

УДК 621.791.754.5

М 25

В.А. Мартыненко, ассист. каф. свар. производства

Национальный университет кораблестроения, г. Николаев

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ БЕЗ РАСПЛАВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ДУГОЙ С НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

Исследованы особенности горения дуги с угольным и вольфрамовым электродами при поверхностном упрочнении, а также структурные процессы, происходящие в поверхностном слое конструкционных сталей при обработке поверхности. Рассмотрены методы повышения производительности обработки и разработаны методики расчета параметров при закалке плоских и цилиндрических поверхностей.

Виконано дослідження особливості горіння дуги з вугільним і вольфрамовим електродами при поверхневому зміцненні, а також структурні процеси, що відбуваються в поверхневому шарі конструкційних сталей під час обробки поверхні. Розглянуто методи підвищення продуктивності обробки та розроблено методики розрахунку параметрів при загартуванні плоских і циліндричних поверхонь.

The researches of arc burning with carbon and tungsten electrodes at surface hardening have made. It has considered the methods of processing capacity increasing. It has researched the structural processes which take place in surface layer of structural steels at surface processing. It has elaborated the methods of parameter analysis at hardening of plane and cylindrical surfaces.

Постановка проблемы. Повышение работоспособности деталей машин и конструкций – основополагающая тенденция научно-технического прогресса. Украина, как страна, идущая по пути развития экономики, крайне заинтересована в широком использовании эффективных ресурсосберегающих технологий.

В условиях абразивного изнашивания деталей повышение их работоспособности достигается нанесением на поверхность специальных износостойких покрытий или созданием поверхностных слоев с заданными свойствами. Одним из простых способов повышения износостойкости является поверхностная закалка рабочих поверхностей деталей машин путем нагрева токами высокой частоты с последующим быстрым охлаждением. Для закалки поверхностных слоев низколегированных низкоуглеродистых сталей целесообразно использовать локальные источники нагрева, наиболее простой и недорогой из

которых – дуга с неплавящимся электродом (плазменная струя, дуга с вольфрамовым и угольным электродами) [1–4]. Эффективность таких источников для поверхностного упрочнения сталей подтверждается мировой практикой и представляет научный и практический интерес.

Цель статьи – разработка основных принципов поверхностного упрочнения сталей с низколегированной и низкоуглеродистой структурой при нагреве дугой с неплавящимся электродом на основании проведенных исследований влияния нагрева, с дополнительным внешним магнитным полем и без него, на геометрические размеры зоны нагрева и структурные превращения.

Изложение основного материала. В качестве локального источника нагрева для исследований поверхностного упрочнения была выбрана дуга с неплавящимся электродом (вольфрамовым и угольным).

При исследовании влияния силы сварочного тока дуги с угольным электродом на геометрические характеристики прогрева стальной пластины было установлено, что в диапазоне тока 60...150 А глубина прогрева изменяется от 0,8 до 2,5 мм, а ширина – от 3,0 до 5,2 мм. При обратной полярности дуга неустойчива и максимальная длина ее 12 мм, при прямой полярности – устойчива и длина составляет 8 мм. При прямой полярности дуги длиной 4 мм не происходит науглероживание расплавленного нагретого металла. Металлографические исследования прогретых пластин показали, что металл шва после прогрева дугой на переменном токе насыщен углеродом. При нанесении на поверхность пластины K_2CO_3 снижается напряжение на дуге и незначительно повышается ток, увеличивается стабильность горения дуги. Добавка K_2CO_3 при переменном токе не оказывает существенного влияния на геометрические характеристики [1].

Исследования особенности нагрева поверхности дугой с вольфрамовым электродом показали, что при увеличении длины дуги от 5 до 16 мм ширина b зоны упрочнения увеличивается от 2,8 до 4 мм, глубина h – соответственно от 0,23 до 0,35 мм. При этом напряжение на дуге возрастает от 16 до 25 В (рис. 1, а).

Из сравнения результатов исследования дуги с угольным и с вольфрамовым электродами следует, что оба локальных источника нагрева можно использовать для поверхностной обработки. Применение этих способов обеспечивает необходимые скорости охлаждения поверхности металла. Качество поверхности обрабатываемых деталей выше в случае использования дуги с вольфрамовым электродом, но дуга с угольным электродом более простая и недорогая в эксплуатации.

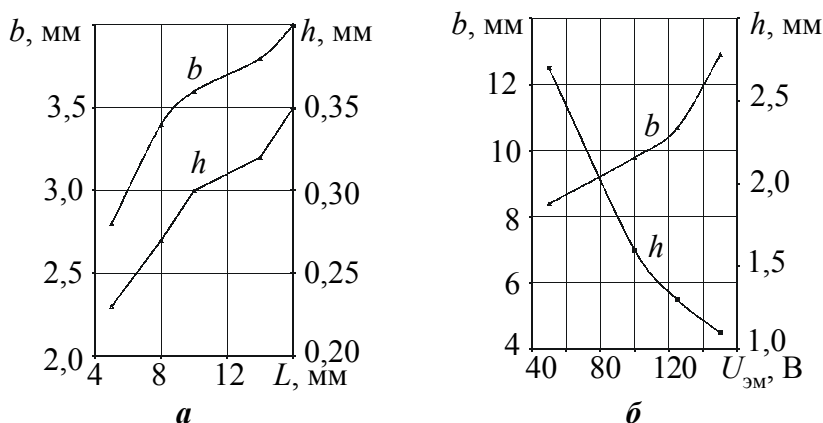


Рис. 1. Зависимость b и h упрочненной зоны:

a – от длины дуги L ; $б$ – от напряжении на обмотке электромагнита $U_{эм}$

Полученные данные об особенностях нагрева дугой с неплавящимся электродом были использованы при поверхностном упрочнении конструкционных сталей 45, 40Х, 18ХГТ, 30ХГСА и Ст3. После прогрева поверхностные слои образцов приобретают мартенситную и мартенситно-бейнитную структуру со значительной неоднородностью по углероду. Из-за короткого времени пребывания в аустенитном состоянии углерод не успевает продиффундировать в центры бывших ферритных зерен. Исследование распределения твердости в закаленных поверхностных слоях показало, что глубина закаленного слоя достигает 0,4...0,8 мм, а зона термического влияния (ЗТВ) – 1,0...1,2 мм. Наиболее высокая твердость поверхностного слоя – около 500 HV – наблюдается у стали 40Х. У стали 30ХГСА слой с твердостью 450 HV имеет глубину 0,8 мм. Твердость поверхностного слоя стали 18ХГТ – свыше 400 HV, твердость металла Ст3 после прогрева на расстоянии от поверхности 0,35 мм – 230 HV. Для низкоуглеродистых сталей поверхностное упрочнение не обеспечивает полное мартенситное превращение слоев, прогретых выше температуры $A_{с3}$ [2].

Для увеличения площади зоны упрочнения поверхности дугой с неплавящимся электродом наряду с изменением длины дуги целесообразно применить сканирование дуги магнитным полем. В данном случае исследования проводились на примере угольной дуги. Как показали результаты, применение сканирования дуги позволяет повысить величину b зоны упрочнения до 13 мм в зависимости от напряжения на сканирующем устройстве, но в то же время значение h уменьшается от 1,6 до 0,6 мм (рис. 1,б) [3, 4].

Из приведенных исследований упрочнения конструкционных ста-

лей видно, что для сталей с низким содержанием углерода и легирующим элементом (например, Ст3 и 09Г2) не подходят режимы обработки, выбранные для конструкционных сталей. В связи с этим потребовались дополнительные исследования критических условий закаливаемости поверхностных слоев.

Для изучения диффузионных процессов и структурных превращений использовалась сталь 10 с малым количеством перлита, средний размер зерен которого составлял около 0,01 мм. Прогрев дугой с угольным электродом на погонной энергии 500 Дж/см обеспечивает режимы охлаждения, когда аустенит низкоуглеродистых низколегированных сталей претерпевает мартенситное превращение.

В прогретом дугой с угольным электродом металле наблюдается сложная структура. В исходной структуре, состоящей из феррита и перлита, аустенит, сформированный при быстром нагреве, может оказаться неоднородным по составу, поэтому в участках, обедненных углеродом, даже при быстром охлаждении аустенита возможно выделение структурно-свободного доэвтектоидного феррита, который (в больших количествах) снижает твердость закаленной стали. Дальнейшее повышение твердости упрочненной зоны может быть достигнуто предварительной обработкой поверхностных слоев для равномерного распределения углерода в аустените при окончательном нагреве стали дугой с неплавящимся электродом.

Для оценки влияния состояния исходной ферритно-перлитной структуры на распределение углерода в аустените высокотемпературных участков при заданных условиях однократного прогрева разработана математическая модель. При этом исходили из предположения, что зерна перлита имеют сферическую форму и распределены равномерно по объему металла. Весь объем делится на элементарные кубики с размером ребра A , и каждому кубику принадлежит одно зерно перлита, расположенное в центре. Для заданной ферритно-перлитной структуры в принятой модели определяется расстояние от границы перлитного зерна до вершины куба. Для сталей с ферритно-перлитной структурой, содержащей 0,1 и 0,2 % С, была рассчитана длина пути диффузии L_d , где средний диаметр перлитного зерна определялся его баллом или номером по ГОСТ 5639–65.

Из данных расчета следует, что значительного упрочнения поверхности низкоуглеродистой стали с ферритно-перлитной структурой при прогреве без расплавления дугой с угольным электродом можно достичь только для мелкозернистых сталей. При содержании углерода

около 0,2 % это эффективно для стали с баллом зерна № 7 и более. С понижением содержания углерода критическая длина пути диффузии увеличивается и ее поверхностное упрочнение может быть достигнуто лишь для сверхмелкозернистых сталей. Для получения высокой твердости поверхностного слоя таких сталей нужно выбирать стали со сверхмелкой исходной структурой феррита и перлита или же провести дополнительную подготовку поверхностных слоев крупнозернистой стали, обеспечивающей более равномерное распределение по объему углеродосодержащих фаз. Достичь такого распределения углерода в объеме стали можно дополнительными прогревами без расплавления поверхности. При этом режим охлаждения должен подавить перлитное превращение аустенита. Количество прогревов для данной стали определяется экспериментально [1].

Проверка приведенных положений осуществлялась путем повторных прогревов поверхности стали Ст3 (рис. 2) дугой с угольным электродом при погонной энергии 500 Дж/см. Однократный прогрев поверхности этой стали приводит к повышению твердости на глубине 0,2 мм до 270 HV (рис. 2,б). При двукратном нагреве твердость поверхностного слоя на глубине 0,2 мм составляет до 380 HV (рис. 2,в).

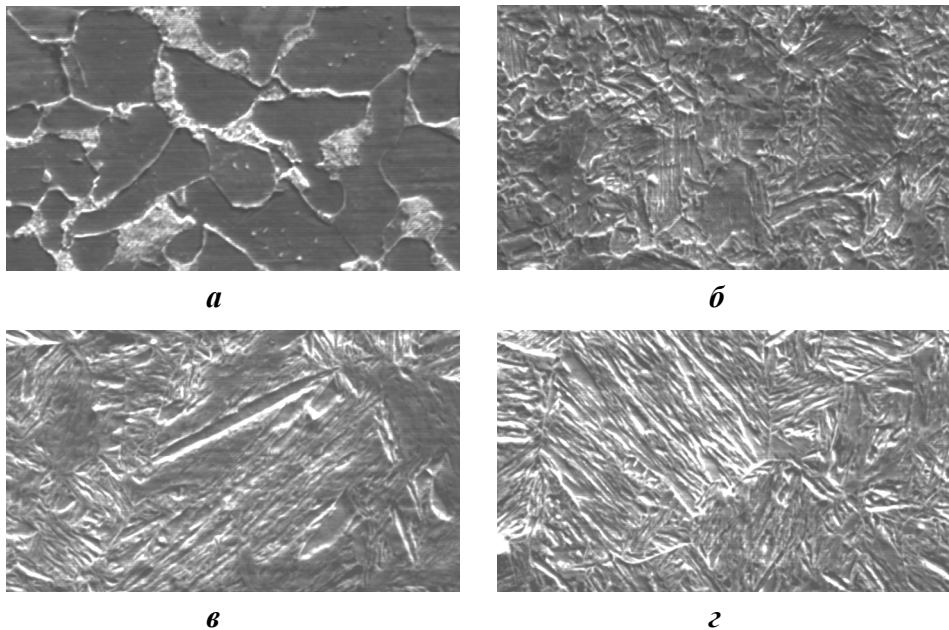


Рис. 2. Микроструктура поверхностного слоя стали Ст3; х330:

а – основной металл; *б* – однократный прогрев; *в* – двукратный;
г – трехкратный

Кроме мартенсита и бейнита, структура содержит некоторое количество зерен феррита. Трехкратный прогрев обеспечивает образование преимущественно мартенситной структуры в поверхностном слое и дает повышение твердости на глубине 0,3 мм до 400 HV, а на глубине 0,6 мм – до 360 HV (рис. 2,з).

Для реализации результатов исследований необходимо рассмотреть процессы, происходящие при обработке плоских и цилиндрических поверхностей. Для получения сплошного упрочненного поверхностного слоя при прогреве без расплавления дугой с неплавящимся электродом для плоских деталей необходимо поочередное прогревание отдельными полосами с перекрытием. При этом возникает ряд проблем. В частности, при перекрытии полос поочередным прогревом возникает зона разупрочнения (рис. 3).

Это видно из исследований, проведенных при формировании упрочненного поверхностного слоя последовательными полосами прогрева с их перекрытием на стали 45. На макрошлифе образца четко выделяется упрочненный слой толщиной около 0,6 мм и твердостью 550...580 HV с чередующимися темными и светлыми полосами. Светлые полосы состоят из мартенсита, а темные пред-

ставляют собой мартенсит отпуска с минимальным значением 350 HV на промежутке в 1 мм. Измерение твердости по ширине упрочненного слоя производилось в направлении, перпендикулярном направлению полос прогрева. Расстояние между максимумами твердости составляет около 6 мм. Участок с твердостью ниже 450 HV равен величине выбранного шага упрочнения 3 мм. Равномерного распределения твердости в поперечном сечении относительно полос прогрева можно достичь увеличением шага прогрева или ширины прогреваемых полос [3].

При обработке поверхности с магнитным сканированием угольной дуги был получен образец с шириной зоны разупрочнения 2 мм и минимальной твердостью 400 HV. Расстояние между максимумами твердости составляет около 2,5 мм. Участок с твердостью ниже 450 HV меньше 1 мм (рис. 4).

Применение магнитного сканирования дуги позволяет увеличить твердость в зоне перекрытия упрочняемых полос и уменьшить количество проходов.



Рис. 3. Схема упрочнения плоской поверхности при поочередном прогреве отдельными полосами с перекрытием

Все описанные особенности упрочнения плоских поверхностей могут быть использованы и для цилиндрических. Отличие может быть

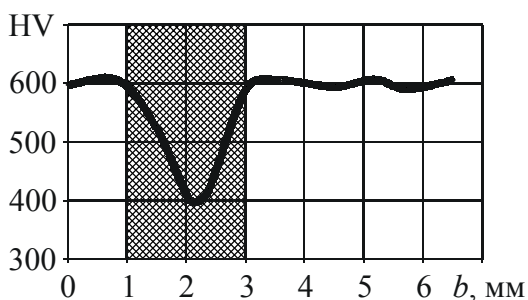


Рис. 4. Изменение твердости упрочненного слоя пластины дугой с неплавящимся электродом с магнитным сканированием

лишь для деталей диаметром до 20 мм. При поверхностной закалке цилиндрических деталей непрерывным нагреванием дугой по винтовой линии происходит постоянное повышение температуры, что замедляет режим охлаждения. Для обеспечения равномерной закаливаемости поверхностного слоя необходим анализ влияния автоподогрева.

Разработанная методика расчета изменения температур при нагревании точечным сосредоточенным источником цилиндрических деталей по винтовой линии дает возможность рассчитать изменение температуры в любой точке цилиндра в процессе нагревания с использованием номограмм функции выравнивания теплоты в тонком круглом цилиндре. В некоторых случаях необходимо принудительное охлаждение детали. Для стальных валов диаметром до 50 мм из-за сравнительно высокой теплопроводности низкоуглеродистых сталей можно пренебречь различием температур от автоподогрева в центре и на поверхности детали на некотором удалении от местоположения источника.

Выводы. 1. Для поверхностного упрочнения целесообразно использовать наиболее простой локальный источник нагрева — дугу с неплавящимся электродом. 2. При прогреве без расплавления поверхностных слоев стали дугой с угольным электродом погонная энергия нагрева не должна превышать 500 Дж/см. 3. Высокой твердости поверхностных слоев можно достичь дополнительными прогревами поверхности. 4. Сканирование магнитным полем дугового разряда неплавящимся электродом позволяет увеличить ширину зоны упрочнения в 2 раза. 5. При обработке сканируемой дугой плоской поверхности зона разупрочнения имеет меньший размер и более высокую твердость.

Список использованной литературы. 1. Лебедев Ю.М., Мартыненко В.А. Особенности нагрева стали дугой с угольным электродом // Зб. наук. праць НУК. — Миколаїв: НУК, 2007. — № 5 (416). — С. 61–67. 2. Лебедев Ю.М., Мартыненко В.А. Особенности поверхностного упрочнения цилиндрических деталей из углеродистых и низколегированных сталей нагревом дугой

с неплавящимся электродом // Вторая междунар. конф. "Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах": Сб. трудов / Под ред. В.И. Махненко. – К.: ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины, 2004. – С. 151–156. 3. Лебедев Ю.М., Мартыненко В.А., Yu Zhishui. Использование неплавящегося вольфрамового электрода в среде аргона для поверхностного упрочнения конструкционных сталей // 3б. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2007. – № 4 (415). – С. 58–64. 4. Лебедев Ю.М., Мартыненко В.А. Технологические особенности поверхностного упрочнения сталей дугой с неплавящимся электродом, сканируемой магнитным полем // 3б. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2006. – № 4 (409). – С. 96–104.

Поступила в редколлегию 14.09.07

УДК 621.791

Е 72

Г.В. Ермолаев, доц., канд. техн. наук;

Фам Ван Туан, инженер

Национальный университет кораблестроения, г. Николаев

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ПРОГРЕВА НА УГЛОВЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ СВАРКЕ

С применением метода компьютерного моделирования установлено влияние ширины и глубины прогрева при сварке на угловые деформации. Показано, что оптимальными с точки зрения минимальных угловых деформаций являются относительная глубина прогрева h/s до 0,3 и свыше 0,8 и постановка усилия прижатия (жесткого закрепления) на расстоянии 3...6 толщин от оси шва.

Із застосуванням методу комп'ютерного моделювання встановлений вплив ширини й глибини прогріву при зварюванні на кутові деформації. Показано, що оптимальними з погляду мінімальних кутових деформацій є відносна глибина прогріву h/s до 0,3 і понад 0,8 і постановка зусилля притиснення (твердого закріплення) на відстані 3...6 товщини від осі шва.

With application of a method of computer modeling influence of width and depth of heating is established by welding on angular deformations. It is shown, that optimum from the point of view of the minimal angular deformations are relative depth of heating h/s up to 0,3 and more than 0,8 and setting of effort of pressing on distance of 3...6 thickness from an axis of a seam.