

3. Казанский В. Н., Языков А. Е., Беликова Н. З. Подшипники и системы смазывания паровых турбин / Изд. 3-е, перер. и доп. Челябинск: Цицеро, 2004. 484 с.
4. Глуценко А. Н. Технология турбулентной заливки сплавов скольжения // Труды III Российской научно-технической конференции «Физические свойства металлов и сплавов». Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ—УПИ, 2005. С. 229–232.
5. Илюшин В. В., Потехин Б. А., Христолюбов А. С. Зависимость структуры и свойств баббита Б83 от способа литья // Сборник докладов IX Международного научно-технического конгресса термистов и металлургов «Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов». Харьков: ННЦ «ХФТИ», 2008. Т. 1. 144–148 с.
6. Илюшин В. В., Потехин Б. А. Влияние состава пламяобразующего газа при наплавке баббита Б83 на коэффициент трения // Материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. С. 109.
7. Korobov Yu., Potechin B., Gogolev L., Ilushin V., Deviatarov M. Comparison of structure and wear properties of Babbitt layers which are produced by Arc Spraying and Pouring // Thermal Spray: Global Solution for future application: Int. Thermal Spray Conf. & Exposition ITSC 2010. Singapore. May 3–5, 2010.
8. Крагельский И. В. Трение и износ / Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1968. 480 с.
9. Буше Н. А., Копытько В. В. Совместимость трущихся поверхностей. М.: Наука, 1981. 128 с.
10. Гуляев А. П. Металловедение. М.: Металлургия, 1977. 648 с.
11. Кулик А. Я., Борисов Ю. С., Мнухин А. С. и др. Газотермическое напыление композиционных порошков. М.: Машиностроение, 1985. 199 с.
12. Бобров Г. В., Ильин А. А. Нанесение неорганических покрытий. Теория, технология, оборудование. М., 2005.
13. Кудинов В. В. Плазменные покрытия. М.: Наука, 1977. 184 с.

УДК 621.791.03

Д. А. Чинахов, канд. техн. наук;

А. В. Воробьев, канд. техн. наук;

А. А. Томчик

(Юргинский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ЮТИ ТПУ))

Влияние активного защитного газа на распределение тепла в зоне сварки

Большинство сварочных процессов предусматривает нагрев соединяемых деталей разными видами источников теплоты. При сварке плавлением качество соединения во многом определяется условиями нагрева и охлаждения. Характер протекания тепловых процессов определяет производительность плавления основного металла и присадочного материала, направление и полноту протекания металлургических процессов в сварочной ванне, условия формирования структуры металла шва и зоны термического влияния, эксплуатационные свойства сварных соединений [1–5]. Управление термическим циклом в неразъемном соединении является одной из основных задач современного сварочного производства.

Совокупность различных факторов и явлений определяет качество сварных соединений. Многие авторы [6–10, и др.] исследовали влияние изменения потока защитного газа на процесс сварки плавящимся электродом и отмечают, что с увеличением скорости истечения газа происходит улучшение качества защиты зоны сварки, формирования сварного шва, стабильности процесса сварки.

При сварке плавящимся электродом в струйной газовой защите, при определенных условиях кроме основ-

ных сил, на каплю электродного металла и процессы в зоне сварки существенное влияние оказывает сила действия струи защитного газа [5–10]. Значительное влияние этой силы отмечено при двухструйной газовой защите в CO_2 [8].

С целью изучения влияния скорости истечения активного защитного газа на тепловые процессы в зоне сварки плавящимся электродом было проведено численное моделирование и экспериментальные исследования.

Расчет скорости истечения газа и распределения температурных полей был выполнен в системе SolidWorks FlowSimulation [11].

Была выделена расчетная область в виде прямоугольного параллелепипеда, в центральной части которого располагается геометрическая модель сопла и свариваемых пластин. Для снижения затрат времени и повышения точности расчетов вычисления проводились для одной четверти модели, так как геометрическая модель и граничные условия являются симметричными относительно двух вертикальных ортогональных плоскостей. Чтобы учесть особенности потока газа в областях с высокими градиентами скорости и температуры, дополнительно провели уплотнение начальной сетки. На внешних

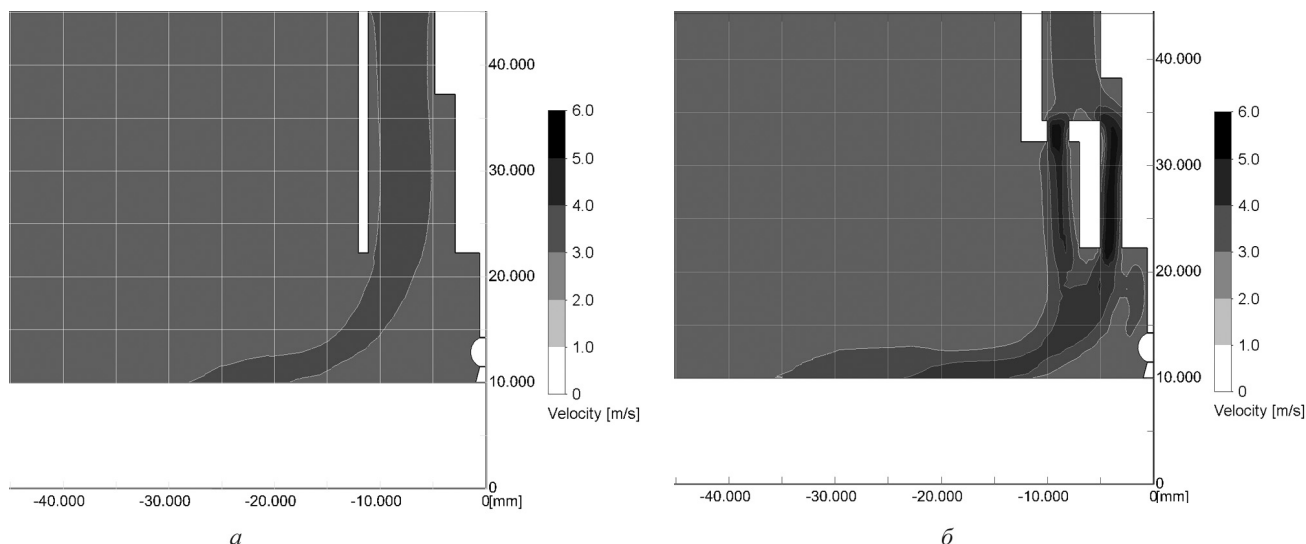


Рис. 1. Результаты моделирования скорости движения потоков защитного газа (CO_2) при встрече с плоской пластиной: а) традиционная одноструйная газовая защита; б) двухструйная газовая защита

Таблица 1

Расчетные и экспериментальные значения скоростей защитного газа

Расход, л/мин	Расчетная скорость газа, м/с		Экспериментально полученная скорость газа, м/с	
	Традиционная	Двухструйная	Традиционная	Двухструйная
10	0,23	1,1	0,2	1,0
20	0,8	2,5	0,85	2,4
30	1,5	3,7	1,6	3,5

границах расчетной области принимались нормальные условия атмосферы. В качестве граничных условий был задан объемный расход углекислого газа на входе в сопло, равный 20 л/мин ($3,33 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$). Материалы: для деталей горелки — бронза, для свариваемых пластин — сталь. Концентрация газов в начальный момент времени принималась следующей: воздух = 1; углекислый газ = 0.

Капля расплавленного металла и дуга были смоделированы как твердые тела в виде сферы и усеченного конуса. По объему данных тел задали источники тепла с температурой соответственно 3000 и 5000 °С [7]. Был также учтен теплообмен за счет теплопроводности в твердых телах, теплового излучения и конвекции.

По результатам проведенных ранее исследований [8, 12–14] установлено, что форма, скорость и воздействие потока газа при истечении из традиционного и двухструйного сопла сильно отличаются (рис. 1). Значительное изменение динамики защитного газа влечет за собой изменение процессов, протекающих в зоне сварки (перенос капель электродного металла, металлургические процессы в капле, тепловые процессы, динамика сварочной ванны и т. д.), и, как следствие, изменение эксплуатационных свойств сварных соединений.

Для проверки адекватности полученных расчетных данных провели эксперимент. В лабораторных условиях

с помощью термоанемометра Dwyer Series 471 измерили скорости потоков защитного газа на срезе сопла при разных расходах газа (табл. 1) [13].

Абсолютная погрешность в среднем не превышает 10% для традиционной (одноструйной) газовой защиты и 5,4% для двухструйной соответственно. Сравнение расчетных и экспериментальных данных показывает, что разработанная модель истечения защитного газа из сварочного сопла обеспечивает удовлетворительную точность при решении задачи о стационарном взаимодействии осесимметричной струи защитного газа с нормально расположенной плоской преградой при различных объемных расходах. Это позволяет с большой степенью уверенности предположить, что изменение условий моделирования также даст адекватный результат.

Моделирование влияния скорости истечения активного защитного газа из разных сварочных сопел — традиционного (одноструйного) и двухструйного — на тепловые процессы в зоне сварки плавящимся электродом в CO_2 (рис. 2) [13] было выполнено в программе SolidWorks FlowSimulation на вычислительном кластере «СКИФ-политех» (суперкомпьютер ТПУ, см. электронный ресурс cluster.tpu.ru).

Результаты моделирования показали, что при двухструйной газовой защите происходит сжатие темпера-

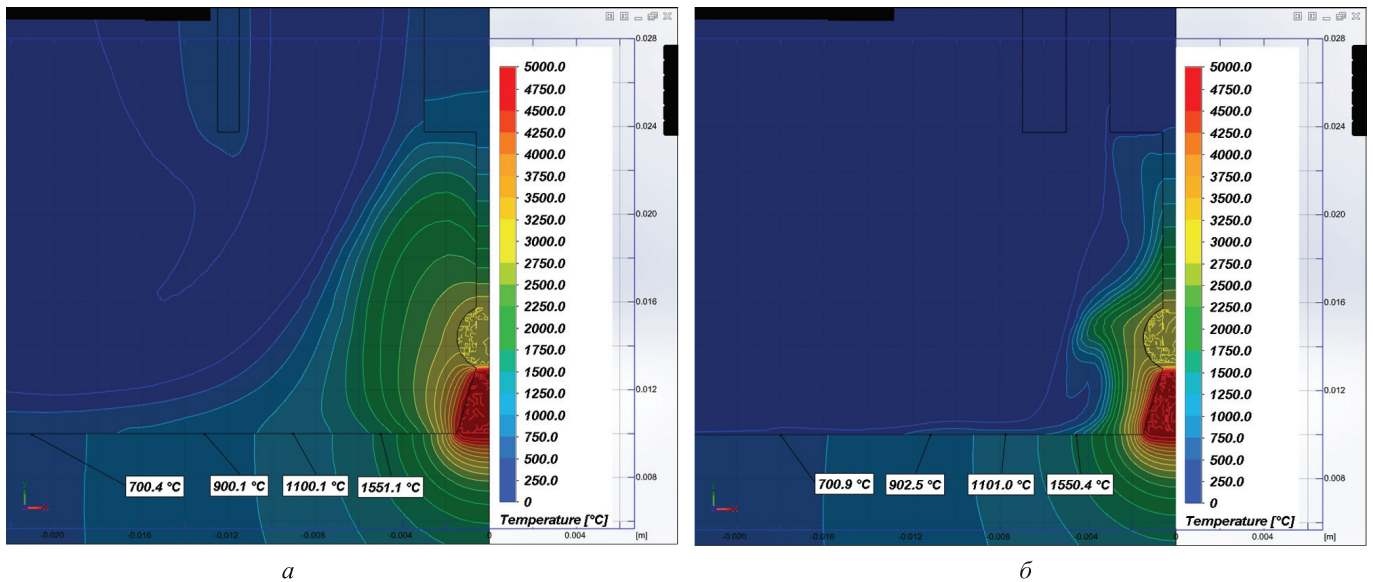


Рис. 2. Результаты моделирования распределения тепла в зоне сварки: а) традиционная одноструйная газовая защита; б) двухструйная газовая защита

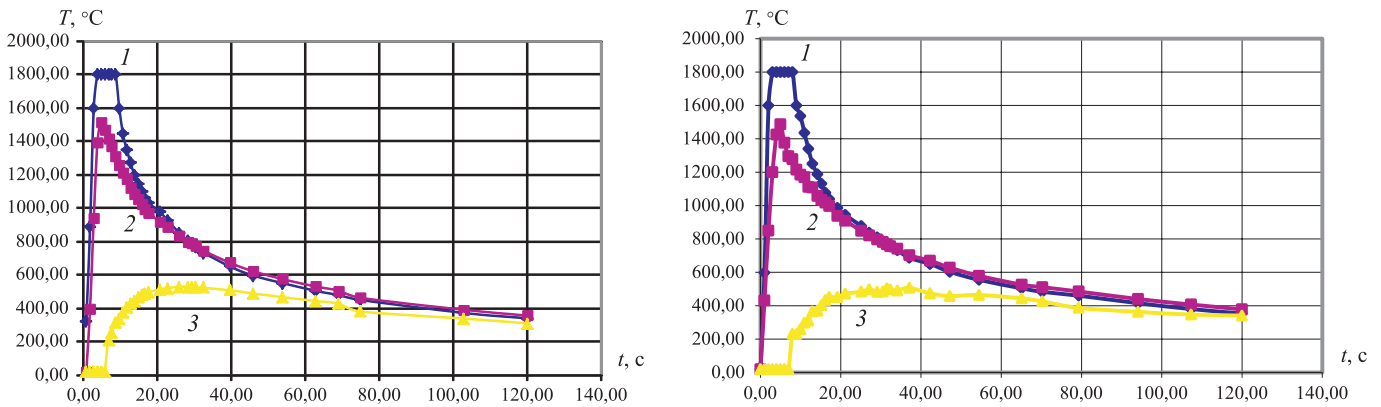


Рис. 3. Термические циклы в точках $Y = 0$ см (1), $Y = 0,5$ см (2), $Y = 1,4$ см (3) от центра шва при сварке в CO_2 : а) с двухструйной газовой защитой; б) с традиционной газовой защитой

турных полей в зоне сварки, т. е. сжатие дуги. Это вызывает увеличение концентрации введенного тепла в изделие и в каплю электродного металла, повышение к.п.д. нагрева, изменение зоны термического влияния (ЗТВ) по сравнению с традиционной (одноструйной) защитой.

Для проверки результатов моделирования сварку пластин 300×150 мм толщиной 8 мм из стали 30ХГСА осуществляли в автоматическом режиме в CO_2 электродной проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм. Образцы заваривали по разработанному (двухструйная защита) и по традиционному способу сварки (одноструйная защита), на следующих режимах: сварочный ток $I_{\text{св}} = 185\text{--}190$ А, скорость сварки $V = 27\text{--}28$ см/мин, расход защитного газа $Q = 17$ л/мин, вылет электродной проволоки $L = 12$ мм, напряжение дуги $U_{\text{д}} = 26\text{--}27$ В. В качестве источника питания использовался сварочный выпрямитель ВСЖ-303. Регистрацию полей осуществляли с помощью тепловизора ThermoCAM P65HS фирмы FLIR. Съемку проводили на протяжении времени сварки

одного прохода и в течение 60 с после окончания сварки [14]. В результате были получены изображения температурных полей (термограмм) нагрева и охлаждения свариваемых изделий.

По полученным термограммам были построены термические циклы для трех точек, расположенных в 10 мм от начала свариваемых пластины в стык без разделки кромок (по оси X): по центру сварного шва $Y = 0$ см, на расстоянии $Y = 0,5$ см от центра сварного шва, на расстоянии $Y = 1,4$ см от центра сварного шва. Графики термических циклов представлены на рис. 3.

По результатам анализа термограмм установлено, что термические циклы металла шва и околошовной зоны сварных соединений не одинаковы, в диапазоне около 785°C происходит выравнивание температур, и до этого более горячий металл шва становится менее горячим по сравнению с металлом околошовной зоной при любом способе газовой защиты. Скорость температурного насыщения в свариваемых пластинах при двухструйной

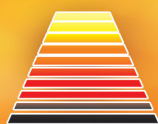
газовой защите немного выше, и выравнивание температуры между металлом шва и околошовной зоной происходит на 1–1,4 с раньше, чем при традиционной одноструйной защите. Нарастание температуры перед источником нагрева при традиционной одноструйной газовой защите происходит быстрее.

По результатам исследования установлено, что распределение тепла в зоне сварки, электроде и свариваемых изделиях зависит от способа газовой защиты и скорости истечения активного защитного газа. Полученные результаты моделирования дают предпосылки для описания явлений и процессов в зоне сварки плавящимся электродом в среде активных защитных газов.

Список литературы

1. *Шоршоров М. Х.* Металловедение сварки стали и сплавов титана. М.: Наука, 1965. 337 с.
2. *Лившиц Л. С., Хакимов А. Н.* Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений / Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1989. 339 с.
3. *Лахтин Ю. М.* Металловедение и термическая обработка металлов / Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Металлургия, 1983. 359 с.
4. *Фролов В. В.* Теория сварочных процессов. М.: ВШ, 1988. 559 с.
5. *Потаповский А. Г.* Сварка в защитных газах плавящимся электродом. М.: Машиностроение, 1974. 240 с.
6. *Поправка Д. Л., Хворостов Н. Е.* Дуговая сварка в защитных газах на открытых площадках. М.: Машиностроение, 1979. 64 с.

7. *Новожилов М. Н.* Основы металлургии дуговой сварки в газах. М.: Машиностроение, 1979. 231 с.
8. *Чинахов Д. А.* Роль газодинамического воздействия струи защитного газа на процессы сварки плавящимся электродом: Монография. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. 151 с.
9. *Грибовский Г., Кравчук Б., Ленивкин В. А.* Влияние двухслойного кольцевого потока защитных газов на процесс сварки плавящимся электродом // Сварочное производство. 1996. № 4. С. 6–8.
10. *Федоренко Г. А., Иванова И. В., Синяков К. А.* Совершенствование технологического процесса сварки в защитных газах на ветру // Сварочное производство. 2010. № 1. С. 6–13.
11. *Алямовский А. А.* SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи. СПб.: БХВ-Петербург, 2012.
12. *Чинахов Д. А., Воробьев А. В., Томчик А. А.* Моделирование истечения газовых потоков из сопла при сварке плавящимся электродом с традиционной и двуструйной газовой защитой // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. 2011. № 4(53). С. 83–87.
13. *Chinakhov D. A., Vorobyov A. V., Davydov A. A., Tomchik A. A.* Simulation of active shielding gas impact on heat distribution in the weld zone of consumable electrode welding // The 7th International Forum on Strategic Technology IFOST2012. September 17–21, 2012. Tomsk: Polytechnic University. Vol. II. P. 136–138.
14. *Chinakhov D. A.* Study of thermal cycle and cooling rate of steel 30XГСА single-pass weld joints [Electronic resources] // Applied Mechanics and Materials. Vol. 52–54. 2011. P. 442–447. Mode of access: <http://www.scientific.net/AMM.52-54.442>.



ТЕРМООБРАБОТКА

Седьмая международная специализированная выставка

10 - 12 сентября 2013

Россия, Москва, ЦВК «Экспоцентр», павильон 5

Единственная в России
выставка термического
оборудования и технологий

11
сентября

Международная конференция
«ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ТЕРМООБРАБОТКИ»

Разделы выставки:

- Промышленные печи: муфельные, вакуумные, плавильные, шахтные, камерные, электропечи
- Индукционный нагрев: ТВЧ продукция, индукционные печи
- Оборудование для химико-термической обработки: азотирования, цементации и т.д.
- Закалочное оборудование, масла и среды
- Лабораторные печи, сушильные шкафы
- Оснастка для термического оборудования
- Размерная и поверхностная обработка: формообразование, напыление
- Автоматизация термообработки, системы управления, контроль качества, теплотехнические измерения
- Энергосберегающие технологии термических производств



ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ И ОГНЕУПОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ - Специальный раздел в рамках выставки

- Магнезиальные
- Корундовые
- Циркониевые
- Кремнезёмистые
- Корундографитовые
- Окисные
- Алюмосиликатные
- Карбидкремниевые
- Бескислородные

Информационная поддержка:



Организатор:

ООО «Выставочная компания «Мир-Экспо» | Россия, 115533, Москва, проспект Андропова, 22
Тел./факс: 8 499 618 05 65, 8 499 618 36 83 | info@htexporus.ru | www.htexporus.ru