

## **ПРОГРЕССИВНЫЕ СПОСОБЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ НЕГАТИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ НАПЛАВКИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ**

*Е.Г. Григорьева, ассистент кафедры АИ, Д.А. Чинахов, к.т.н., доцент  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, Ленинградская, 26, тел. 8(38451)6-26-83  
E-mail: sedasch@mail.ru*

В настоящее время одними из наиболее перспективных для использования в машиностроительном производстве являются высокопрочные и износостойкие стали. В нашей стране к высокопрочным относятся легированные стали, временное сопротивление которых, после закалки и отпуска, более 1600 Мпа, что достигается подбором химического состава и наиболее подходящей термической обработкой [1]. Несмотря на высокие эксплуатационные свойства высокопрочных сталей, возникает необходимость восстанавливать детали, изготовленные из данных сталей. Наплавка изношенных поверхностей занимает ведущее место из-за своей универсальности [2]. Высокопрочные стали в сравнении с обычными низкоуглеродистыми и низколегированными требуют специфического подхода к процессу наплавки. Для сталей данного класса характерной особенностью является образование закалочных структур в шве и зоне термического влияния, создающих опасность хрупкого разрушения.

Необходимо также учитывать, что легированные высокопрочные стали (Н18К9М5Т, 30ХГСА, 25ХГСА, 12Х2НЧА и др.) чувствительны к концентраторам напряжений, особенно после обычной закалки и отпуска, а также подвержены охрупчиванию в результате насыщения водородом, что при высоких внутренних напряжениях или циклической нагрузке может служить причиной зарождения холодных трещин.

Данные свойства высокопрочных сталей оказывают негативное влияние и на восстановительные работы наплавкой. Поэтому актуален вопрос разработки эффективного способа восстановления деталей изготовленных из высокопрочных сталей.

Для предупреждения холодного растрескивания современные технологии сварки предполагают применение предварительного и сопутствующего подогрева. Это энерго- и трудоемкие, а также дорогостоящие операции, выполнение которых требует высокой технологической культуры производства. Однако они далеко не всегда обеспечивают отсутствие трещин в сварных соединениях. Кроме того, из-за высокой температуры изделий, вызванной подогревом, резко ухудшаются условия труда сварщиков. Поэтому в настоящее время изготовление конструкций, без предварительного подогрева является одной из основных проблем дуговой сварки и наплавки [9].

Ученые [9] считают, что существенно понизить восприимчивость сварного соединения к холодному растрескиванию позволяет введение в металл шва ловушек водорода. Известно, что ловушками водорода в стали являются различные структурные дефекты, такие, как вакансии, растворенные атомы, дислокации, границы зерен и фаз, микро- и макропоры, неметаллические включения, частицы второй фазы и т. п.

Значительное улучшение стойкости против разрушения вызывает введение в металл шва добавок редкоземельных элементов. Предполагается, что эти элементы сорбируют водород, освобождая от него матрицу металла. Аналогичное полезное действие оказывают другие внутренние ловушки, в частности, мелкодисперсные равномерно распределенные в структуре стали частицы неметаллических включений — сульфидов и оксидов.

Ловушкой водорода может быть также остаточный аустенит. Растворимость водорода в аустените во много раз превышает таковую в феррите и мартенсите, поэтому аустенит является местом стока для водорода. Присутствуя в остаточном аустените, водород не оказывает вредного влияния на процесс растрескивания. Однако сталь, содержащая остаточный аустенит, в течение всего срока службы сварного соединения содержит постоянно потенциальный источник водорода

Одним из наиболее современных способов наплавки, является создание коллективом ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ в содружестве с рядом промышленных предприятий под руководством академика Б. Е. Патона электрошлаковой наплавки. Электрошлаковый процесс наплавки, как и процесс сварки, основан на эффекте выделения теплоты при прохождении электрического тока через расплав шлака, состоящий из окислов, галоидов и их смесей.

ЭШН обладает рядом преимуществ, такими как исключение предварительного и сопутствующего нагрева, повышенное качество наплавленного металла, возможность получения наплавленного

металла с композиционной структурой, возможность наплавки сплавов с переменным химическим составом и т.д.

Данные преимущества характеризуют процессы ЭШН как прогрессивные технологические решения, обеспечивающие при высокой производительности превосходное качество наплавленного металла.

Основными недостатками метода являются: большая погонная энергия процесса, что обуславливает перегрев основного металла в ЗТВ, сложность и уникальность оборудования, невозможность получения слоев малой толщины (кроме способа ЭШН лентами), большая длительность подготовительных операций.

Авторы работ [3] предлагают усовершенствовать технологии наплавки для снижения вероятности образования трещин. Наплавленный слой, созданный по традиционной технологии последовательной укладкой валиков по винтовой траектории с постоянным перекрытием, обладает существенной неоднородностью свойств в различных направлениях. Так, стойкость металла против износа и трещин вдоль шва и поперек него существенно отличаются. При наплавке рабочего слоя в виде слоистой композиции, в которой смежные слои выполняются материалами с различными модулями упругости, обеспечивается необходимое соотношение пластических и прочностных свойств. При наличии градиента механических свойств на границе смежных слоев разрушение композиции ведет к резкому увеличению радиуса вершины трещины, что препятствует ее дальнейшему развитию.

В качестве препятствий на пути развития трещин могут также служить участки наплавленного металла, ориентированные таким образом, чтобы направлению вероятного роста трещины соответствовало направление максимальной сопротивляемости его образованию трещин. С этой целью рабочую поверхность необходимо наплавлять швами непрямолинейной формы (дугообразными, зигзагообразными). В этом случае на пути развития трещин периодически будут встречаться участки с высокой стойкостью против их развития (поперечные участки шва).

Одним из путей сдерживания процессов зарождения и развития трещин является получение наплавленной поверхности кольцевыми швами с предварительным формированием дискретных наплавленных участков в виде точек или поперечных коротких валиков на пути будущей траектории наплавки непрерывного кольцевого шва.

Для реализации усовершенствованной технологии наплавки гетерогенных слоев необходимо изготовление дорогостоящего оборудования для поперечного перемещения электрода. Что является сдерживающим фактором, ограничивающим широкое применение данного способа.

Авторы [4] предлагают для качественного ремонта крупногабаритных деталей и узлов пользоваться гетерогенным присадочным металлом и специальной техникой наложения швов (валиков). В качестве специальной техники наплавки ремонтного шва обычно применяется обратно-ступенчатый способ или, например, «горкой». Существует и ряд других способов, в том числе с использованием модулированных режимов работы механизированного оборудования, использование импульсной подачи электродной проволоки, другие виды импульсно-дуговых процессов. Для наплавки рекомендуют использовать разработанные в ИЭС имени Е. О. Патона самозащитные порошковые наплавочные электродные проволоки типов ПП-АН 198 и ПП-АН 202, позволяющие наплавлять металл с высокими механическими показателями.

Следует отметить, что в последнее десятилетие все с большим успехом при наплавке используются полуавтоматы с импульсной подачей электродной порошковой проволоки, в частности, при сложных ремонтах уникальной техники созданием особых типов наплавленных поверхностей с регулируемым смешиванием основного и присадочного металла и весьма существенной экономией электроэнергии и электродных материалов [5].

Для реализации усовершенствованной технологии необходимо изготовление дорогостоящей самозащитной проволоки и высокая квалификация персонала выполняющего наплавочные работы. Так же для рассмотренных технологий необходимо применение оборудования (полуавтоматов) соответствующего специфическим требованиям. Все это является сдерживающим фактором, ограничивающим широкое применение данного способа.

В настоящее время, наиболее распространённым способом восстановления, является, наплавка в среде защитных газов. Она отличается простотой процесса в сочетании с высокой производительностью, маневренностью и универсальностью. Важным недостатком данного способа в отношении высокопрочных сталей, является необходимость предварительного подогрева детали и последующей термической обработки, для предотвращения закалки и образования холодных трещин. Эти операции усложняют техпроцесс и ведут к дополнительным энергетическим и трудовым затратам.

Стоит отметить, что учеными [6-8] были проведены экспериментальные исследования сварочных процессов с традиционным (одноструйным) и с разработанным двухструйным способом газовой защиты зоны сварки. Применение двухструйной газовой защиты обеспечивает по сравнению с традиционной надежную защиту сварочной ванны, измельчение структуры металла сварного шва, плавный переход от металла шва к основному, повышение механических свойств сварных соединений, уменьшает химическую неоднородность металла шва за счет более интенсивного газодинамического перемешивания расплавленного металла в сварочной ванне.

Способ сварки легированных сталей с двухструйной газовой защитой в  $\text{CO}_2$  обеспечивает высокие механические свойства сварных соединений без предварительного подогрева и последующей термообработки и является ресурсо- и энергосберегающим [7].

Сварка и наплавка являются родственными процессами, стоит предположить, что данный способ сварки можно успешно применять и для нанесения наплавленного слоя. Геометрия наплавляемого валика с применением двухструйного сварочного сопла имеет более плоскую форму, что является благоприятным фактором для применения его при наплавке.

Применение флюса или защитных газов при дуговой наплавке связано с определенными технологическими трудностями. Использование порошковой проволоки или ленты с необходимым составом сердечника позволяет отказаться от флюса и защитных газов.

В состав сердечников электродных материалов кроме порошков легирующих компонентов вводят газо- и шлакообразующие вещества, которые защищают жидкий металл от воздействия атмосферы и повышают стабильность процесса наплавки.

В тоже время износостойкая наплавка быстро изнашиваемых деталей порошковыми самозащитными электродными проволоками по ГОСТ 26101-84 позволяет достаточно быстро ликвидировать дефицит быстро изнашиваемых дорогостоящих элементов тяжелого оборудования. Для качественного ремонта крупногабаритных деталей и узлов в большинстве случаев необходимо пользоваться гетерогенным присадочным металлом и специальной техникой наложения швов (валиков). Правильный выбор гетерогенной присадки и соответствующей техники наплавки позволяют в большинстве случаев отказаться от проведения затратной операции внешнего нагрева.

Из выше изложенного установлено, что для получения качественного наплавленного слоя на детали из высокопрочных сталей целесообразно выполнять следующие технологические рекомендации:

- применять порошковые проволоки, соответствующие требованиям предъявляемым к восстановленным поверхностям;
- применять двухструйную газовую защиту.

В дальнейшем планируется провести подробные исследования процесса наплавки высокопрочной стали с применением порошковой проволоки и двухструйной газовой защиты.

Поиск оптимального состава флюса порошковой проволоки является трудоемким процессом, требующим проведения достаточно большого количества экспериментальных исследований. Математическое моделирование, в этом случае, является одним из наиболее эффективных средств планирования и прогнозирования свойств наплавленного слоя. Правильное планирование эксперимента с элементами математического моделирования поможет максимально полно изучить структуру и свойства наплавляемого валика.

#### Литература.

1. Баранчиков В.И. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов, Справочник. – М.: Машиностроение, 1990-400 с.
2. Справочник сварщика. Под ред. В.В. Степанова.-М.:Машиностроение, 1983.-560с.
3. Чигарев В.В. Повышение работоспособности деталей и инструмента наплавкой гетерогенного слоя / В. В. Чигарев, В. П. Иванов, И. С. Псарева // Захист металургійних машин від поломок: зб. наук. пр. / ПДТУ. - Маріуполь, 2003. - Вип. 7. - С. 234-237.
4. Мозок В. М., Лебедев В.А. Новые возможности ремонтов деталей тяжелой техники импульсно-дуговой сваркой и наплавкой вне ремзаводов // Металлообработка. 2009. №4.С. 16–19.
5. Lebedev V. A., Maksimov S. Yu. Reduction in power consumption and weld quality control in welding using a controllable pulsed feed of electrode wire / International Congress on Advances in Welding Science and Technology for Construction, Energy and ansportation Systems (AWST-2011).24–25 October 2011. Antalya, Turkey. 371–373 p.18 ISSN

6. Федько В.Т., Киянов С.С., Шматченко В.С., Сапажков С.Б. Применение двухструйных сопловых устройств для сварки в среде защитных газов // Автоматизация и современные технологии. 2003. №3. С.12-18.
7. Чинахов Д.А. Влияние режимов сварки плавлением на структуру и свойства соединений из легированных сталей: монография/Д.А. Чинахов. Юргинский технологический институт.-Томск: Изд-во ТПУ, 2010.-114с.
8. 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.
9. Походня И.К., Явдошин И.Р. и др. Металлургия дуговой сварки. Взаимодействие металла с газами / НАН Украины; Институт электросварки им. Е.О.Патона / Игорь Константинович Походня (ред.). — К. : Наукова думка, 2004. — 442с.