

УДК 621.791.011

Вицин Д.Ю., аспирант, Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета.

Галиакбаров А.Т., кандидат технических наук, доцент, Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета.

Исрафилов И.Х., доктор технических наук, профессор, Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Аннотация: В статье рассматриваются некоторые технологические особенности сварки высокоуглеродистых сталей. Основным фактором, затрудняющим сварку, является высокое содержание углерода. Рассмотрены особенности образования горячих и холодных трещин в сварном соединении. Автор проводит краткий анализ факторов, влияющих на образование трещин. Данные факторы накладывают определенные требования при сварке высокоуглеродистых сталей.

Ключевые слова: Сварка, высокоуглеродистые стали, холодные трещины, структура шва, зона термического влияния, горячие трещины, температурный интервал хрупкости.

Повышение ресурса работы и надежности машин и агрегатов является одним из основных вопросов в развитии и повышении конкурентоспособности выпускаемой продукции на отечественном рынке. Исходя из практического опыта машиностроения, одними из наилучших материалов, работающих в условиях постоянного и интенсивного износа, являются высокоуглеродистые стали. В то же время, если деталь или конструкция из высокоуглеродистой стали изготавливается с помощью сварки, или ее ремонт требует применения сварки, то возникают проблемы формирования качественного сварного соединения, так как данные марки сталей обладают плохой свариваемостью.

Углеродистые стали подразделяют на среднеуглеродистые ($C = 0,26...0,6\%$) и высокоуглеродистые ($C > 0,6\%$). [1] С повышением содержания углерода (более 0,3%) повышается чувствительность стали к перегреву и

закаливаемости, а также увеличивается вредное влияние серы и фосфора, что значительно снижает ее свариваемость.

Для сталей этого класса характерна большая вероятность образования закалочных структур в шве и зоне термического влияния, склонных к хрупким разрушениям, возможность возникновения горячих и холодных трещин в сварном соединении и пор в металле шва [2].

Основной причиной образования холодных трещин в сварных соединениях является неблагоприятное развитие физико-химических процессов в структуре сварного шва в зоне термического влияния [3]. Для структуры сварных соединений важной характеристикой является размер аустенитного зерна, распределение химических элементов в металле шва и в зоне термического влияния, а также фазовый состав шва и его свойства.

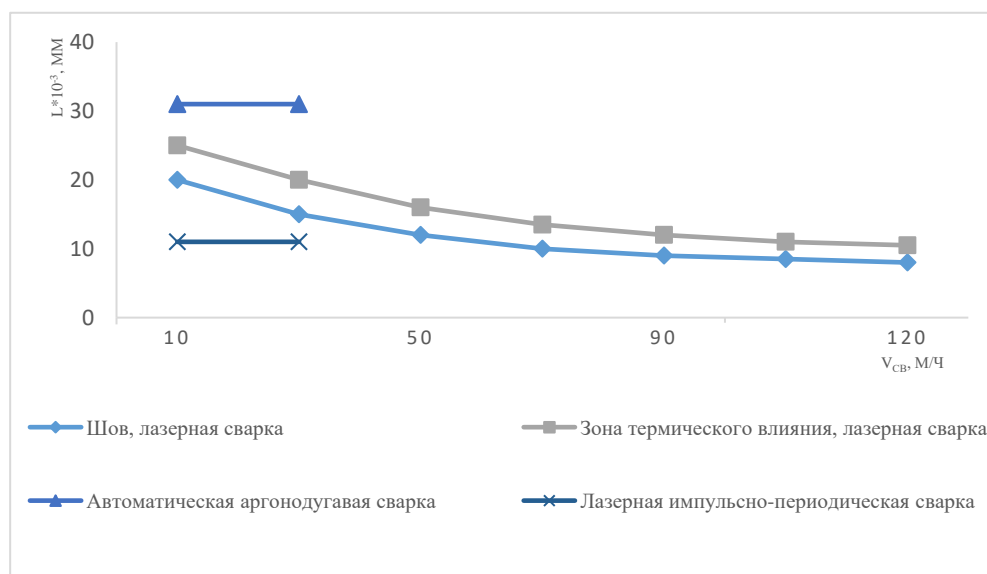


Рис. 1 Зависимость размера действительного аустенитного зерна от скорости и метода сварки. [1]

Размер аустенитного зерна и его форма поверхности в большей степени определяют свойства полученных сварных соединений. С уменьшением размера зерна пластичность и сопротивляемость сталей образованию холодных трещин повышаются.

Решающим фактором снижения механических свойств сварных соединений и стойкости к образованию холодных трещин является неоднородность состава металла шва. Основной причиной образования

данной неоднородности является различная растворимость примесей в твердой и жидкой фазах, образующихся при сварке. В процессе кристаллизации сварных швов высокоуглеродистых сталей, мартенситная структура образуется при использовании большинства видов сварки плавлением. В книге Григорьянца А.Г. «Технологические процессы лазерной обработки», приведен график (рис.1) зависимости размера действительного аустенитного зерна от скорости и метода сварки, из которого можно сделать вывод, что окончательная структура формируется в результате фазовых превращений, а ее состав определяется тепловым воздействием источника нагрева на металл, скоростью и методом сварки.

Свойства сварных соединений в существенной степени зависят от газов, присутствующих в металле. Наличие кислорода, азота или их соединений в стали может вызывать охрупчивание структуры сварных швов. Наиболее сильное влияние оказывает водород. Водород, находящийся в металле шва в атомарном состоянии, может скапливаться в микропустотах, переходить в молекулярное состояние и вызывать повышение давления, что способствует развитию трещин [1]. При охлаждении стали после сварки ниже $+200^{\circ}\text{C}$ из твердого раствора начинает выделяться водород, что вызывает возникновение внутренних напряжений и надрывов, приводящих к образованию холодных трещин. В большей степени на последующее содержание водорода в сварном шве влияет качество и состав защитного газа. Для снижения содержания водорода в сварном соединении существенную роль играет применяемый способ сварки.

В процессе охлаждения, после сварки интенсивно развиваются упругопластические деформации. Склонность к горячим трещинам сварных швов высокоуглеродистых сталей определяется химическим составом металла шва, от которого зависит межкристаллитная прочность и пластичность в опасном температурном интервале хрупкости(ТИХ); значением и скоростью нарастания растягивающих напряжений и

соответственно деформацией в ТИХ; размером первичных кристаллов, а также формой сварочной ванны [1].

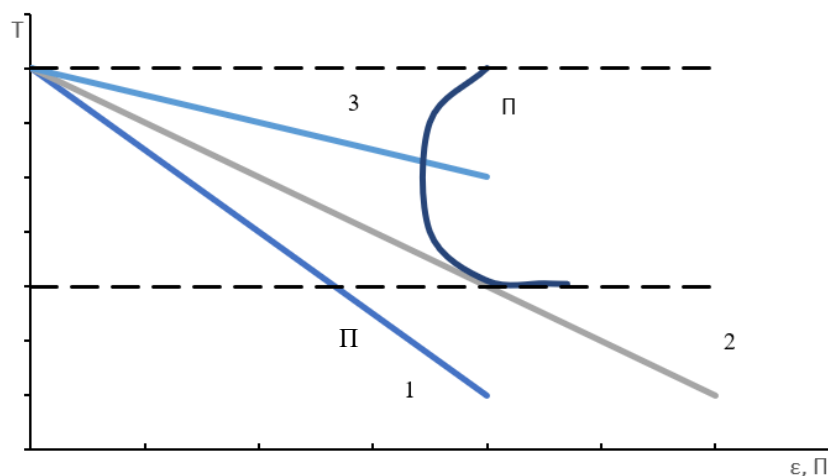


Рис. 2 Схема механизма образования горячих трещин. [1]

Механизм образования горячих трещин приведен в виде графика (рис.2) в книге Григорьянца А.Г. «Технологические процессы лазерной обработки». Его можно описать как изменение пластичности металла Π в зависимости от температуры в процессе кристаллизации металла, расплавленного при сварке. Если в процессе охлаждения сварного соединения величина упругопластических деформаций ϵ будет выше уровня пластичности металла Π , тем самым показав, что последний исчерпан, то в сварном соединении образовалась горячая трещина.

Вероятность образования горячих трещин зависит от нескольких факторов, проведя анализ которых, можно заранее оценить запас технологической прочности металла. Прямыми линиями на рис.2 изображены различные темпы деформаций, прямая 1 не пересекается с кривой пластичности, что указывает на превосходящую деформационную способность металла над деформациями, возникающими в процессе, поэтому трещин не возникает. С возрастанием темпа деформации прямая 3 пересекается с кривой пластичности, это указывает, что пластичность исчерпана и появились горячие трещины. Прямая 2, проведенная по

касательной к кривой пластичности, показывает критические значения темпа деформации.

При заданном значении темпа деформации, вероятность образования трещин имеет обратно пропорциональную зависимость от пластичности металла (рис.3). При высоком уровне пластичности металла (кривая 3) трещины не образуются. Кривая 2 представляет критический случай: при больших значениях пластичности трещины отсутствуют, а при меньших возникают. Кривая 1, в свою очередь, пересекает прямую величины упругопластических деформаций, что указывает на вероятность образования трещин.

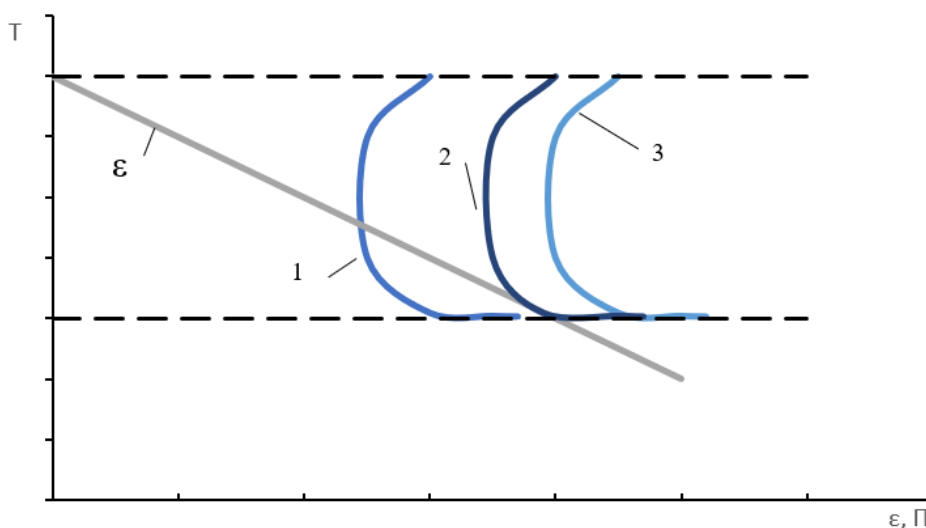


Рис. 3 Изменение пластичности металла.

Пунктирными линиями на рис.2 и 3 показан температурный интервал хрупкости. Так как величина пластичности металла изменяется в пределах ТИХ, можно описать влияние ТИХ на вероятность образования горячих трещин. В общем случае, при прочих равных условиях возрастание температурного интервала хрупкости увеличивает вероятность образования трещин.

Опыт изготовления сварных деталей и конструкций из высокоуглеродистой стали показывает, что для предупреждения развития рассмотренных выше дефектов, помогает:

- изменение конструкций и технологии изготовления сварных соединений, например технологическая прочность сварного соединения деталей из высокоуглеродистой стали увеличивается при использовании принудительного охлаждения газовой-аэрозольной смесью [4];
- образование защитной среды, для исключения влияния газов в атмосфере;
- добавление легирующих элементов, например повышенное содержание марганца в легирующих элементах обеспечивает структуру стабильного аустенита после закалки;
- для исключения образования закалочных структур в зоне термического влияния используют предварительный подогрев свариваемых деталей, а также послесварочную обработку (отпуск) сварных соединений, усложняющие технологию изготовления[2];
- для повышения качества сварного шва применяют комбинированные методы сварки, такие как гибридная лазерно-плазменная сварка, так как предварительный плазменный нагрев увеличивает эффективность воздействия лазерного излучения[5,6].

Поэтому правильный выбор источника сварки облегчает оптимизацию режимов сварки и решение вопросов свариваемости.

Список использованных источников

1. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. Пособие для вузов/ Под ред. Григорьянца. – М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2006. - 664с.
2. Калинин Ю.А., Быков М.Н. Ефременко В.Г. Обработка сварных соединений высокоуглеродистых сталей // Актуальные научные исследования в современном мире. -2019. №6 (50) ч.6 -С. 22-25.

3. Костылева Л.В., Грибенченко А.В., Морозов В.П. Улучшение качества сварного соединения при ремонте деталей сельхозмашин из стали с повышенным содержанием углерода // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. -2014. №3(35). – С. 184-189.
4. Горяинов Д. С., Балакиров С. Н., Гусев А. А. Исследование процесса лазерной сварки стали У10А // Известия Самарского научного центра РАН. - 2016. - №4-2. - С.231-236.
5. Габдрахманов А.Т., Галиакбаров А.Т., Исрафилов И.Х., Габдрахманов А.Т. Исследование комбинированного лазерно- плазменного воздействия на материалы // МНТК «ИМТОМ-2016». Ч.1. –Казань, 2016. –С. 35-38.
6. Gabdrakhmanov A.T., Galiakbarov A.T., Shafigullin L.N., Gabdrakhmanova T.F. Research of a laser welding of thin-sheet construction steels by continuous laser radiation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering V.570 – 2019. – P. 12-19.

Vitsin D.U. postgraduate student, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University

Galiakbarov A.T. PhD, assistant professor, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University

Israfilov I. H., Doctor of Sciences (Tech.), professor, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University

TECHNOLOGICAL FEATURES OF WELDING OF HIGH-CARBON STEELS

Abstract: The article deals with some technological features of welding of high-carbon steels. The main factor complicating welding is high carbon content. Peculiarities of hot and cold cracks formation in the welded joint are considered. The author briefly analyses the factors influencing the formation of cracks. These factors impose certain requirements when welding high carbon steels.

Key words: Welding, high-carbon steels, cold cracks, weld structure, heat affected zone, hot cracks, temperature interval of brittleness.