



ческие характеристики системы управления тока сварки, что особенно целесообразно для микросварки.

1. *Расчет электромагнитных элементов источников вторичного электропитания* / А. Н. Горский, Ю. С. Русин, Н. Р. Иванов и др. — М.: Радио и связь, 1988. — 176 с.
2. *Рыськова З. А., Федотов П. Д., Жимерева В. И.* Трансформаторы для электрической контактной сварки. — Л.: Энергоатомиздат, 1990. — 424 с.
3. *Пат. 2047444 РФ, МПК7 В23К111/24.* Установка для контактной сварки / Б. А. Будилов, В. В. Глазов, А. И. Комарчев и др. — Заявл. 07.02.1994; опубл. 10.11.1995.
4. *Глебов Л. В., Пескарев Н. А., Файгенбаум Д. С.* Расчет и конструирование машин для контактной сварки. — Л.: Энергоатомиздат, 1981. — 424 с.

A particular welding machine powered from the increased frequency electric mains was considered. It was investigated how increase in the operating frequency, compared to the commercial frequency, affected capacity of the machine transformer core. It is shown that increase in the frequency does not lead to decrease in dimensions and weight of the transformer, and that powering of medium- and high-capacity AC resistance machines from increased-frequency inverters is inexpedient.

Поступила в редакцию 24.11.2009



ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛА «WELDING JOURNAL» (май, июнь 2009)

СВАРКА — ОСНОВА АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ *S. McCracken et al. (май)*

В 2016–2017 гг. в США планируется ввести в строй более 30 новых атомных реакторов. Основной причиной повышенного интереса к атомной энергетике является наличие обнадёживающих данных о безопасности и безотказности работы существующего парка атомных электростанций (АЭС), насчитывающего 104 единицы.

Анализ эксплуатации АЭС показывает, что гарантией безопасности и безотказности их работы является качество сварных швов ответственных систем, конструкций и узлов. В большинстве случаев отказы, вызванные разрушениями материалов, происходят по сварному шву или вблизи него. В связи с этим одним из основных условий достижения срока эксплуатации АЭС порядка 60 лет и более, а также минимизации вероятности возникновения отказов и необходимости выполнения дорогостоящих ремонтно-восстановительных работ является разработка более совершенных способов сварки и технологических инструкций по сварке и монтажу сварных конструкций.

Институт исследований в области электроэнергетики (Electric Power Research Institute — EPRI) в качестве независимой и некоммерческой организации совместно с изготовителями сварочного оборудования, инструмента и сварочных приспособлений занимается разработкой руко-

водящих материалов и нормативов по передовым методам организации сварочных работ при строительстве новых АЭС.

Ключевыми моментами разрабатываемых EPRI проектов является оценка различных процессов сварки и технологии изготовления сварных конструкций, использованных при строительстве и эксплуатации АЭС, и разработка типовых процессов, учитывающих основные факторы, которые влияют на предрасположенность наиболее уязвимых сварных швов к деградации свойств соединяемых металлов.

В задачи EPRI входит разработка руководящих материалов по сооружению новых, более совершенных конструкций атомных реакторов, а также технологических инструкций по вопросам сварки всех основных узлов каждой АЭС отдельно. Без существенных изменений в основном останутся условия эксплуатации новых реакторов и набор материалов, но, вероятно, более или менее существенным изменениям подвергнутся процессы подготовки материалов под сварку и сами процессы сварки с целью повышения надежности и увеличения срока службы систем водной защиты реактора. В частности, будут использоваться несколько недавно разработанных методов снижения остаточных напряжений, возникающих в сварных соединениях.



СВАРКА СТАЛЬНЫХ ТРУБ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

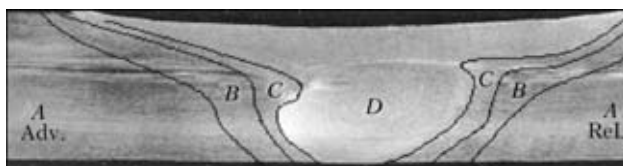
J. Defalco and R. Steel (май)

Отличительной особенностью процесса сварки трением с перемешиванием (Friction Stir Welding), запатентованного в 1991 г. Британским институтом сварки, является нагрев и перемешивание соединяемых металлов вращающимся инструментом с последующим его перемещением вдоль линии контакта. Рабочая часть инструмента выполнена в виде конического пуансона с фланцем большего диаметра, который удерживает инструмент на поверхности сварного шва и обеспечивает как фрикционный нагрев, так и давление проковки. Сварка происходит без расхода сварочных материалов, при отсутствии плавления соединяемых материалов в результате совместного воздействия нагрева и усилия проковки.

Вначале область использования этого процесса сварки из-за низкой термостойкости материала инструмента была ограничена материалами с низкой температурой плавления (алюминий, латунь, медь). Однако в настоящее время разработаны технологии изготовления новых материалов на основе поликристаллического кубического нитрида бора, вольфрамниевых сплавов и керамики, которые позволяют производить сварку высокопрочных легированных сталей и других металлов с высокой температурой плавления.

Разработано и портативное оборудование для сварки трением с перемешиванием стыков труб в полевых условиях. Это новшество с системой водяного охлаждения инструмента, телеметрической системой его пространственного расположения, механизмом орбитального перемещения сварочной головки и выдвигной опорной штангой, размещаемой внутри трубы и системой сжатия торцов труб позволяет сваривать в автоматическом режиме неповоротные стыки труб диаметром 305 мм с толщиной стенки 13 мм. В настоящее время разрабатывается процесс сварки трением с перемешиванием высокопрочных сталей толщиной до 25 мм, что является достаточно сложной задачей и для ее решения традиционными способами сварки. Как известно, самой капиталоемкой статьёй затрат в общей стоимости сооружения трубопровода является сварка труб в полевых условиях. В связи с этим замена существующих механизированных или автоматизированных процессов дуговой сварки в защитной атмосфере способом сварки трением с перемешиванием позволит получить существенную экономию и затрат, и времени.

По сравнению с традиционными процессами сварки плавлением сварка трением с перемешиванием характеризуется снижением расхода энергии; намного меньшими значениями сварочных деформаций и коробления изделий; от-



сутствием дефектов типа трещин, пор, окисления металла шва и пр.; более высокой производительностью процесса соединения; возможностью соединения разнородных материалов и композитов; позволяет полностью автоматизировать процесс сварки и, следовательно, обеспечивать ее высокое качество независимо от квалификации оператора.

На приведенных иллюстрациях представлен наконечник с центральным пуансоном диаметром 6 мм, а также микрошлиф соединения, полученного способом сварки трением с перемешиванием, где зона *A* — основной металл; *B* — зона термического влияния; *C* — зона термомеханического воздействия; *D* — зона перемешивания.

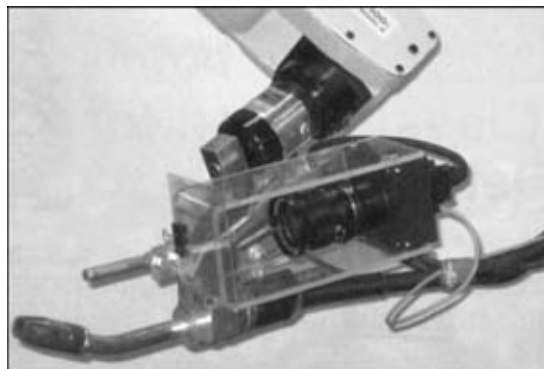
При сварке листовых изделий конечной длины в конце линии сварного шва обычно размещают дополнительную пластину металла, в которую выводят отверстие кратера, остающееся после удаления инструмента из обрабатываемого металла. Таким же образом эта проблема решается и при сварке неповоротных стыков труб путем удаления этих пластин после завершения процесса сварки. Для сварки труб большого диаметра с целью увеличения производительности процесса предполагается разработка планетарного механизма с несколькими сварочными головками.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ УЗЛОВ ДЛЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

J. Noruk, J. Boillot (май)

Начинает оживать после почти 30-летнего зстоя атомная промышленность США. Новое поколение АЭС должно быть создано на основе последних достижений технологии сварки и автоматизированного оборудования с микропроцессорным управлением.

В настоящее время изготовление строительных конструкций типа резервуаров высокого давления, трубопроводов, трубных досок, насосов, трубопроводной арматуры и других изделий требует совершенно иного подхода, чем в прошлом. Это особенно важно в области сварочного производства. Тридцать лет назад более 95% сварочных работ выполнялось вручную или с частичной механизацией процесса под контролем достаточно квалифицированного оператора. В настоящее время оцифрование всевозможных датчиков, узлов





перемещения, сварочного оборудования, «цифровых видеокамер» и других модулей, имеющих в продаже, позволяет достичь самого высокого уровня микропроцессорной корректировки режима и параметров сварочной системы.

Краткая иллюстрация уровня автоматизации, используемого в настоящее время при дуговых сварочных процессах представлена на рисунке, где показаны примеры мобильной автоматизации, представляющие шарнирные и линейно перемещаемые сварочные роботы, а также машины особого назначения с линейно перемещаемой траверсой для перемещения сварочной головки с поперечными колебаниями сварочного инструмента или с планетарным механизмом привода сварочной головки.

В различных отраслях промышленности уже используют оборудование с микропроцессорными блоками, которое функционирует по заранее составленной программе, или в котором циклограмма процесса и отдельные параметры процесса сварки задаются вручную перед выполнением конкретной задачи. Такого рода оборудование может быть приспособлено и для процессов сварки на объектах атомной энергетики. Одним из условий дальнейшего роста производительности сварочных процессов с сохранением высокого качества сварных соединений является непрерывное повышение уровня автоматизации сварочных процессов.

До настоящего времени существовал разрыв между разработкой технологии сварки в лабораторных условиях при заданных условиях и технологией сварки на строительной площадке, где постоянно изменяются начальные условия

(отклонения от нормы свойств или параметров свариваемых металлов, сварочного зазора, человеческий фактор и других отклонений). Преодолеть этот разрыв можно только путем разработки сварочных систем с требуемым уровнем «самообучающегося интеллекта», обеспечивающего автоматическую подстройку параметров под изменяющиеся условия.

Автоматизация при изготовлении узлов АЭС обычно не достигала строительных площадок и ограничивалась цехами завода, где большинство «автоматических» устройств представляло собой обычные сварочные тракторы, не приспособленные для оснащения их блоками программирования, различными датчиками, что резко ограничивало их полезность и приводило к росту себестоимости сварочных работ.

При сварке толстостенных труб или сосудов под давлением, выполняемой в узкий зазор способом дуговой сварки под флюсом, возникает необходимость подачи присадочной проволоки в корень сварного шва с достаточно высокой точностью. Эта задача решается с помощью системы автоматической коррекции в реальном времени положения сварочной головки на основе информации об отклонениях присадочной проволоки по вертикали от корня шва, непрерывно регистрируемых лазерным лучом.

Таким образом, в дополнение к системам лазерного слежения концепция разработки оборудования нового поколения состоит в комплектации сварочного оборудования достаточным количеством разнообразных датчиков, обеспечивающих превосходство интеллекта сварочной системы перед интеллектом самого квалифицированного сварщика.

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШАЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРУБ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

N. Peterson (май)

Одной из основных проблем производства сварных труб для строительных конструкций является неравномерность поступления заказов, что вызывает необходимость в периодическом найме на работу и обучении дополнительно сварщиков различной квалификации и с различным стилем сварки.

Переход на процесс сварки корневого шва процессом с короткими замыканиями (short circuit process) и на процесс заполнения разделки шва и формирования усиления шва методом мелкокапельного переноса металла (spray transfer process) позволяет удвоить выпуск продукции при сокращении в два раза штата сварщиков, времени на их обучение и на устранение дефектов сварки, снижает затраты на приобретение электродных материалов, защитного газа и других расходных материалов.

Благодаря компьютеризированной установке для отрезки труб необходима работа лишь одного оператора в течение нескольких часов вместо трех рабочих, ранее занятых на этой операции в течение восьми часов. Для обеспечения высокого качества сварных швов была использована более тщательная подготовка свариваемых деталей к процессу сварки, включающая дробеструйную обработку и более точное выполнение геометрии разделки сварного шва.

Однако самым радикальным новшеством, использованным фирмой «Bel Aige» (одной из лучших в штате Аризона), оказалась замена существующего оборудования для выполнения ручной и полуавтоматической сварки в защитном газе оборудованием, оснащенным системой управляемого плавления присадочного металла (Regulated metal deposition (RMD)), системой оптимизации процесса сварки корневого шва и системой ProPulse™, предназначенной для оптимизации процесса заполнения сварочного зазора и усиления сварного шва.

Система RMD обеспечивает спокойное плавление металла, что позволяет сварщику исключить варианты неполного



проплавления по всей толщине свариваемого металла. Система ProPulse™ обеспечивает поддержание оптимального значения сварочного тока и напряжения в зависимости от типа и диаметра присадочной проволоки, скорости подачи проволоки и состава газовой защиты.

Внедрение этих систем оптимизации параметров процесса сварки позволяет обучить за 3...4 ч даже сварщика низкой квалификации уверенно достигать высокого качества сварки.

**ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ МРАМОРА НА СВОЙСТВА НАПЛАВОЧНОГО ЭЛЕКТРОДА D600R***B. Chen et al. (май)*

Несмотря на сообщения об использовании наноматериалов в покрытиях электродов, этот вопрос, к сожалению, до сих пор не систематизирован.

С целью предполагаемого улучшения параметров процесса наплавки вместо микропорошка мрамора, обычно используемого в материалах покрытия электродов D600R для дуговой наплавки износостойких покрытий или наплавки в атмосфере защитных газов, в данной работе использовали смеси в различном соотношении мрамора в виде микропорошка и мрамора в виде нанопорошка.

Идея данного исследования основана на предположении о том, что наночастицы мрамора могут существенно повысить не только интенсивность химических реакций в среде жидкого флюса, но и эффективность свойств защитных покрытий электрода. В эксперименте использовали электроды из стали H08A с добавками: C < 0,1%; Mn 0,3...0,55%; Si < 0,03%; Cr < 0,2%; Ni < 0,3%; S и P < 0,03%.

Состав покрытия электродов D600R включал, мас. %: 31 мрамора; 36 флюорита; 3 ферромарганца углеродистого; 14 феррохрома углеродистого; 2 ферромolibдена; 1,5 железокремниевых редкоземельных добавок; 10 ферротитана; 1,5 углекислого натрия; 0,5 графита и 1 оксидов редкоземельных металлов.

Для измерения тока сварочной дуги, напряжения и параметров короткого замыкания дуги на различных режимах процесса наплавки использовали стандартный анализатор электрических параметров.

Результаты проведенных исследований твердости и износостойкости наплавленного металла показывают, что более мелкая фракция мрамора, используемая в составе покрытия электрода, снижает напряжение короткого замыкания, значение тока короткого замыкания и сокращает интервалы времени короткого замыкания.

Установлено также снижение температуры плавления и сужение интервала плавления материала покрытия при увеличении процента содержания в нем наночастиц мрамора, однако кривая снижения температуры плавления имеет экстремум при 1063 °C.

Кроме того, установлено снижение содержания диффузионного водорода в наплавленном металле с возрастанием содержания доли наночастиц мрамора в покрытии электрода.

Существенное повышение стабильности дуги повышает сварочные характеристики электрода. Наличие наночастиц мрамора в материале покрытия электрода в пределах 20...25 % повышает эффективность наплавки, твердость и износостойкость покрытия.

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ НА СВАРИВАЕМОСТЬ АЛЮМИНИЯ 7180*M. G. Mousavi et al. (май)*

Переходные металлы (скандий, марганец, железо, кобальт и никель), присутствующие в алюминии и его сплавах (например, в сплаве 7180) в виде примесей, даже в микродозах обычно образуют эвтектики, которые затвердевают при очень высокой температуре (1400 °C для сплава алюминий — кобальт, 1165 °C для сплава алюминий — железо). Образование эвтектик на ранней стадии затвердевания вблизи вершин дендритов имеет как положительное, так и отрицательное влияние. Наличие высокотемпературных эвтектических включений вероятнее всего затрудняет поступление расплава металла в пространство между дендритами, способствуя, таким образом, формированию пор и зародышей микротрещин.

В дополнение к данному отрицательному влиянию на свариваемость алюминия и его сплавов наличие примесей этих металлов приводит к увеличению размеров зерен, что связано с выделением скрытой теплоты плавления вблизи вершин дендритов. Однако при увеличении количества примесей в противовес этим отрицательным факторам происходит измельчение зерна из-за всеобщего переохлаждения или наличия потенциальных зародышей кристаллов.

Характер воздействия этих различных факторов на свариваемость сплава 7180 зависит от конкретного элемента. Скандий известен как эффективный модификатор (измельчитель) зерна из-за его выделения в виде эвтектических формирований, которые являются зародышами кристаллов. В этом отношении скандий уникален по сравнению со всеми другими переходными металлами.

Добавки железа или марганца также способствуют измельчению зерна, но только при увеличенной дозе легирования и при соответствующей степени переохлаждения. Однако для достижения такого же уровня измельчения металла сварного шва марганца требуется намного больше, что свидетельствует о достаточно низких параметрах его пере-

охлаждения. Добавки железа улучшают свариваемость алюминия, в то время как марганец не обладает этим свойством. Эти различия свойств могут указывать на способность соответствующих эвтектик блокировать подвод жидкой фазы к растущим дендритам, хотя марганец образует меньшее количество эвтектики при том же уровне легирования. Более правдоподобное объяснение может касаться и причин трещинообразования в зоне термического влияния, что проявляется только при легировании алюминия марганцем, с последующим переходом микротрещин в зоне термического влияния в макротрещины в зоне сварного шва.

Кобальт никаким образом не способствует измельчению зерна, хотя он реагирует на степень переохлаждения, как и железо. Добавка кобальта приводит к укрупнению зерен и соответствующему ухудшению свариваемости. Влияние добавок никеля в данной работе не рассматривалось, но, тем не менее, известно, что он наиболее чувствителен к степени переохлаждения и потому перспективен в качестве измельчителя зерна.

Влияние железа на свариваемость алюминия (и сплава 7180) имеет особенно важное значение в результате его естественного присутствия в алюминии в виде примеси. Подмеченная склонность к образованию кристаллизационных трещин наиболее ярко проявляется при содержании железа около 0,2 мас. %, что совпадает с уровнем этой примеси у наиболее широко применяемых сплавов. Контроль содержания железа в сплавах достаточно сложен, причем ограничению его на нижнем уровне препятствуют экономические факторы, а его повышенное содержание приводит к снижению ударной вязкости и потере коррозионной стойкости. Наиболее удачным вариантом исключения образования высокотемпературных эвтектик типа FeAl₆ может быть контроль содержания кремния из-за связанного с этим содержанием взаимодействия кремния с железом.



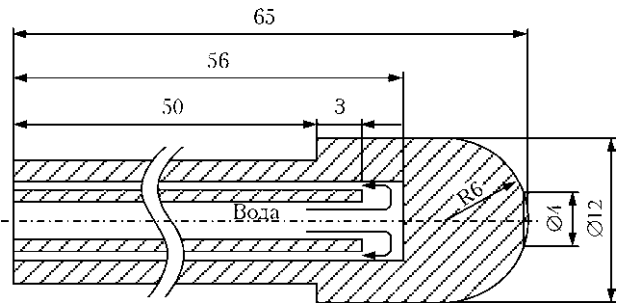
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОДА ПРИ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКЕ

Z. H. Rao et al. (май)

Под действием высокого значения теплового потока от металла сварочной точки в электрод происходит деформация металла электрода, что приводит к необходимости своевременного проведения операции зачистки рабочего торца или его замены. С целью увеличения срока службы наконечника электрода необходимо иметь более углубленное понимание сути термического воздействия на рабочий торец электрода и процесса его охлаждения.

В данной работе проведено математическое моделирование потока охлаждающей воды, ударяющегося в нижнюю часть рабочего торца электрода, моделирование процесса выделения джоулева тепла, а также процесса теплообмена между рабочим торцом электрода и потоком охлаждающей воды.

В результате проведенных исследований установлено, что принятое повсеместно конструктивное исполнение сменного электрода приводит к возникновению застойных зон в струе охлаждающей воды именно вблизи торцевой поверхности внутреннего канала, что может способствовать ухудшению теплоотвода в варианте пленочного кипения воды. На основе полученных данных разработана новая конструкция электрода с коническим выступом на торцевой поверхности внутреннего канала, предназначенным для улучшения теплоотвода. Результаты моделирования показывают, что предложенный конический выступ не только снижает вероятность появления застойных зон в потоке охлаждающей



воды вблизи наиболее теплонагруженной зоны электрода, но и увеличивает площадь охлаждаемой поверхности, что способствует существенному снижению температуры рабочего наконечника электрода. Наличие шероховатостей на поверхности конического выступа предложено для интенсификации процесса формирования пузырьков в потоке воды, что может улучшить теплопередачу между рабочим наконечником электрода и охлаждающей водой при использовании пузырькового кипения. Экспериментальная проверка результатов математического моделирования подтвердила возможность существенного повышения срока службы новой конструкции электрода с внутренним коническим выступом.

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЙ МЕТАЛЛА ПО ВИДУ РАЗБРЫЗГИВАНИЯ

G. Schwab, J. Steele, T. Vincent (июнь)

В работе представлено описание системы фиксации брызг металла и метод определения уровня разбрызгивания металла в процессе сварки. Установлено, что частотность появления фактов разбрызгивания металла является индикатором наличия загрязнений металла, т. е. наличия масляных загрязнений или грунтовочных покрытий значительной толщины. Кроме того, оказалось, что количество брызг определенного диаметра изменяется в соответствии с видом загрязнения.

Целью данных исследований являлось проверка предположения о том, что о наличии загрязнений можно судить по появлению разбрызгивания. После доказательства этого тезиса появилась необходимость в разработке системы классификации загрязнений применительно к практическим нуждам. В данной работе обработку данных видеонаблюдения и выявление разбрызгивания проводили после проведения процесса сварки, но в принципе возможна существенная оптимизация этого процесса, направленная на работу системы в режиме online (в соответствии с темпом поступления информации). Например, возможна разработка алгоритма, предназначенного для идентификации и количественной оценки фактов разбрызгивания, передаваемой непосредственно на вход программируемого микропроцессора. В этом варианте возможно сокращение времени обработки сигналов по амплитуде, что позволяет вести мониторинг процесса в реальном времени.

литуде, что позволяет вести мониторинг процесса в реальном времени.

Более отдаленной целью проведения исследований в этом направлении является разработка качественного мониторинга процесса сварки в реальном времени для процессов автоматической сварки, которые будут в состоянии вовремя выявлять на основании информации визуального видеосопровождения о наличии загрязнений на поверхности свариваемого металла, сигнализировать о возникающих проблемах и при необходимости выключать процесс сварки, снижая вероятность появления брака или полностью исключать его появление, приводящее к значительным затратам на ремонт дефектных мест. Несмотря на то что в данной работе использована довольно дорогая (стоимостью порядка 3000 USD) и крупногабаритная видеосистема, неудобная для встраивания в сварочную головку или размещения вблизи зоны сварки, в перспективе предполагается проведение работ по миниатюризации видеокамеры. Исследования в этом направлении позволят перейти на основе видеонаблюдения и мониторинга сварочных процессов к полностью автоматизированным гибким производственным модулям, которые позволят повысить производительность и качество сварки.

СКЛОННОСТЬ К ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЮ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОТЕРИ ПЛАСТИЧНОСТИ МЕТАЛЛА СВАРНОГО ШВА НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ

Часть 2. Металлографические исследования

N. E. Nissley, J. C. Lippold (июнь)

Ранее (часть 1) было показано, что зарождение трещин и потеря пластичности металла сварного шва на основе системы Ni-Cr-Fe вызвано процессами скольжения по границам зерен в температурном интервале 750...1150 °C.

Часть 2 данного исследования, посвященного вопросам склонности металла к трещинообразованию из-за потери пластичности (DDC — ductility-dip cracking) присадочного металла на основе Ni-Cr-Fe, представляет собой описание



экспериментов, нацеленных на более глубокое понимание механизма DDC. Величина предела прочности (STF — strain-to-fracture) и склонность к DDC существенно меняется даже при минимальных изменениях состава, что находит свое отражение в микроструктуре сварного шва. При проведении исследований влияния микроструктуры на склонность к DDC использовали оптическую металлографию, электронографию методом дифракционного отражения электронов (EBSD — electron backscatter diffraction), термодинамические расчеты, термическую обработку сварных образцов.

Проведенный сравнительный анализ склонности к DDC с результатами термодинамических расчетов позволил более точно представить процесс влияния выпадения карбидов на скольжение по границам зерен и механизм склонности сплава к DDC. Макроскопическое блокирование границ зерен встречается в сплавах, образующих в конечной фазе затвердевания интердендритные карбиды (MeC). Существенное снижение склонности к DDC обнаружено в сплавах с добавками молибдена и ниобия, что приводило к компактному распределению карбидов ажурного типа. Морфология карбидов и их распределение влияет на миграцию границ и приводит к появлению извилистых или скрученных границ зерен, которые механически стопорят процессы скольжения, способствующие образованию трещин. Блокировка границ зерен на микроскопическом уровне встречается в сплавах, образующих интергранулярные карбиды типа $Me_{23}C_6$. Расп-

ределение, морфология, предел прочности и кинетика выделения этих карбидов влияет на их способность ограничивать скольжение по границам зерен.

Термообработка, приводящая к переводу металла в псевдожидкое состояние с последующим выпадением новой фазы улучшает сопротивляемость металла к DDC. Это явление было приписано гомогенизации микроструктуры и выпадению фазы $M_{23}C_6$, в результате чего происходило торможение процесса скольжения по границам зерен.

В одном из образцов присадочного металла (52M) продолговатые интергранулярные карбиды типа $M_{23}C_6$ способствовали процессу активной рекристаллизации во время проведения испытаний на разрушение, что было приписано процессу формирования центров кристаллизации (PSN — particle stimulated nucleation), инициированному этими частицами. Основываясь на результатах этих исследований, становится ясно, что DDC в металле сварного шва на основе Ni-Cr-Fe происходит благодаря процессам скольжения по границам зерен в температурном интервале порядка 750...1150 °C. Выпадение карбидной фазы в конце процесса затвердевания расплава приводит к закреплению мигрирующих границ зерен, что формирует их в скрученном виде, тормозящем процессы скольжения. Более того, выпадение карбидов состава $M_{23}C_6$ в твердом состоянии обеспечивает дополнительное закрепление границ на микроуровне, что еще более повышает торможение процессов DDC.

Материал подготовлен
В. М. Кислицыным, канд. техн. наук

ВНИМАНИЮ СПЕЦИАЛИСТОВ!

16–17 июня 2010 г. в Киеве в ИЭС им. Е. О. Патона состоится украинско-немецкий семинар на тему «Плазменные и электронно-лучевые технологии для защитных покрытий».

Тема семинара соответствует такому приоритетному направлению, как «Новые материалы и производственные технологии», развиваемому федеральным министерством образования и науки Германии в рамках научно-технического сотрудничества с Украиной. Проект запланирован как пилотный и призван поддерживать интернационализацию малых и средних предприятий. Он должен содействовать практической реализации стратегии интернационализации.

Семинар предусматривает обмен информацией по указанной теме специалистов как предприятий, так и научных учреждений. Основной круг участников семинара будет включать ученых и специалистов, производителей и пользователей функциональных изделий с оптимизированными трибологическими свойствами, а также специалистов, работающих в таких секторах производства, как автомобиле-, машиностроение и пр. В рамках семинара будут представлены также стендовые доклады и предоставлена возможность для кооперационных переговоров.

**Контакты: тел./факс: +38 (044) 289 22 02. E-mail: Yu.kon@paton.kiev.ua.
Зам. директора ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ, проф. Константин Андреевич Ющенко**