

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ISBN 978-985-468-405-5. Механика. Научные исследования
и учебно-методические разработки. Вып. 2. Гомель, 2008

УДК 681.7:068

А. И. ВЕРЕМЕЙЧИК, М. И. САЗОНОВ, В. М. ХВИСЕВИЧ
Брестский государственный технический университет, Брест

ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ОДИН ИЗ ОСНОВНЫХ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЙ

Проведены исследования поверхностной плазменной закалки стали H17N2 высококонцентрированной плазменной струей. Рассмотрено влияние основных параметров процесса упрочнения (скорости движения плазматрона, тока дуги, расхода защитного газа и др.) на свойства поверхностного слоя. Изучена микроструктура стали при различных режимах закалки. Исследована микротвердость упрочненного слоя металла по глубине при различных параметрах упрочнения.

Многие детали машин и механизмов, используемые в пищевой промышленности, в силу специфичности условий работы, изготавливаются из дорогостоящих хромистых (нержавеющих) сталей. В этой связи проблема повышения эксплуатационных свойств деталей является весьма актуальной. Среди известных методов упрочнения эффективно используются высококонцентрированные источники нагрева, такие как лазерный и электронный лучи, сжатая плазменная струя. Исследования и практика их применения показали, что плазменный метод поверхностного упрочнения может эффективно применяться наряду с лазерным и электронно-лучевыми источниками и в то же время он более универсален и недорог. В результате скоростного нагрева и охлаждения металла при воздействии высококонцентрированного источника нагрева в поверхностном слое происходят фазовые и структурные превращения, т.е. осуществляется поверхностная плазменная закалка (ППЗ) изделия.

Процесс упрочнения хромистых высоколегированных сталей затруднен в связи с наличием легирующих добавок.

Исследовался процесс ППЗ хромистой стали H17N2, которая широко используется в пищевой промышленности, с целью повышения долговечности деталей.

Материал и методика исследований. Процесс ППЗ стали H17N2 осуществляли на созданной плазменной установке с плазмотроном мощностью $2,5 \cdot 10^7 - 6,0 \cdot 10^7$ Вт/м². В качестве плазмообразующего газа использовали аргон, а защитного – азот.

Исследования проводили на образцах из стали H17N2 (состав в процентах: 0,18 С; 0,2 Мn; 1,0 Si; 0,04 Р; 0,03 S; 1,7 Cr; 2,2 Ni; 0,1 Cu; 0,32 Mo; 0,1 W; 0,1 V; 0,03 Ti).

Температура плавления $T_{\text{п}} = 1505$ °С. Текстура стали слоистая, ориентированная в направлении прокатки (рисунок 1).



Рисунок 1 – Микроструктура стали H17N2, X270

Плазменную обработку осуществляли, варьируя основные параметры процесса: скорость движения источника $v = 11...17$ мм/с, ток дуги $I = 22...28$ А, расход защитного газа (азот) $Q_N = 1,2...3,6$ л/мин (эти диапазоны установлены из эксперимента, когда наблюдался эффект упрочнения).

Травление шлифов проводилось в растворе Адлера. Для изучения микростроения металла в зоне воздействия плазменной струи применяли металлографический метод, используя приборную систему НЕОРНОТ-21. Микротвердость по глубине зоны плазменной струи определяли по Виккерсу при нагрузке 0,981 Н ($HV_{0,1}$). Фазовый состав металла анализировали с помощью дифрактометра Philips PW1830. Для определения шероховатости поверхности применяли приборный комплекс Mistral 070705. Испытание упрочненных образцов на износ проводили на специальной машине трения.

Для оптимизации процесса ППЗ определяли температурные поля, решали задачу математической статистики.

Результаты и их обсуждение. В зависимости от основных параметров (v , I , Q) процесс ППЗ выполняли с оплавлением и без оплавления поверхности. Эксперименты проводили поочередно, меняя один из параметров при постоянном значении других.

Проведенный металлографический анализ микроструктуры закаленных образцов показал существенные изменения в структуре материала.

Во всех рассматриваемых случаях в зоне воздействия плазменной струи четко выделялись три резко отличающихся слоя.

Во внутренней зоне, плавно переходящей в исходный металл, наблюдалась преимущественная ориентировка зерен (текстура), которая возникает вследствие пластической деформации и аналогичности структуры ядра материала. Граница этой зоны соответствует глубине теплового влияния плазменной струи.

Вторая зона состоит из равноосных зерен рекристаллизованного материала. Этот слой был подвержен расплавлению и при такой температуре произошел процесс перекристаллизации.

Микроструктура стали при $I = 17$ А, $v = 11,2$ мм/с; $Q_{N_2} = 3,3$ л/мин показана на рисунке 2. Поверхностный слой обработанной стали содержит дендритную структуру, возникающую в процессе перекристаллизации материала (рисунок 2, а). Имеется зона столбчатых кристаллов, ориентированных в направлении источника тепла. Дендритная структура материала хорошо наблюдается при увеличении $\times 675$ (рисунок 2, б), она возникла из-за быстрого охлаждения нагретого материала.

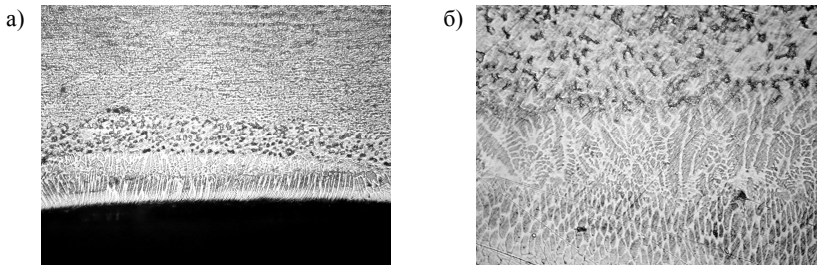


Рисунок 2 – Микроструктура стали Н17N2 при $I = 17$ А, $v = 15$ мм/с, $Q = 3$ л/мин

Для выявления максимального эффекта воздействия плазменной струи на максимальную глубину упрочняемого слоя и микротвердость определены основные параметры процесса (v , I , Q_{Ar} , Q_{N_2}) статистическим планированием эксперимента. Решение поставленной задачи осуществляли с использованием планирования многокомпонентного эксперимента. На основе регрессионного анализа установлено, что наибольшее влияние на параметры упрочнения оказывают скорость движения источника и совместное действие тока дуги и ско-

рости движения источника. Максимальные микротвердость и глубина упрочненного слоя имеют место при $I = 17$ А, $v = 11,2$ мм/с, $Q_{N_2} = 3,32$ л/мин, $Q_{Ar} = 1,26$ л/мин.

Проведены исследования фазового состава упрочненного слоя стали методом дифракции рентгеновских лучей. Анализ фазового состава поверхностного слоя образцов, обработанных плазменной струей в защитной среде азота, демонстрирует значительное его изменение.

На основе анализа результатов рентгеноструктурных исследований установлено, что при воздействии плазменной струи в защитной среде азота в фазовом составе стали образовался нитрид железа Fe_3N – гексагональная фаза типа ϵ , что объясняется диффузионным насыщением азотом исходного материала, т. е. между атомарным азотом плазменной струи и атомами исходного материала происходит химическая реакция, результатом которой является нитрид железа.

На дифрактограммах (рисунок 3; а, б) помимо искажения пиков от аустенитной фазы наблюдается ряд новых пиков от вновь образованных структур.

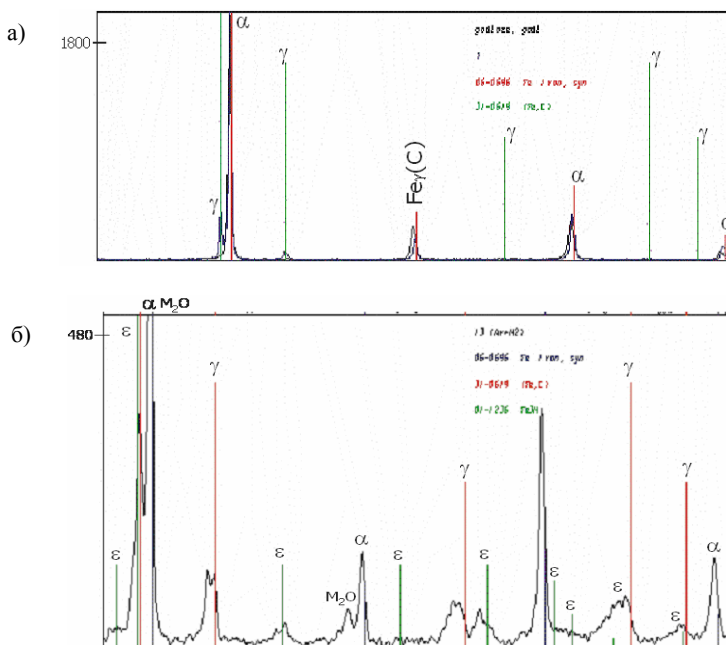


Рисунок 3 – Дифрактограммы фазового анализа исходного материала и плазменных дорожек:

а – исходный материал и дорожка с обработкой в защитной среде аргона;
б – дорожка с обработкой в защитной среде азота

Значительное уширение пиков свидетельствует о значительных внутренних напряжениях в результате воздействия струи плазмы. Сдвиг пиков влево может являться результатом диффузии азота в твердом растворе γ , которая приводит к увеличению постоянной решетки аустенита. Раздвоение пиков аустенита и появление ряда новых можно объяснить мартенситными превращениями в структуре поверхностного слоя, обусловленными локальностью нагрева и скоростным охлаждением металла. Идентификация новых пиков указывает на присутствие нитрида железа Fe_3N . Их ширина и сдвиг обусловлены образованием сложных фаз на основе азота ϵ с участием твердого раствора углерода. Предположительно в поверхностном слое образовался азотистый мартенсит.

Эксперименты показали существенный прирост микротвердости для всех рассматриваемых случаев ППЗ. На основании результатов исследований построены зависимости распределения микротвердости по глубине поверхностного слоя от тока дуги (рисунок 4).

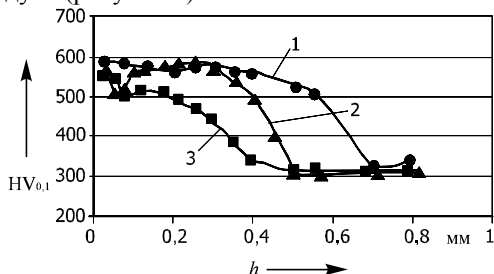


Рисунок 4 – Характер распределения микротвердости упрочненного слоя по глубине при различных значениях тока дуги: 1 – $I = 28$ А; 2 – $I = 26$ А; 3 – $I = 24$ А

Из графиков видно, что глубина упрочненного слоя достигает 0,55 мм и более, причем наибольшее значение микротвердости наблюдается у границы поверхностного слоя. Далее зависимость монотонно убывающая и при значении 0,55 мм приближается к исходному значению.

Определены зависимости микротвердости стали по глубине поверхностного слоя от скорости движения плазменной дуги (рисунок 5). Как видно из построенных кривых, значение микротвердости почти в 2 раза выше исходного. Наибольшая глубина упрочненного слоя при $v = 11$ мм/с, т. е. уменьшение скорости движения плазменной дуги приводит к увеличению глубины упрочненного слоя.

Проведен анализ микротвердости стали при различных расходах защитного газа азота (рисунок 6). Результаты исследований влияния величины расхода защитного газа на процессы ППЗ показывают, что уменьшение расхода азота от 3,6 до 1,8 л/мин незначительно влияет на величину микротвердости и глубину упрочнения. Только при $Q = 1,2$ л/мин наблюдается резкое уменьшение области упрочнения.

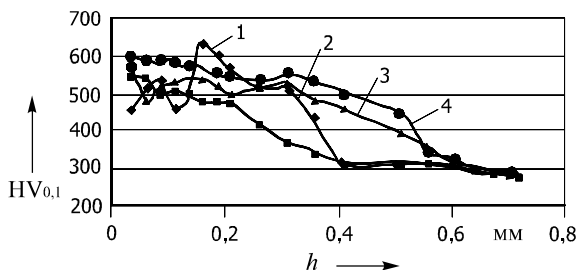


Рисунок 5 – Характер распределения микротвердости упрочненного слоя по глубине при различных скоростях движения дуги:

1 – $v = 17$ мм/с; 2 – $v = 15$ мм/с; 3 – $v = 13$ мм/с; 4 – $v = 11$ мм/с

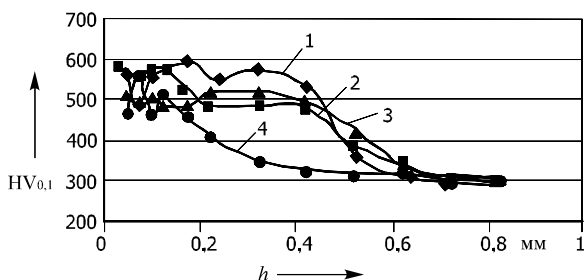


Рисунок 6 – Характер распределения микротвердости по глубине поверхностного слоя при различных расходах защитного газа азота: 1 – $Q = 3,6$ л/мин;

2 – $Q = 2,4$ л/мин; 3 – $Q = 1,8$ л/мин; 4 – $Q = 1,2$ л/мин.

Анализ результатов исследований показывает, что характер распределения микротвердости в этом случае подобен распределению микротвердости по глубине поверхностного слоя в двух рассмотренных выше случаях. Глубина упрочненного слоя достигает 0,55 мм, и ее значения почти в 2 раза выше значений микротвердости материала в исходном состоянии. Следует заметить, что значительное увеличение твердости материала является результатом объемного влияния образующих фаз и главной фазы Fe_3N при незначительном влиянии других фаз, а также образованием в поверхностном слое азотистого мартенсита.

Проведены исследования износостойкости упрочненных образцов. Результаты исследования показали, что износостойкость образцов упрочненных ППЗ без перекрытия зоны влияния струи почти в 2,2 раза выше износостойкости образцов, упрочненных объемной закалкой.

Выводы. В результате проведенных исследований ППЗ хромистой стали H17N2 установлено:

– твердость стали при ее легировании карбидообразующими элементами, такими как Cr, W, при поверхностной плазменной закалке ниже, чем нелеги-

рованной стали (например 45), что объясняется наличием определенного количества углерода в карбидообразующих элементах;

- вид защитного газа оказывает значительное влияние на глубину закаливаемого слоя и его микротвердость;

- значительное влияние на величину микротвердости и глубину поверхностного слоя для стали 14X17H2 оказывает защитный газ азот. Плазменная обработка изделий в защитной среде азота приводит к образованию трех характерных слоев. Значительное увеличение микротвердости поверхностного слоя обусловлено структурными и фазовыми превращениями. За счет диффузирования азота в исходный материал в поверхностном слое образовались нитриды железа, а также произошли мартенситные превращения с образованием азотистого мартенсита;

- относительно высокая микротвердость поверхностного слоя обусловлена структурными и фазовыми превращениями и в частности наличием в фазовом составе нитрида железа Fe_3N ;

- микротвердость поверхностного слоя достигает величины порядка 600HV0.1 при его глубине до 0,6 мм;

- испытания образцов, упрочненных путем ППЗ и обычной закалкой, на износостойкость показали, что износостойкость образцов, упрочненных ППЗ почти в 2,2 раза выше, чем износостойкость образцов, подверженных обычной закалке.

Получено 21.06.2007

**ISBN 978-985-468-405-5. Механика. Научные исследования
и учебно-методические разработки. Вып. 2. Гомель, 2008**

УДК 629.46.001.8

И. А. ВОРОЖУН, А. В. ЗАВОРОТНЫЙ

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СОУДАРЕНИЯ ЗАГРУЖЕННОЙ ТРУБАМИ ПЛАТФОРМЫ С ВАГОНАМИ СТЕНКИ

Методом математического моделирования исследовано влияние предварительного натяжения канатов крепления на значение продольного смещения труб, а также динамических сил в элементах крепления труб и автосцепке платформы при разных скоростях соударения вагонов. Выполнено сравнение полученных результатов и результатов натурных испытаний на соударение с вагонами стенки платформы, загруженной четырьмя трубами в два яруса.