

УДК 669.018.21.8

ВЛИЯНИЕ ЗАЩИТНОГО ГАЗА ПЛАЗМОТРОНА НА ПРОЦЕСС ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ ЗАКАЛКИ СТАЛЕЙ

*д-р техн. наук, проф. М.И. САЗОНОВ, канд. техн. наук, доц. В.М. ХВИСЕВИЧ
(Брестский государственный технический университет),
канд. техн. наук С.Н. ЯКУШЕВИЧ
(Белостокская Политехника, Белосток, Польша)*

Для повышения эксплуатационных свойств деталей машин и механизмов эффективно используются технологии с применением высококонцентрированных источников нагрева, т.е. лазерного и электронного лучей, сжатой плазменной струи. Применение таких источников позволяет осуществлять поверхностную закалку изделий, что значительно повышает их долговечность. Использование плазмы имеет некоторые преимущества в сравнении с применением лазерного и электронного лучей за счет универсальности процесса упрочнения, невысокой стоимости оборудования. При этом характеристики поверхностного слоя изделия зависят от вида и расхода защитного газа плазмотрона. Исследовано влияние аргона и азота на процесс упрочнения стали при помощи движущегося плазменного источника нагрева.

Введение. Использование плазменных источников тепла находит широкое применение в различных технологических процессах. При термообработке сталей движущимся локальным источником нагрева с высокой плотностью энергии происходят фазовые и структурные превращения и за счет высоких скоростей нагрева и охлаждения материала в изделиях образуются поверхностные слои с уровнем эксплуатационных свойств превышающие значения, полученные при объемной закалке и закалке токами высокой частоты. При этом внутренние слои изделия имеют исходные (пластические) свойства. В результате такого процесса осуществляется поверхностная плазменная закалка изделия (ППЗ).

На основании многочисленных экспериментов установлено, что при ППЗ термический цикл нагрева и охлаждения регулируется изменением таких параметров, как ток дуги I , скорость перемещения источника v , вид и расход плазмообразующего и защитного газов Q . В качестве газов можно использовать аргон, азот, гелий, водород, однако в силу специфики их свойств, степени изученности процессов образования и горения дуги и т.д., с практической точки зрения при ППЗ сталей целесообразно применять аргон и азот.

Варьируя основными параметрами процесса поверхностной плазменной закалки изделия, можно получать слои с различными свойствами и структурами. Для получения максимальных микротвердости и глубины поверхностного слоя можно определить оптимальные параметры процесса, решив задачу математической статистики. Кроме влияния на процесс ППЗ тока (I) и напряжения (U) дуги, скорости движения источника (v) большое значение имеет вид и расход защитного газа плазмотрона.

Цель работы. Изучить влияние защитных газов аргона и азота на структурообразование, фазовый состав и свойства поверхностного слоя сталей в процессе поверхностной плазменной закалки и получить поверхностные слои сталей с максимальной твердостью и износостойкостью.

Материалы и методы исследований. Процесс ППЗ выполняли на плазменной установке с плазмотроном удельной мощностью $5,0 \cdot 10^7$ Вт/м² (плазмообразующий газ аргон).

Для поверхностной плазменной закалки использовали образцы из сталей 45 (0,42 % С; 0,5 % Мп; 0,17 % Si) и 14X17N2 (0,2 % С; 0,2 % Мп; 0,8 % Si; 17 % Cr; 2,0 % Ni; 0,1 % Си; 0,3 2% Мо; 0,1 % W).

Плазменную термообработку осуществляли с оплавлением и без оплавления поверхности, используя в качестве плазмообразующего газа аргон (Ar), а защитного - аргон или азот (N₂), варьируя их расход (Q) в пределах, обусловленных повышением микротвердости.

Травление шлифов стали 45 осуществляли в спиртовом растворе HNO₃, а стали 14X17N2 с помощью реактива Адлера. Микростроение металла в зоне воздействия плазменной струи изучали металлографическим методом при помощи приборной системы НЕОРНОТ-21. Микротвердость определяли по Виккерсу при нагрузке 0,981Н (HV_{0,1}). Фазовый состав металла анализировали, используя дифрактометр Philips PW1830. Шероховатость поверхности определяли при помощи приборного комплекса Mistral 070705.

Результаты и их обсуждение. Термообработку образцов стали 45 осуществляли при определенных параметрах $v = 7 \dots 14$ мм/с; $I = 21 \dots 28$ А; газа $Q_{Ar} = 1,2 \dots 3,6$ л/мин; расходы защитного газа $Q_{Ar} = 1,1 \dots 5,1$ л/мин; $Q_{N_2} = 1,2 \dots 3,6$ л/мин.

Проведенный металлографический анализ микроструктуры закаленных образцов показал существенное изменение в структуре металла. При обработке без оплавления, как и при обработке лазером или электронным лучом [1], в зоне воздействия плазменной струи образуются характерные области: мартен-

ситных превращений, переходная к исходному материалу (такие свойства приведены, например, в работах [2, 3], и здесь микроструктура стали 45 не приводятся).

Проведены эксперименты по определению предельных значений расходов защитных газов при поверхностной плазменной закалке. Эксперименты показали, что при термообработке стали в защитных средах аргона и азота имеются отличительные признаки. Так, при воздействии струи плазмы в защитной среде аргона сильно выраженной контрастности характерных областей упрочненного слоя не наблюдалось, микротвердость достигала значений $\approx 920HV_{0,1}$, толщина упрочненного слоя - примерно 0,5 мм.

Установлено, что при термообработке стали в защитной среде аргона расход газа существенно не влияет на толщину и микротвердость упрочненного слоя (рис. 1, а).

При воздействии плазменной струи в защитной среде азота характерные области выражены более контрастно. С увеличением расхода азота глубина упрочненного слоя и микротвердость увеличиваются (рис. 1, б).

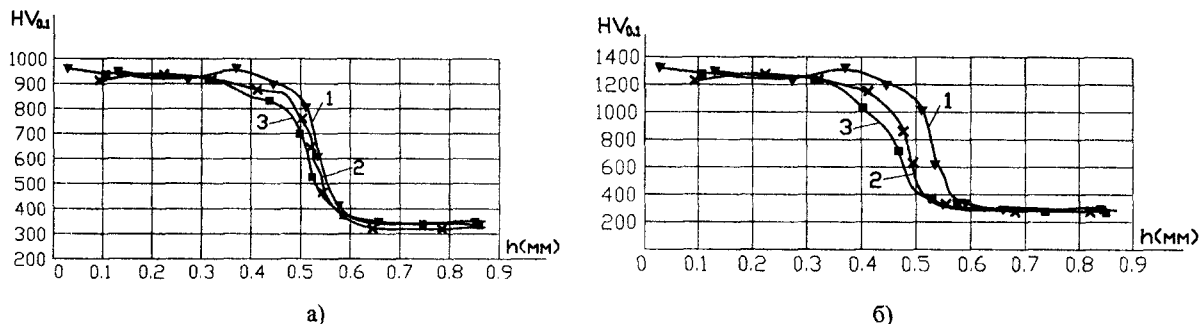


Рис. 1. Влияние расхода защитных газов на микротвердость и толщину поверхностного слоя стали 45:

а – аргон: 1 – $Q_{Ar} = 5,1$ л/мин; 2 – $Q_{Ar} = 4,1$ л/мин; 3 – $Q_{Ar} = 1,3$ л/мин;
 б – азот: 1 – $Q_{N2} = 3,6$ л/мин; 2 – $Q_{N2} = 2,4$ л/мин; 3 – $Q_{N2} = 1,2$ л/мин

Хромистая (нержавеющая) сталь 14X17H2 имеет слоистую текстуру, ориентированную в направлении прокатки (рис. 2, а). Термообработку проводили при установленных значениях $V = 11$ мм/с, $I = 26$ А и расходе плазмообразующего газа $Q_{Ar} = 1,2$ л/мин. При таких параметрах варьировали расход защитных газов (аргон и азот). Эксперименты показали, что газовая среда оказывает сильное влияние на структуру и фазовый состав стали. При воздействии струи в защитной среде аргона ярко выраженных характерных областей подповерхностного слоя, как в случае ППЗ стали 45, не наблюдалось (рис. 2, б).

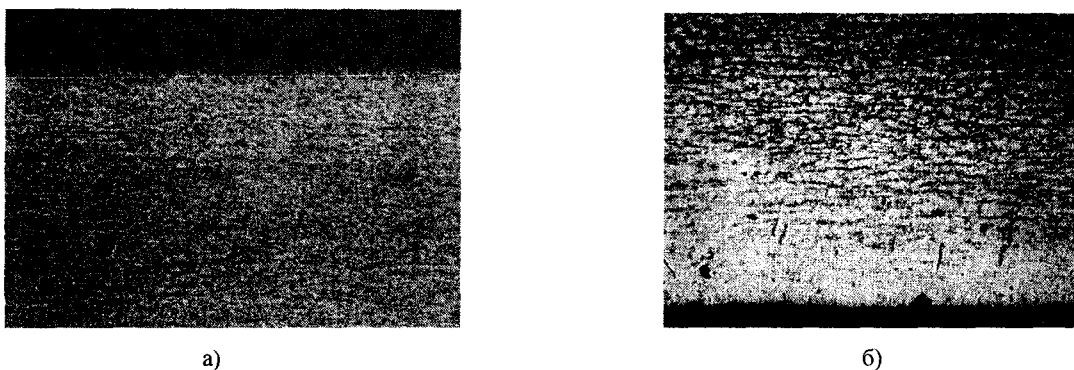


Рис. 2. Микроструктура стали 14X17H2:

а – исходное состояние; б – состояние после термообработки в среде аргона

Микротвердость упрочненного слоя увеличилась незначительно, ее наибольшее значение достигало $470 HV_{0,1}$ при $Q_{Ar} = 5,1$ л/мин, а глубина до 0,2 мм. Варьирование расходов аргона в установленной области $Q_{Ar} = 1,3 - 5,1$ л/мин существенно не повлияло на характеристики стали (рис. 3, а). Использование азота в качестве защитного газа приводит к существенному изменению микроструктуры (рис. 4).

В зоне воздействия плазменной дуги четко выделяются три слоя. Поверхностный слой содержит дендритную структуру, которая возникла при перекристаллизации материала. Вторым слоем состоит из равноосных зерен рекристаллизованного материала. Третий слой имеет преимущественную ориентировку зерен и плавно переходит в исходный материал. С увеличением расхода азота характерные области выражены более отчетливо.

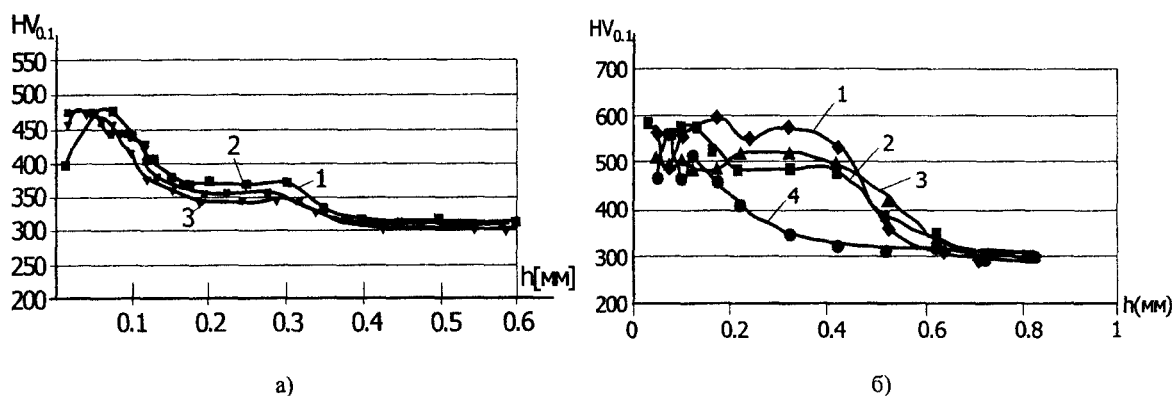
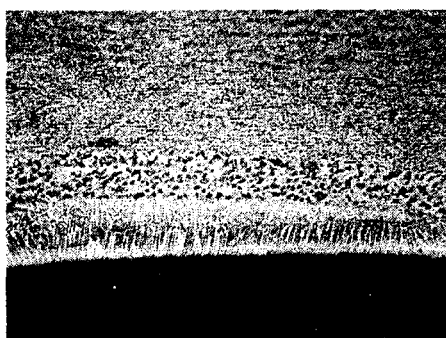
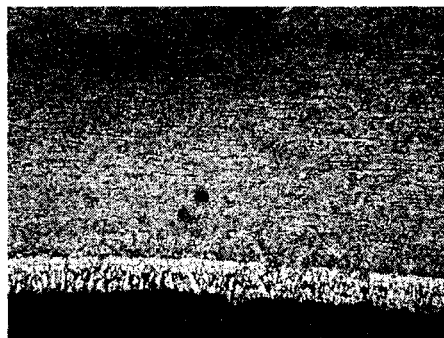


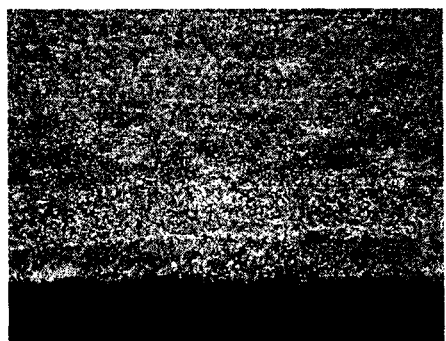
Рис. 3. Влияние расхода защитных газов на ППЗ стали 14X17H2:
 а – аргон: 1 – $Q_{Ar} = 5,1$ л/мин; 2 – $Q_{Ar} = 4,1$ л/мин; 3 – $Q_{Ar} = 1,3$ л/мин.
 б – азот: 1 – $Q_{N_2} = 3,6$ л/мин; 2 – $Q_{N_2} = 2,4$ л/мин; 3 – $Q_{N_2} = 1,8$ л/мин;
 4 – $Q_{N_2} = 1,2$ л/мин



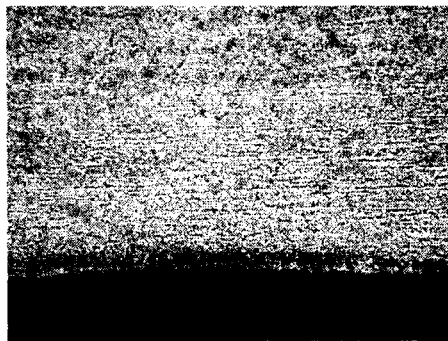
а)



б)



в)



г)

Рис. 4. Влияние расхода азота на микроструктуру стали $\times 270$
 а – $Q_{N_2} = 3,6$ л/мин; б – $Q_{N_2} = 2,4$ л/мин; в – $Q_{N_2} = 1,8$ л/мин; г – $Q_{N_2} = 1,2$ л/мин

Анализ результатов рентгеноструктурных исследований показал, что при воздействии плазменной струи в среде аргона пики на дифрактограмме незначительно сдвинуты по оси 2 θ относительно эталонных фаз (рис. 5, а), что говорит о произошедших незначительных мартенситных превращениях. При термообработке в среде азота в фазовом составе стали образовался нитрид железа Fe_3N (гексагональная фаза типа в) (рис. 5, б).

На диаграмме виден ряд пиков от вновь образованных структур. Сдвиг пиков влево вдоль оси 2 θ объясняется диффузией азота в твердом растворе γ , а раздвоение пиков аустенита и появление ряда новых - мартенситными превращениями, т.е. предположительно в поверхностном слое стали образовался азотистый мартенсит.

Эксперименты показали заметное влияние расхода азота на микротвердость и глубину упрочненного слоя стали (см. рис. 3, б). Большой расход азота в установленных пределах приводит к повышению микротвердости и глубины упрочняемого слоя.

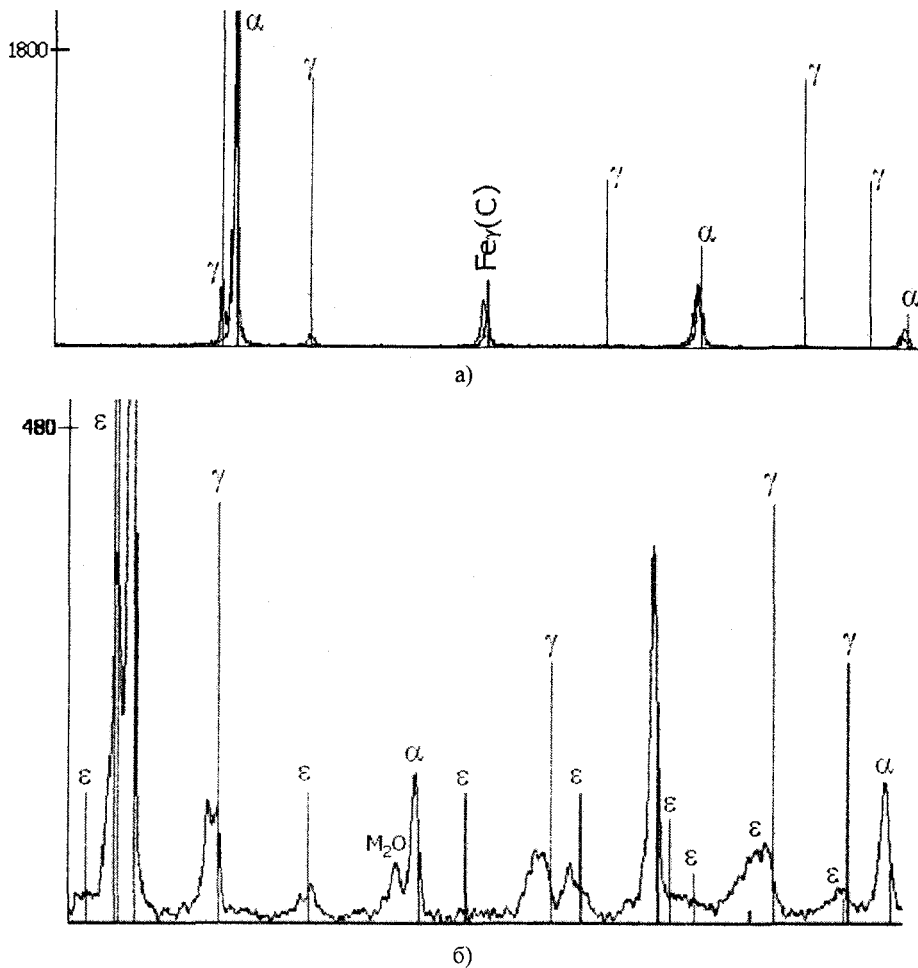


Рис. 5. Дифрактограммы фазового анализа стали 14X17ND:
 а - исходный материал и дорожка после термообработки в среде аргона;
 б - дорожка после термообработки в среде азота

Выводы. Вид и расход защитного газа при термообработке сталей сжатой плазменной струей оказывают существенное влияние на структуру, фазовый состав и механические свойства материала.

Обработка стали 45 в среде аргона позволяет увеличить микротвердость примерно в 3 раза по сравнению со значениями исходного материала. При этом расход аргона не оказывает значительного влияния на эти свойства. Применение азота еще более увеличивает свойства поверхностного слоя стали 45 (микротвердость увеличивается более чем в 4 раза). Увеличение расхода азота приводит к повышению микротвердости поверхностного слоя.

При термообработке стали 14X17H2 в защитной среде аргона увеличение микротвердости поверхностного слоя незначительно. Количество углерода находится не в аустените, а в не растворившихся карбидах. Расходы аргона существенно не влияют на картину структурных превращений.

Поверхностная плазменная закалка стали 14X17H2 в защитной среде азота существенно повышает микротвердость и глубину упрочняемого поверхностного слоя. За счет фазовых и структурных превращений, обусловленных диффундированием азота в исходный материал, высокими скоростями нагрева и охлаждения материала, в поверхностном слое образовался нитрид железа Fe₃N и произошли мартенситные превращения с образованием азотистого мартенсита. Установлено, что при увеличении расхода азота микротвердость и глубина упрочняемого слоя возрастают. Максимальное значение микротвердости = 610HV₀₁ и глубины до 0,55 получаются при Q_{N2} = 3,6 л/мин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыкалин Н.Н. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник. - М.: Машиностроение, 1985. - 485 с.
2. Спиридонов Н.В. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин. - Мн.: Вышэйшая школа, 1980. - 155 с.
3. Лещинский Л.К., Самотугин С.С. Плазменное поверхностное упрочнение. - Киев: Техника, 1990. - 109 с.