

УДК 621.762

## ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

А. И. ХАБИБУЛЛИН, Ф. Г. ЛОВШЕНКО

Государственное учреждение высшего профессионального образования  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Могилев, Беларусь

Одной из актуальных задач современного сварочного производства является создание сварочных материалов, обеспечивающих максимальную производительность и экономичность процесса сварки при требуемой надежности и долговечности конструкции. В промышленности при производстве сварных конструкций широко используют низкоуглеродистые низколегированные стали. Суммарное содержание легирующих элементов в этих сталях не превышает 4,0 % (не считая углерода), а углерода 0,25 %. Рассматриваемые стали обладают хорошей свариваемостью. Технология их сварки должна обеспечивать определенный комплекс требований, основными из которых являются равнопрочность сварного соединения с основным металлом и отсутствие дефектов в сварном шве. Для этого механические свойства металла шва и околошовной зоны должны быть не ниже нижнего предела механических свойств основного металла. Сварное соединение должно быть стойким против перехода в хрупкое состояние.

Механические свойства металла шва и сварного соединения зависят от его структуры, которая определяется химическим составом, режимом сварки и предыдущей и последующей термической обработкой. Наплавленный металл имеет столбчатое (дендритное) крупнозернистое строение, характерное для литой стали. Химический состав металла шва зависит от доли участия основного и электродного металлов в образовании шва и взаимодействий между металлом, шлаком и газовой фазой. При сварке рассматриваемых сталей состав металла шва незначительно отличается от состава основного металла. В металле шва меньше углерода для предупреждения образования структур закалочного характера при повышенных скоростях охлаждения. Возможное снижение прочности металла шва, вызванное уменьшением содержания углерода, компенсируется легированием металла через проволоку, покрытие или флюс марганцем и кремнием. При сварке низколегированных сталей необходимое количество легирующих элементов в металле шва обеспечивается также и путем их перехода из основного металла.

Повышенные скорости охлаждения металла шва способствуют увеличению его прочности, однако, при этом снижаются пластические свойства и ударная вязкость. Это объясняется изменением количества и строения перлитной фазы. Изменение свойств металла шва и околошовной зоны при сварке низколегированных сталей проявляется более значительно,

чем у низкоуглеродистых. Зона сплавления (неполного расплавления) обычно является наиболее слабым местом сварного соединения, характеризующимся пониженной прочностью и пластичностью из-за значительного роста зерен. Поэтому характер участка сплавления имеет большое значение для свойств и работоспособности сварного соединения.

Термическая обработка низколегированных сталей с целью повышения их прочности при сохранении высокой пластичности, усложняет технологию их сварки. Для устранения этого явления применяют электродные материалы с карбонитридным упрочнением. Легирование низкоуглеродистых марганцовистых сталей (0,015–0,025 % N, 0,10–0,20 % V, около 0,1 % Ti, а также ~0,05 % Al) создает предпосылки для выделения дисперсных включений карбонитридов ванадия, титана или нитридов алюминия. Дисперсные включения способствуют измельчению (до № 9–11) действительного зерна стали и тормозят движение дислокаций. В совокупности эти факторы благоприятно влияют на прочность, вязкость и хладостойкость.

Доля собственно карбонитридного (дисперсионного) упрочнения составляет около 15–25 %, а доля упрочнения от измельчения зерна 30–40 %. Максимальная ударная вязкость при отрицательных температурах достигается в стали с 0,10–0,15 % V. Обычно используют совместное легирование несколькими карбидо- и нитридообразующими элементами, например 0,08V + 0,03Nb, а в сталях, содержащих азот, 0,10 V + 0,04 % Al. С учетом этого положения разработаны основные марки стали с карбонитридным упрочнением трех категорий прочности: 14Г2АФ, 16Г2АФ, 18Г2АФ. Легирование алюминием позволяет снижать размер зерна в горячекатаных, нормализованных и улучшенных сталях.

Кроме механизма дисперсионного упрочнения, можно повысить механические свойства шва реализацией механизма дисперсного упрочнения за счет образования термодинамически стабильных дисперсных частиц оксидов или нитридов, образующихся в процессе механического легирования порошковой композиции, являющейся составной частью покрытия электродов. Однако в этом случае снижаются пластические характеристики металла шва.

Разработана технология получения наноразмерных термодинамически стабильных частиц тугоплавких химических соединений и равномерного их распределения в покрытии электродов в качестве модификаторов первого рода, что позволяет значительно измельчить зерно и повысить все механические свойства.