешней характеристикой и подвижного стола для перемещения напыляемых образцов. В качестве электродных материалов применяли две проволоки: одну порошковую НПП-5 с наполнителем системы Fe–C–Cr–Mn (катод), вторую — цельнотянутую марки Св-08А (анод). Диаметр каждой из них составлял 2 мм, скорость подачи —

360...540 м/ч. Как и в работе [4], замер температур в воздушной струе осуществляли с помощью хромель-алюмелевых термопар диаметром 0,5 мм. Ширина сваренного торца термопары не превышала 1,2 мм. Во избежание попадания капель металла на термопару рабочий участок последней изолировали термостойкой керамической трубкой с наружным диаметром 4 мм. Температуру неподвижной подложки измеряли хромель-копелевыми термопарами диаметром 0,2 мм. Образцы подложки из стали 09Г2 толщиной 3 мм размером 200×200 мм изготавливали с верхними отверстиями глубиной 1,5 мм. В последние с помощью конденсаторного аппарата вваривали термопары. Термоэлектрический эффект от термопар, погруженных в воздушную струю и подложку, записывали на осциллографе.

Наиболее типичные режимы напыления, использованные в опытах, приведены в таблице. Расстояние от среза сопла до точки определения тем-

Технологические режимы электродуговой металлизации

| № режима электродуговой металлизации | Ток дуги I_d , А | Напряжение на дуге U_d , В | Давление воздуха P , МПа | Дистанция напыления L_n , мм | Расстояние от сопла до точки определения температуры L_c , мм |
|--------------------------------------|--------------------|------------------------------|----------------------------|--------------------------------|---|
| 1 | 150 | 24 | 0,1 | 150 | 30 |
| 2 | 150 | 24 | 0,3 | 150 | 30 |
| 3 | 150 | 24 | 0,4 | 150 | 30 |
| 4 | 250 | 28 | 0,1 | 150 | 30 |
| 5 | 250 | 28 | 0,3 | 150 | 30 |
| 6 | 250 | 28 | 0,4 | 150 | 30 |
| 7 | 150 | 24 | 0,3 | 150 | 60 |
| 8 | 150 | 24 | 0,3 | 150 | 90 |
| 9 | 250 | 28 | 0,3 | 150 | 60 |
| 10 | 250 | 28 | 0,3 | 100 | 90 |
| 11 | 150 | 24 | 0,3 | 100 | 60 |
| 12 | 250 | 28 | 0,3 | 100 | 60 |
| 13 | 150 | 24 | 0,3 | 200 | 60 |
| 14 | 250 | 28 | 0,3 | 200 | 60 |

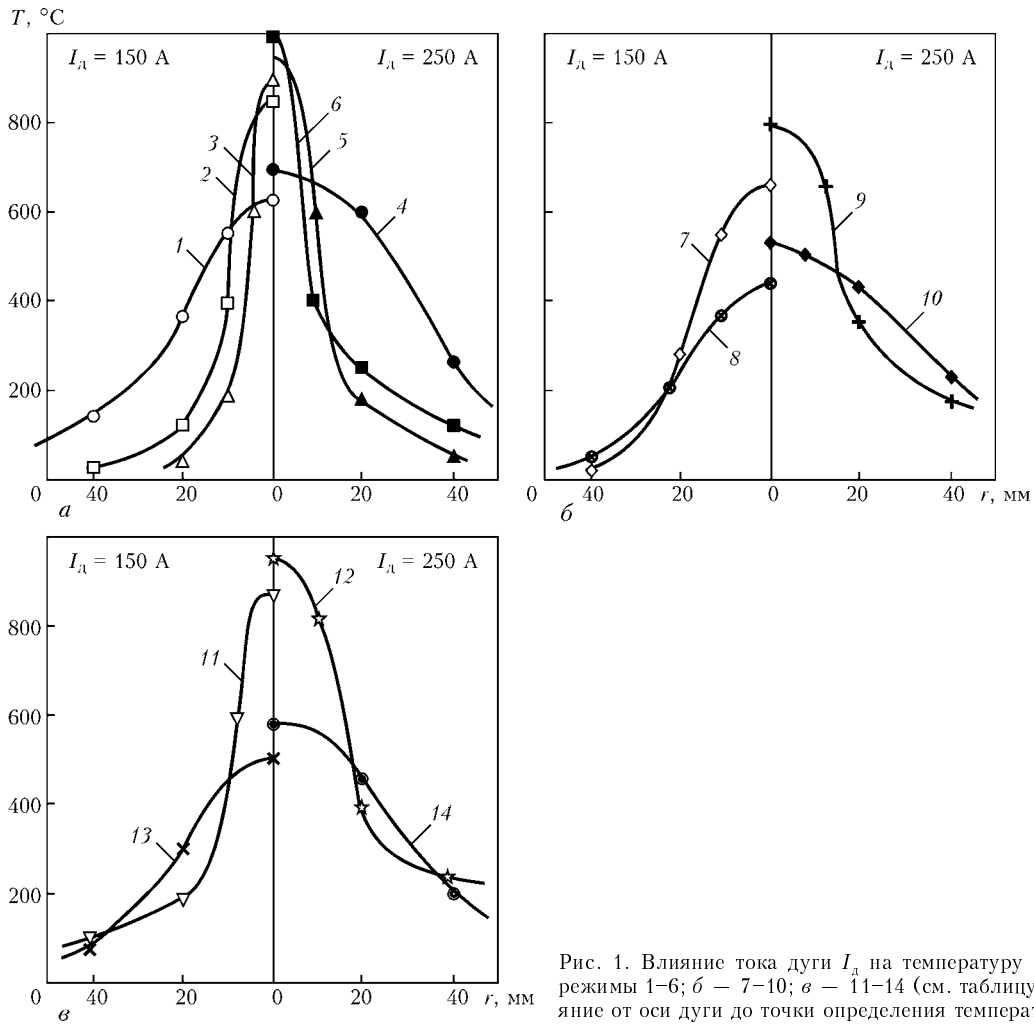


Рис. 1. Влияние тока дуги I_d на температуру струи T : а – режимы 1–6; б – 7–10; в – 11–14 (см. таблицу); r – расстояние от оси дуги до точки определения температуры струи

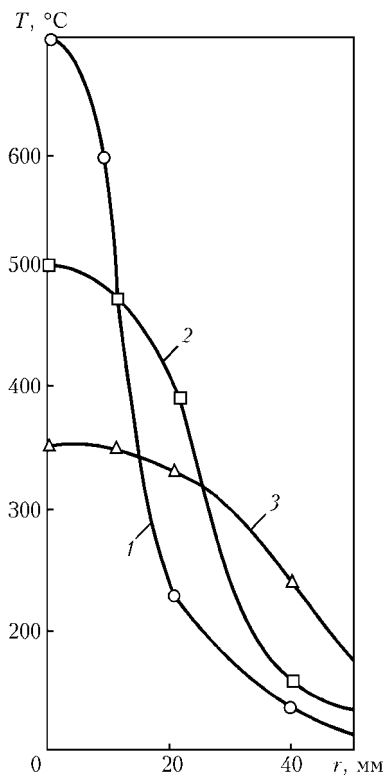


Рис. 2. Влияние дистанции напыления на распределение температуры в металлической подложке при $I_d = 200$ А, $U_d = 26$ В, $P = 0,4$ МПа, $t = 6$ с: 1 – $L_n = 100$; 2 – 150; 3 – 200 мм

пературы струи составляло 30...90 мм. Значение тока дуги изменяли в диапазоне 150...250 А при $U_d = 24...28$ В. Давление сжатого воздуха составляло 0,1, 0,3 и 0,4 МПа. Дистанцию напыления выбирали в пределах 100...200 мм. При проведении опытов термопары устанавливали по оси воздушной струи и подложки на расстоянии от оси 10, 20 и 40 мм.

Во всех исследованных вариантах режимов электродуговой металлизации с увеличением тока дуги возрастает температура воздушной струи (рис. 1). Давление воздуха также оказывает влияние на температуру струи. Так, при $P = 0,1$ МПа и $I_d = 150$ А максимальная температура струи на оси несколько превышает 600 °С. Диаметр струи, имеющий температуру 400 °С, достигал 40 мм при $I_d = 150$ А и 60 мм при $I_d = 250$ А. С повышением давления воздуха до 0,4 МПа температура струи на ее оси увеличивается до 900 °С при $I_d = 150$ А и до 1000 °С при $I_d = 250$ А. При таком увеличении давления воздуха высокотемпературный участок струи уменьшается в 3...4 раза.

Распределение температуры в металлической подложке в зависимости от дистанции напыления L_n приведено на рис. 2. При относительно малой (100 мм) дистанции напыления температура подложки достигает 700 °С и продолжает возрастать с уменьшением L_n . При дистанции напыления до

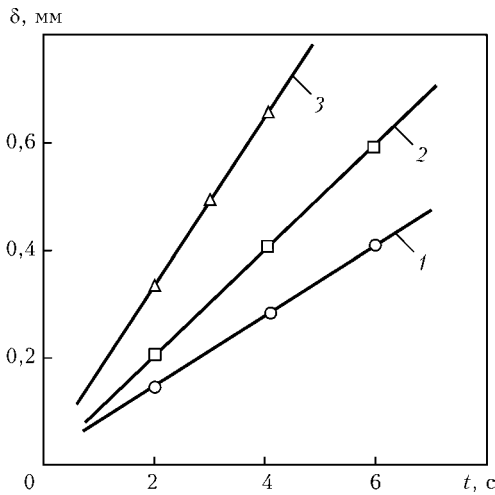


Рис. 3. Влияние времени напыления t на толщину покрытия δ в центре пятна нагрева при различном токе дуги: 1 — $I_d = 100$; 2 — 150; 3 — 200 А

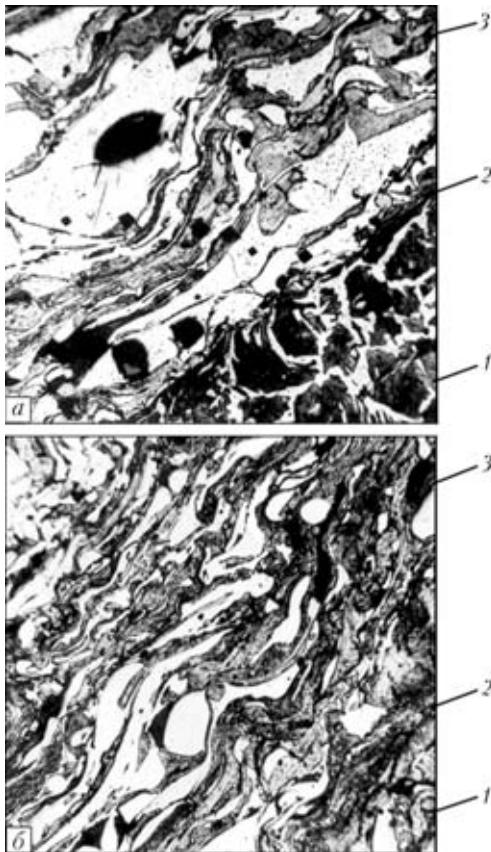


Рис. 4. Микроструктура ($\times 200$) покрытия, напыленного порошковой и цельнотянутой проволоками при $P = 0,1$ (а) и $P = 0,4$ МПа (б): 1 — подложка; 2 — граница раздела; 3 — покрытие

150... 200 мм температура нагрева подложки снижается до 350... 500 °С, что приводит к увеличению зоны подогрева до 300 °С. Аналогичным образом изменяется и толщина покрытия в пятне нагрева: чем больше ток дуги и время напыления, тем толще покрытие в центре пятна нагрева (рис. 3).

Для заданного диаметра электродных проволок (2 мм) при электродуговой металлизации оптимальные значения тока дуги и напряжения на дуге составляют соответственно 250 А и 28 В. При меньших значениях тока (100... 150 А) производитель-

ность процесса напыления уменьшается. При этом прочность сцепления покрытия с подложкой относительно мала. С повышением тока до 350 А и более длина и диаметр факела дуги возрастают. Одновременно с этим увеличиваются уровень разбрызгивания электродного металла и степень окисления поверхности напыленного материала.

Качество напыляемого покрытия существенно зависит также от давления воздуха и дистанции напыления. При малых значениях давления воздуха (0,1... 0,2 МПа) образуются покрытия, металл которых отличается крупнозернистой структурой (рис. 4, а). С увеличением давления воздуха до 0,4 МПа размер зерна уменьшается (рис. 4, б). В обоих случаях матричной фазой в структуре металла покрытия является твердый раствор хрома в α - либо γ -железе. В структуре покрытия формируется карбидная фаза, заметно повышающая его твердость [3]. При дистанции напыления до 150 мм частицы расплавленного электродного металла достигают поверхности подложки, способствуя образованию плотных покрытий, отличающихся прочным сцеплением. При дистанции напыления более 200 мм возможно переохлаждение частиц напыляемого материала и снижение прочности сцепления покрытия с основным металлом. Для каждого типоразмера напыляемой детали требуются соответствующие параметры технологических режимов электродуговой металлизации. Дополнительно для повышения стабильности горения дуги в порошок проволоку необходимо ввести небольшое количество легкоионизируемых соединений щелочных и щелочноземельных металлов [6]. Такие добавки позволяют производить электродуговую металлизацию на переменном токе и импульсной дугой.

Выводы

1. Температура воздушной струи при электродуговой металлизации повышается с увеличением тока дуги и давления воздуха. С увеличением дистанции напыления от 100 до 200 мм температура струи вдоль оси уменьшается с 900... 1000 до 500... 600 °С. При увеличении давления воздуха до 0,4 МПа высокотемпературный участок струи практически по всей ее длине уменьшается в 3...4 раза. При всех указанных условиях, чем ближе к соплу, тем резче градиент температур в периферийных слоях струи.

2. С увеличением дистанции напыления от 100 до 200 мм температура подложки из стали 09Г2 толщиной 3 мм уменьшается с 700 до 350 °С. Наибольшая толщина покрытия на подложке наблюдается по оси пятна нагрева. Чем больше значения тока дуги и время напыления, тем больше толщина покрытия.

1. Газотермические покрытия из порошковых материалов: Справочник / Ю. С. Борисов, Б. А. Харламов, С. А. Сидоренко и др. — Киев: Наук. думка, 1987. — 544 с.
2. Харламов Ю. А., Будагяниц Н. А. Основы технологии восстановления и упрочнения деталей машин. — Луганск: Изд-во Восточнукр. нац. ун-та им. В. Даля, 2003. — Т. 1. — 496 с.
3. Структура и свойства покрытий на основе феррохрома и ферроалюминия, полученных электродуговой металлиза-



- цией из порошковых проволок / А. Л. Борисова, И. В. Миль, Т. В. Кайда, А. Ш. Клейман // Автомат. сварка. — 1995. — № 6. — С. 3–6.
4. *Экспериментальное* исследование температуры плазменной струи / О. Б. Чевела, И. А. Морозов, В. Е. Логинов, Ю. К. Панцырев // Свароч. пр-во. — 1975. — № 10. — С. 1–3.
5. *Агеев В. А., Бурякин А. В., Бувайло В. В.* Комплект электродуговой металлизации КДМ-4М // Там же. — 2003. — № 4. — С. 43–48.
6. *Воропай Н. М., Костенюк Н. И., Маркович С. И.* Влияние легионизируемых добавок на характеристики процессов сварки в углекислом газе на переменном токе и импульсной дугой // Автомат. сварка. — 1998. — № 7. — С. 11–14.

The influence is considered of process modes of electric-arc metallizing on temperature distribution in an air jet and sprayed base. A method of temperature probing in individual sections of the jet and substrate at variation of arc current, air pressure and spraying distance is used. It is shown, that the temperature of the jet and substrate rises with increase in arc current and air pressure.

Поступила в редакцию 22.10.2003

ВЫСТАВКИ-ЯРМАРКИ

**«МЕТАЛЛУРГИЯ-2004», «СВАРКА», «РОСМАШ», «АВТОМАТИЗАЦИЯ»
(19–22 ОКТЯБРЯ 2004 Г. НОВОКУЗНЕЦК КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ)**

ТЕМАТИЧЕСКИЕ РАЗДЕЛЫ

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Технологии и оборудование для предприятий металлургической, машиностроительной и металлообработывающей промышленности <input checked="" type="checkbox"/> Черные, цветные, редкоземельные и драгоценные металлы. Сплавы. Заготовка. Прокат. Литье. Трубы. Проволока. Метизы. Штамповка. Канаты <input checked="" type="checkbox"/> Руда. Концентрат. Окатыши. Кокс. Ферросплавы. Огнеупоры. Флюсы. Шихта <input checked="" type="checkbox"/> Оборудование. Машины. Станки. Оснастка. Малая механизация <input checked="" type="checkbox"/> Продукция производственно-технического назначения. Приспособления. Инструмент <input checked="" type="checkbox"/> Металлоконструкции. Технологии и оборудование для изготовления металлоконструкций. Проектирование и строительство металлургических предприятий, шахт, рудников, мостов и других промышленных и гражданских зданий и сооружений <input checked="" type="checkbox"/> Сварка. Сварочное оборудование. Технологии и сварочные материалы. Средства и оборудование контроля <input checked="" type="checkbox"/> Электротехническое оборудование промышленного назначения. Электроосветительные приборы | <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Продукция машиностроения для всех отраслей промышленности <input checked="" type="checkbox"/> Продукция машиностроения для населения <input checked="" type="checkbox"/> Технологии, оборудование, машины, механизмы, станки, агрегаты, автоматы <input checked="" type="checkbox"/> Художественное литье,ковка, штамповка, чеканка, роспись по металлу <input checked="" type="checkbox"/> Спецодежда и средства защиты <input checked="" type="checkbox"/> Автоматизированные системы и технические средства управления производством и технологическими процессами <input checked="" type="checkbox"/> Промышленные контроллеры <input checked="" type="checkbox"/> Системы контроля, регулирования и управления <input checked="" type="checkbox"/> Промышленная автоматизация. Роботы. Манипуляторы. Периферийное оборудование. Лазерная техника <input checked="" type="checkbox"/> Обеспечение и контроль качества <input checked="" type="checkbox"/> Информационные технологии и программное обеспечение: системы CAD/CAM, базовые системы и средства разработки программ, инжиниринг, услуги и сервис |
|--|---|

НАУЧНАЯ ПРОГРАММА ВЫСТАВОК-ЯРМАРОК:

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ Всероссийская научно-практическая конференция «Металлургия: реорганизация, управление, инновация и качество»; ✓ Научно-практические семинары: «Новые материалы для металлургии и машиностроения»; «Сварочное оборудование, технологии, методы, контроль и управление качеством»; «Автоматизация управления металлургическими процессами»; ✓ Круглые столы ✓ Конкурс на лучший экспонат выставки | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Презентации предприятий и фирм ✓ Посещение промышленных предприятий |
|--|--|

По вопросам участия в выставке просьба обращаться по
тел./факс: (3843) 46-63-72, 46-63-73 E-mail: metal@kuzbass-fair.ru