



численных для множества изображений световых полос в точках, соответствующих кромкам валика усиления сварного шва.

Оценка вероятности соответствия заданной точки кромке валика рассчитывается следующим образом. Сначала для данной точки вычисляются значения признаков $K''(x)$, $\sigma(x)$, $\alpha(x)$. Затем по гистограммам каждого из этих признаков определяются соответствующие значения плотности вероятности. Искомая оценка вычисляется как среднее арифметическое этих плотностей вероятности.

Решение о том, какие точки функции $K(x)$ соответствуют кромкам валика усиления, принимается на основе вычисленных по гистограммам оценок по той же схеме, что и для нейросетевого алгоритма.

При исследовании эффективности алгоритмов распознавания валика усиления сварного шва выполняли экспериментальную проверку алгоритмов на тестовых изображениях сварных швов со световой полосой. В данном исследовании использовали тестовый набор, состоящий из 650 изображений. Обучение нейросетевого алгоритма и вычисление гистограмм для вероятностного алгоритма проводили на наборе, состоящем из 110 изображений. В результате исследований установ-

лено, что с помощью разработанных алгоритмов правильно определены координаты кромок валика усиления сварного шва для 98 % тестовых изображений. Основной причиной ошибок при определении координат являлись относительно большие (по размерам сравнимые с валиком) брызги металла, которые ошибочно принимались за валик усиления шва. При отсутствии больших брызг металла в области световой полосы координаты кромок валика определялись правильно.

Таким образом, на основании полученных результатов экспериментальных исследований можно сделать вывод об эффективности разработанных алгоритмов распознавания валика усиления сварного шва и возможном практическом применении предложенных алгоритмов.

1. *Development and control of an automated robotic weld bead grinding system / D. E. Whitney, A. C. Edsall, A. B. Todtenkopf et al. // J. Dynamic Systems Measurement Control. — 1990. — № 2. — P. 166–176.*
2. *Schilf M., Horber H. Sensoren zum schweissen mit offenem lichtbogen // Schweissen und Schneiden. — 2001. — № 53. — S. 455–458.*
3. *Haug K., Pritschow G. Robust laser-stripe sensor for automated weld-seam-tracking in the shipbuilding industry // Proc. of the 24th Annual conf. of the industrial electronics society. — 1998. — 2. — P. 1236–1241.*
4. *Калан Р. Основные концепции нейронных сетей / Пер. с англ. — М.: Изд. дом «Вильямс», 2003. — 288 с.*

The paper deals with two algorithms of identification of weld bead reinforcement in digital images obtained with an optical triangulation sensor — neuronet and probabilistic. Effectiveness of their application is confirmed experimentally.

Поступила в редакцию 19.02.2009



ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛА «WELDING JOURNAL», 2009, № 2

J.-H. Cho and S.-J. Na (Корея). ТРЕХМЕРНЫЙ АНАЛИЗ РАСПЛАВЛЕННОЙ ВАННЫ ПРИ ГИБРИДНОЙ МАГ-ЛАЗЕРНОЙ СВАРКЕ

В работе предложена имитационная модель для анализа расплавленной ванны при процессе лазерно-дуговой гибридной сварки с использованием коммерческого пакета Флюэ-3Д. Эта модель состоит из трех основных управляющих уравнений неразрывности, количества движения и энергии. Для осуществления слежения за свободной поверхностью ванны принимается метод объема течения. Такие физические явле-

ния дуговой сварки в расплавленной ванне, как электромагнитная сила, поверхностное натяжение и давление дуги применяются в качестве граничных условий или массовой силы жидкости. Дополнительно используется модель отражения Френеля в качестве механизма поглощения энергии для лазерного луча на металлических поверхностях.



Результаты моделирования позволили сделать следующие обобщения:

- 1) из-за течения дна парогазового канала образуется завихрение, которое в основном влияет на формирование верхнего валика;
- 2) в ванне наблюдаются захваченные пузырьки, поскольку неустойчивость парогазового канала начинается с середины высоты по его глубине;
- 3) скорость сварки недостаточно высока для того, чтобы пузырьки остались за парогазовым каналом, т. е., вероятно, захваченный воздух уходит через парогазовый канал;

4) процесс слияния и разделения парогазового канала и углубления под дугой постоянно повторяется каждые 30 мс в боковом сечении при высоте 0,47 мм. Однако эти параметры зависят от режимов сварки, следовательно, остаются постоянными при других режимах;

5) ширина валика в основном определяется источником тепла МАГ, а лазер оказывает существенное влияние на глубину проплавления.

J. U. Park, S. C. Park, C. H. Lee (Корея).

УПРАВЛЕНИЕ ПРОДОЛЬНОЙ ИЗГИБНОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ НАПЛАВЛЕННЫХ БАЛОК С ПОМОЩЬЮ ВЧ-НАГРЕВА

В работе предложен индукционный нагрев как новый метод снижения продольной деформации изгиба, вызванной сваркой угловых швов при изготовлении составных балок. Этот метод позволяет контролировать продольную деформацию изгиба одновременно со сваркой угловых швов, что приводит к улучшению производительности и качества сборки блоков. Описан также механизм продольной деформации изгиба и влияние параметров индукционного нагрева на продольную деформацию изгиба с помощью численного анализа и экспериментальных результатов. Получены следующие результаты.

1. На основании результатов трехмерного термического упругопластического анализа продольная деформация изгиба создается моментом сварки $M_{св}$, который можно получить, умножив силу усадки $P(Q_{св})$ в сварной части на расстояние N_w от нейтральной оси поперечного сечения составной балки до источника сварочного тепла. Кроме того, продольная деформация изгиба увеличивается по мере возрастания величины усадки и расстояния от нейтральной оси до сварочного источника питания.

2. Продольная деформация изгиба, вызываемая изгибающим моментом, возникающим при сварке, может быть

уменьшена за счет создания индукционного момента M_i той же величины, что и изгибающий момент, и ориентации его в направлении, противоположном изгибному моменту. Затем создается индукционный момент M_i путем контроля интенсивности индукционного тепловложения и расстояния N_i от нейтральной оси до индукционного источника тепла.

3. При выполнении экспериментов по изучению влияния интенсивности индукционного тепловложения и его местоположения на продольную деформацию изгиба установлено, что продольная деформация изгиба снижается при повышении температуры индукционного нагрева, а расстояние от нейтральной оси до источника индукционного нагрева увеличивается. Но существует возможность приложения слишком большого индукционного нагрева и фактически получения большей деформации в обратном направлении.

4. При сопоставлении расчетной температуры и места индукционного нагрева, полученных при численном анализе, и экспериментальных результатов на больших конструкциях с Т-образным сечением, был сделан вывод о том, что продольную деформацию изгиба можно контролировать по температуре и месту индукционного нагрева для больших конструкций Т-образного сечения с изменяющимися размерами.

О. М. Akselsen, H. Fostervoll, C. H. Ahlen (Норвегия). ГИПЕРБАРИЧЕСКАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЭЛЕКТРОДОМ В ЗАЩИТНОМ ГАЗЕ ДУПЛЕКСНЫХ СТАЛЕЙ ПРИ 12 и 35 бар

В работе проведена оценка свариваемости дуплексных сталей в гипербарических условиях, подходящих для последующей дистанционной сварки горячим проходом. Результат получен с помощью горизонтальной сварки проволокой Inconel R 625 в V-образную разделку на пластинах из дуплексной стали типа 2205 в камере с давлением 12 и 35 бар. Наибольшая максимальная твердость определена в зоне термического влияния (ЗТВ) корневого валика, где замерены значения HV_{10} в диапазоне от 260 до 280. Результаты показывают несовпадение прочностных свойств металла шва в отношении предела текучести (~460...490 МПа), тогда как предел прочности при растяжении (~740 МПа) находится на том же уровне, что и у основного металла. Ударная вязкость при -30°C была высокой для всех испытанных участков (металл шва, граница сплавления) ЗТВ вблизи границы сплавления, имела значения, значительно более высокие, чем определенные требованиям. Оценена микроструктура металла ЗТВ и металла шва. Хотя швы были практически одинаковыми, оказалось, что шов, выполненный при давлении 35 бар, имеет тонкую зону феррита (0...40 мкм толщиной) в металле ЗТВ вблизи границы сплавления. Микроструктура металла шва состояла из первичных и вторичных дендритных осей, которые затвердевают первыми. Во время этой фазы затвердевания элементы растворенного вещества обогащают жидкий раствор. При пониженной температуре раствори-

мость, вероятно, будет превышена с соответствующим формированием интерметаллидных фаз, а также нитридов/карбидов. В конце раствор металла шва подвергался зондовому микроанализу и демонстрировал большие вариации в химическом составе металла шва разных проходов. Обсуждены результаты с точки зрения коррозии и ударной вязкости.

В работе сделаны следующие выводы:

1) HV_{10} 283 было наивысшим значением твердости, найденным в металле ЗТВ дуплексной стали типа 2205. Все остальные значения были ниже 250. Тем не менее следует отметить, что эти швы подверглись свободной деформации, поскольку элементы жесткости не использовались;

2) оба шва (выполненные при давлении 12 и 35 бар) демонстрировали ситуацию несовпадения прочности, где предел текучести металла шва меньше, чем у основного металла (518 МПа). Пределы текучести составляли 491 и 468 МПа для давления 12 и 35 бар соответственно с соответствующим пределом прочности при растяжении 739 и 735 МПа. Предел прочности при растяжении аналогичен основному металлу;

3) ударная вязкость (-30°C) для всех участков сварного соединения оказалась высокой (> 100 Дж);

4) необходимо обратить внимание на большую долю объема феррита (около 100 %) в узкой (до 40 мкм) на границе сплавления шва, хотя наличие этого факта не очевидно, пос-



кольку все значения вязкости были очень высокими, включая границу сплавления;

5) в микроструктуре металла шва обнаружено затверждение дендрита с первичными и вторичными осями дендрита, а также междендритными областями с обогащением их элементами, в основном ниобия и молибдена. Снижение растворимости этих веществ при охлаждении привело к образованию интерметаллидных фаз.

6) растворение металла шва привело к большим локальным вариациям его химического состава. Количественное влияние этих вариаций в химическом составе не может быть оценено исходя из данного исследования, но более низкий уровень твердости должен был удовлетворить требования, установленные для кислой (или, как минимум, среднекислой) среды.

D. Woodforl (США). ОБНАРУЖЕНИЕ ТРЕЩИН В РЕАЛЬНОМ РЕЖИМЕ ВРЕМЕНИ В АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЯХ

При создании реактивных двигателей и другого высокоскоростного оборудования необходима проверка работоспособности и эксплуатационной долговечности высокоскоростных вращающихся компонентов. Фундаментальной методикой оценки роторов турбинного двигателя является эмпирическая проверка и подтверждение количества циклов, которые роторы могут выдержать, до заранее заданного числа или полной поломки. Такой тип проверки, как правило, относят к испытанию с малоцикловой усталостью (МЦУ).

Во время стандартного испытания с МЦУ количество циклов на компонент ротора двигателя увеличивали и уменьшали на установке быстрого вращения для того, чтобы подтвердить заданное число циклов. Традиционно эти испытания с МЦУ заканчиваются либо успешно лили полной поломкой ротора, обусловленной появлением усталостных трещин в детали. Это часто приводит к потере компонента и может вызвать повреждение технологической оснастки и других устройств испытательного оборудования.

При обнаружении трещин в роторах до их поломки имеет место значительная экономия средств и предотвращение поломок испытуемых роторов, а также оборудования для испытания. Время можно сэкономить посредством сокращения периодических проверок, прерываний и предотвратить его потерю, связанную с заменой поврежденных компонентов и оборудования. Система может также предоставить данные анализа зарождения и распространения трещины, что дает покупателям возможность определить расположение, режим и причину возникновения трещины. Можно расширить базу данных об усталостной долговечности вращающихся роторов и других критических в применении компонентов. Систему можно использовать с различным оборудованием, включая роторы реактивных двигателей, турбокомпрессоров, ракетных насосов, электродвигателей, роторы газовой турбины и роторы компрессора.

НОВАЯ КНИГА

Сидлин З. А. Производство электродов для ручной дуговой сварки. — Киев: Екотехнологія, 2009. — 464 с.

В книге детально описаны все стадии технологического процесса производства металлических покрытых электродов для ручной дуговой сварки, применяемые материалы и оборудование. Даны теоретические основы процессов, протекающих как при изготовлении, так и при применении электродов. Особое внимание уделено вопросам обеспечения качества продукции.

Книга содержит следующие разделы: история электродного производства; покрытые электроды для сварки и наплавки; основные процессы, протекающие при ручной дуговой сварке; материалы для производства электродов; переработка материалов электродных покрытий; разварка силикатной глыбы и приготовление растворов жидких стекол; приготовление сухой шихты; приготовление обмазочной массы; нанесение покрытия на стержни; термообработка электродов; сортировка и упаковка электродов; управление качеством в электродном производстве; безопасность и охрана труда в электродном производстве.

Книга предназначена для инженерно-технического персонала, мастеров и рабочих электродных производств, может быть использована для индивидуальной подготовки рабочих на производстве для повышения их квалификации.

