

освещения камеры; блок сигнализации открытой двери; блок сигнализации и управления; часы и другие приборы управления.

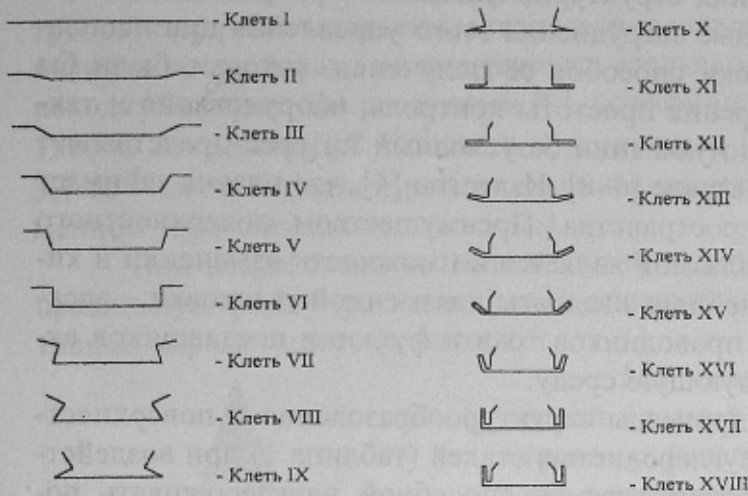


Рисунок 3 — Профилировка планки в сдвоенном виде из одной заготовки

Для дальнейшего снижения расходов на производство деталей нами разработана новая профилировка (рисунок 3) планки, предусматривающая формовку двух планок от одной заготовки. Такая профилировка позволяет не только вдвое повысить производительность линии по изготовлению планок, а и улучшить качество детали за счет увеличения ее жесткости при профилировании.

Список литературы

1. А.с. 1784797 СССР, МКИ F25D 11/00. Наружный шкаф бытового холодильника и способ его изготовления / И.А.Борисов, А.Н.Горин (СССР) — № 4880964/13; Заявлено 11.11.90; Опубл. 30.12.92. Бюл. № 48. — 4 с.

© Горин А.Н., 1999.

ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЛАЗМОЙ

АЛИМОВ В.И., КРЫМОВ В.Н. (ДонГТУ)

На углеродистых и легированных сталях с низким и средним содержанием углерода показаны возможности и особенности поверхностного упрочнения углеродсодержащей низкотемпературной плазмой, полученной электродуговым разрядом; показана роль химического состава, исходной структуры и гальванических покрытий в структуре и свойствах упрочненного слоя; сформулированы перспективы использования электродуговой плазмы в создаваемом высокопроизводительном оборудовании для упрочнения изделий.

Плазменные технологии и оборудование для них успешно используются при выплавке сплавов [1], их механической обработке [2] и нанесении покрытий [3, 4].

Положительные результаты получены и при попытках поверхностного упрочнения изделий с нагревом плазмой как высококонцентрированным источником тепловой энергии [5]. Необходимость управления структурно-фазовыми превращениями при поверхностном упрочнении и серьёзные затруднения этого управления при использовании плазмы обуславливают поиски способов её получения, которые были бы наиболее благоприятными с точки зрения простоты контроля, оборудования и технологических возможностей. В этом отношении безусловный интерес представляет плазма, образующаяся при дуговом разряде [6–8]. Известно [4], что плазма занимает основную часть межэлектродного пространства. Преимуществом поверхностного упрочнения изделий дугоразрядной плазмой является возможность изменений и химического состава и структуры; важнейшие элементы плазменной установки – электроды, могут выполнять и функции проводников тока и функции поставщиков активных атомов и ионов в плазмообразующую среду.

В настоящей работе изучали процессы структурообразования в поверхностном слое образцов из низко- и среднеуглеродистых сталей (таблица 1) при воздействии низкотемпературной электродуговой плазмы, способной науглероживать поверхность за короткий промежуток времени.

Использовали образцы диаметром 10–12 мм и высотой 10 мм; в исходном состоянии их подвергали объёмной термообработке для получения структур различной степени неравновесности. Торцевую поверхность образцов, предназначенную для плазменного воздействия, подвергали шлифовке на наждачной бумаге номером зернистости М40 (по ГОСТ 3647-80).

Таблица 1 — Химический состав сталей для экспериментов.

Марка стали	C, % масс	Mn, % масс	Si, % масс	Cr, % масс	P, % масс	S, % масс	Другие элементы
Ст 3	0,16	0,48	0,28	—	0,029	0,039	—
20	0,18	0,61	0,34	0,057	0,030	0,040	0,059 Ti
16ГС	0,14	0,93	0,62	—	0,028	0,021	—
25ЮТ	0,26	0,90	0,53	0,060	0,030	0,025	0,15 Al; 0,02 Ti
12МХ	0,11	0,62	0,35	0,72	0,025	0,039	0,55 Mo
25С2Р	0,24	0,81	1,65	—	0,032	0,035	0,002 В
20ГФЛ	0,15	0,63	0,44	0,18	0,023	0,038	0,17 Cu; 0,02 V
45	0,46	0,70	0,30	—	0,030	0,030	—
40Х	0,42	0,60	0,35	0,95	0,020	0,030	—
38ХС	0,37	1,10	1,20	1,4	0,025	0,021	—
35ХГСА	0,38	0,93	1,22	1,12	0,018	0,020	—
5ХВ2С	0,47	0,30	0,70	1,15	0,015	0,030	2,18 W

Воздействие дугоразрядной плазмы на поверхность образцов производили на лабораторной установке с контролем тока дуги, длительности воздействия, расстояния от среза электродов до обрабатываемой поверхности. Использовали электроды диаметром до 12 мм, вырезанные из углеграфитовых тиглей. Обработку проводили с использованием переменного тока прямой и косвенной дугой; во втором варианте

значимыми параметрами оказались также угол между электродами и зазор между их торцами.

Плазма дугового разряда, полученная с использованием углеграфитовых электродов, содержит молекулы, атомы и ионы атмосферы и материала электродов. При наличии жидкой фазы на поверхности стальных образцов процессы насыщения происходят быстрее: так по данным [9], коэффициент диффузии углерода в железе при 1500°C составляет $1,8 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$, а по данным [10] в жидком железе при 1600°C — $3,7 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$. В данной работе рассматриваются результаты, полученные при плазменном упрочнении с оплавлением.

При воздействии косвенной дугой тепловой источник, чаще всего, имеет неправильную форму (рисунок 1), зависящую как от электрических, так и от конструктивных параметров устройства.

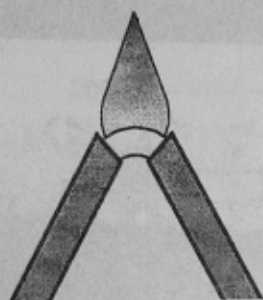


Рисунок 1 — Вид плазменного облака при косвенном воздействии дугового разряда

Минимальное время воздействия электродуговой плазмой (t) определяется длительностью нагрева до начала плавления поверхности образца, а она в свою очередь зависит от силы тока, плотности теплового потока, температуры плавления, расстояния от электродов до нагреваемой поверхности, теплофизических характеристик. Наиболее просто контролировать силу тока (I) и расстояние между электродами и нагреваемой поверхностью (L) по зависимости (1):

$$t = \exp(0,38 + 0,87 \ln L + 4118,93 \ln I / I^2) \quad (1)$$

Совокупность параметров может быть определена по диаграмме, показанной на рисунке 2.

При обработке с оплавлением происходит науглероживание поверхностного слоя в результате растворения углерода из дуги в расплаве и дальнейшей диффузии его в твердую фазу. С увеличением силы тока и длительности воздействия количество углерода в расплавленном слое возрастает.

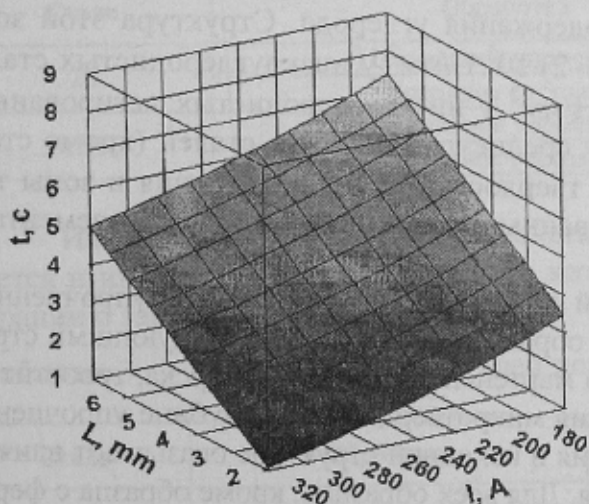


Рисунок 2 — Длительность нагрева (t) до начала плавления в зависимости от силы тока (I) и расстояния до нагреваемой поверхности (L)

Упрочненный участок поверхности состоит из зоны оплавления и зоны термического влияния (рисунок 3). Структура зоны оплавления представляет собой ледебурит и дендриты аустенита, частично превратившегося в мартенсит (режим обработки: $I=240 \text{ А}$, $t=3 \text{ с}$). Исходное содержание углерода в стали оказывает незначительное влияние на структуру и свойства зоны оплавления. Гораздо сильнее влияет при одинаковых режимах обработки степень легированности. При этом в структуре легированных сталей содержится большее количество остаточного аустенита. Микротвердость (H_D) зоны оплавления колеблется от $6 \cdot 10^3 \text{ Н/мм}^2$ у сталей 20, 45,

38ХС, до $(9-10) \cdot 10^3$ Н/мм² у сталей 40Х, 12МХ.

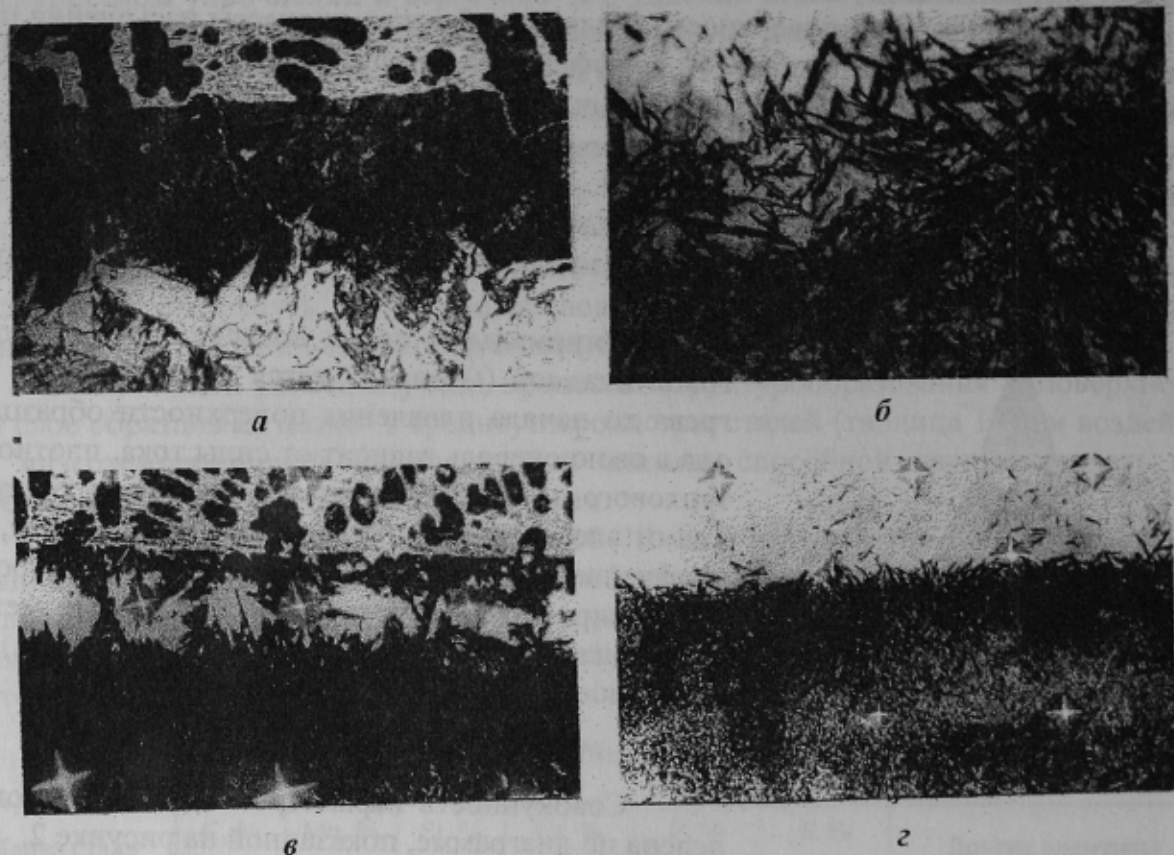


Рисунок 3 — Микроструктура границы зон оплавления и термического влияния, $\times 600$: а — 20; б — 25ЮТ; в — 25С2Р; з — 5ХВ2С

Структура и свойства зоны термического влияния находятся в прямой зависимости от степени легированности и содержания углерода. Структура этой зоны изменяется от видманштеттовой с $H_{\square}=(1,8-2) \cdot 10^3$ Н/мм² у низкоуглеродистых сталей (Ст 3, 20) до бейнитной с $H_{\square}=(3-4) \cdot 10^3$ Н/мм² у низкоуглеродистых легированных сталей (12МХ, 20ГФЛ) и мартенситной у среднеуглеродистых сталей (кроме стали 45) с $H_{\square}=(5-7,5) \cdot 10^3$ Н/мм². Наибольшую твердость и зоны оплавления и зоны термического влияния имеют стали, легированные карбидообразующими элементами (рисунок 4).

С целью изучения влияния исходной структуры на свойства слоя упрочненного дугоразрядной плазмой был обработан ряд образцов из стали 20 со следующими структурами: феррит+перлит, малоуглеродистый мартенсит, мартенсит отпуска, троостит отпуска, сорбит отпуска. Результаты измерения микротвердости, по глубине упрочненного слоя представлены на рисунке 5. Различия в исходной структуре оказывают влияние на ход кривых в зоне термического влияния. Для всех образцов, кроме образца с феррито-перлитной структурой, вблизи зоны оплавления наблюдается снижение микротвердости, которое связано с перекристаллизацией и процессами отпуска.

Ускоренные коррозионные испытания проводили в 10%-ном растворе H_2SO_4 в течение 1 часа. Устойчивость к воздействию коррозионной среды оценивали по объёму выделившегося водорода. Как видно из таблицы 2, коррозионная устойчивость плазменно обработанного слоя в процессах с водородной деполяризацией значительно возрастает.

Интенсивное коррозионное разрушение стали 5ХВ2С в исходном состоянии обусловлено значительно большим, чем в стали 20, количеством карбидов и, следо-

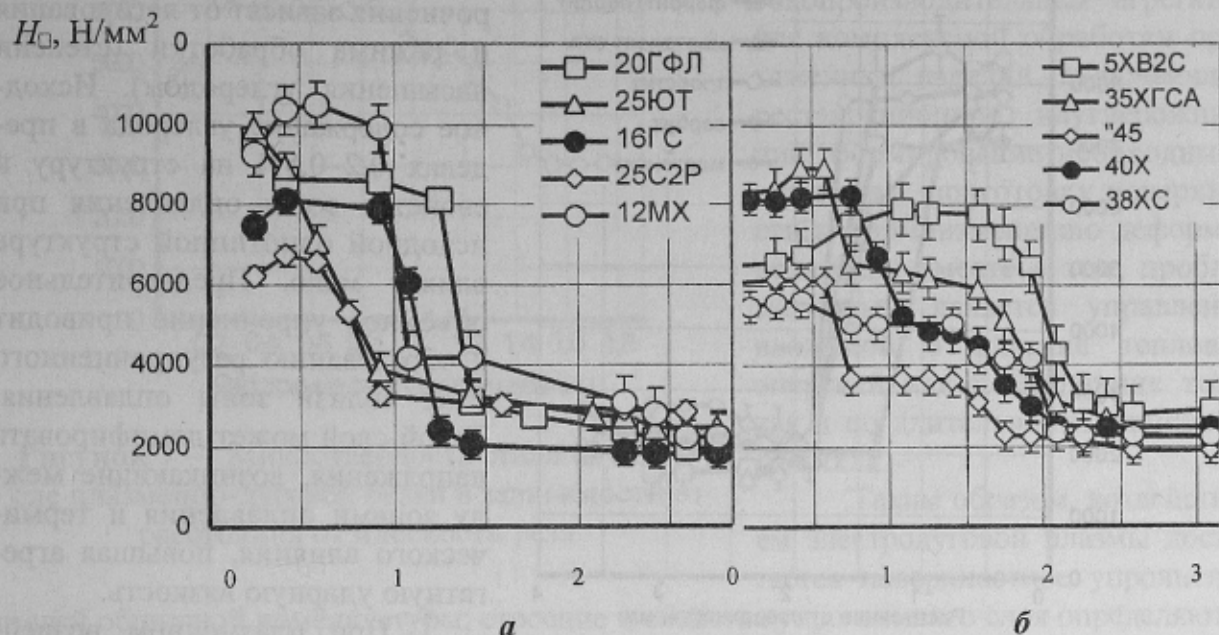


Рисунок 4 — Распределение микротвердости по глубине плазменно упрочненного слоя низкоуглеродистых (а) и среднеуглеродистых (б) сталей

вательно, большим количеством микрогальванических пар, обуславливающих суммарное значение коррозионного тока.

Таблица 2 — Объемный показатель коррозии сталей, подвергнутых воздействию электродуговой плазмы

Стали	Обработка	Объем выделившегося водорода $\times 10^{-3}, \text{ см}^3/(\text{м}^2\text{ч})$
20	Плазменное упрочнение	3,7
	Исходное состояние	4,4
5ХВ2С	Плазменное упрочнение	3,1
	Исходное состояние	14,3

Из-за более благоприятного сочетания структурных составляющих увеличивается и износостойкость (таблица 3), которую оценивали по потере массы при истирании о закрепленный абразив.

Таблица 3 — Износостойкость сталей после плазменного и объемного упрочнения

Сталь	Обработка	Структура	Удельная потеря массы, $\text{г}/(\text{м}^2\text{м})$
20	Плазменное упрочнение	Мартенсит + аустенит ост.	4,5
	Закалка 900°C, вода	Малоуглеродистый мартенсит	18
5ХВ2С	Плазменное упрочнение	Мартенсит + аустенит ост. + ледебурит	7
	Закалка 880°C, масло, отп. 200°C	Мартенсит + аустенит ост.	12

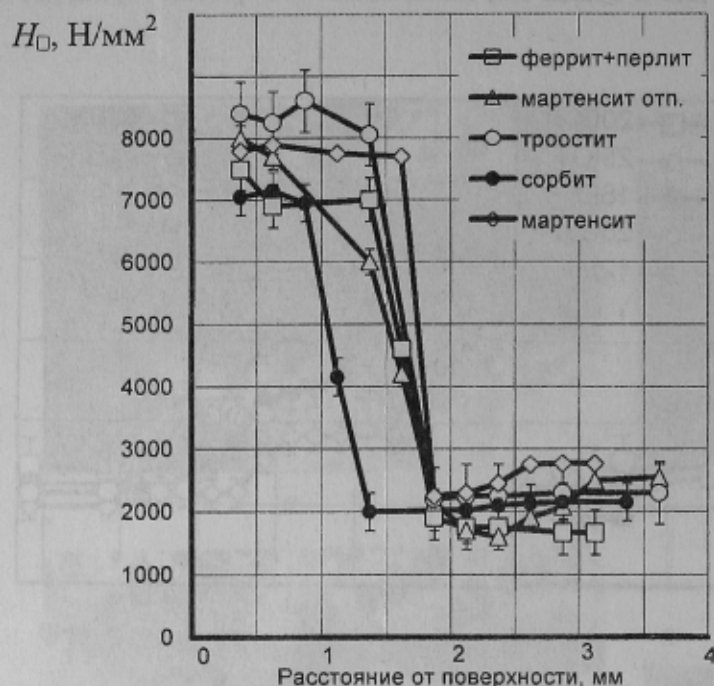


Рисунок 5 — Распределение микротвердости по глубине упрочненного слоя образцов из стали 20 с различной исходной структурой

ротвердости поверхности изменяются в связи с типом покрытий (рисунок 6).

При этом тугоплавкие материалы (Cr, Ni) насыщают поверхность обрабатываемой стали, а легкоплавкие (Zn) — выгорают.

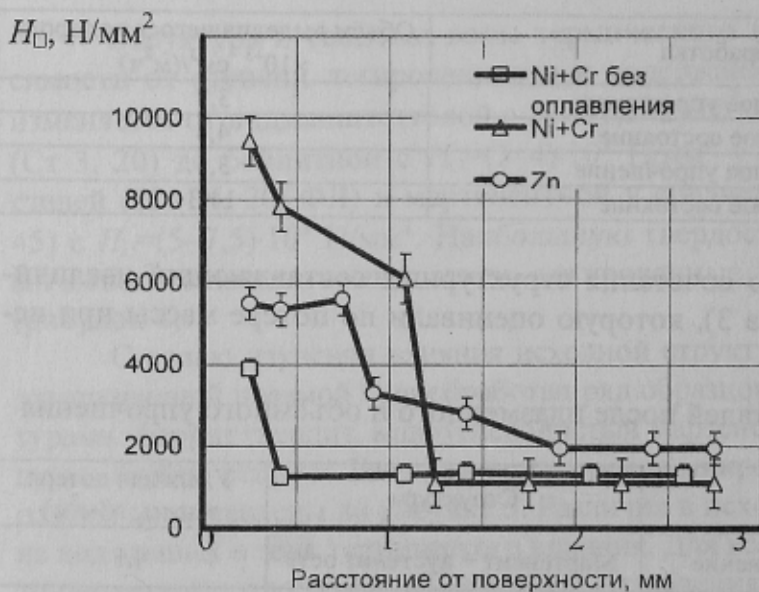


Рисунок 6 — Распределение микротвердости по глубине упрочненного слоя образцов из стали с 0,15% С с гальваническими покрытиями

Следовательно, структура и свойства оплавленного слоя сталей при дугоразрядном упрочнении зависят от легирования и режима обработки (степени насыщения углеродом). Исходное содержание углерода в пределах 0,2–0,5% на структуру и свойства зоны оплавления при исходной однотипной структуре влияет мало. Предварительное объемное упрочнение приводит к образованию разупрочненного слоя вблизи зоны оплавления. Такой слой может демпфировать напряжения, возникающие между зонами оплавления и термического влияния, повышая агрегатную ударную вязкость.

При плазменном воздействии на низкоуглеродистую сталь с гальваническими покрытиями характер упрочнения сохраняется, однако значения микротвердости поверхности изменяются в связи с типом покрытий (рисунок 6).

Оплавлением, как известно, сопровождается и плазменная резка металлов. О том, что при этом происходит упрочнение на большую глубину, свидетельствуют данные, полученные при резке полос проката сечением 90×18 мм из стали 60С2 (рисунок 7): это может служить основой новых технологий формообразования полуфабрикатов с одновременным упрочнением поверхностного слоя.

Следует отметить еще один аспект возможного использования электродуговой плазмы — при кратковременном воздействии электродуговой плазмы высоких параметров возможно не только оплавление тонких слоев, но и их испарение, что может быть использовано для очистки

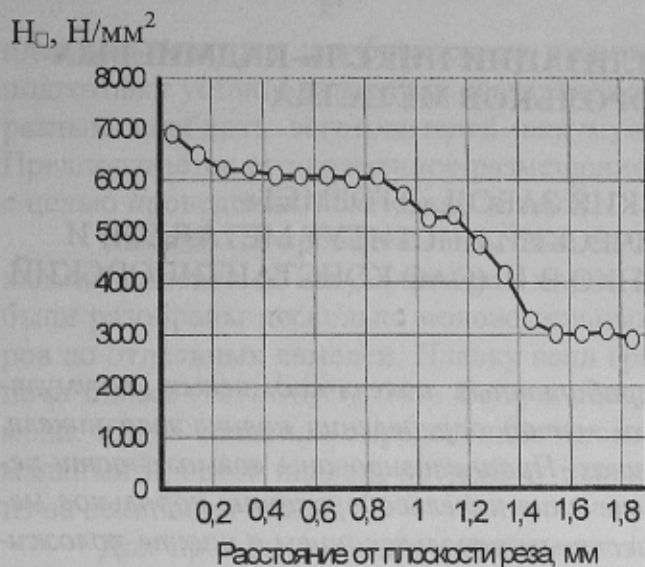


Рисунок 7 — Микротвердость стали 60С2 после плазменно-дуговой резки в зависимости от расстояния от плоскости реза

сталей обширной номенклатуры; строение и свойства упрочненного слоя определяются не только электрическими параметрами дуги, но и материалом электродов, обуславливающим химический эффект воздействия.

поверхности изделий; в свою очередь, это открывает возможности создания компактных высокопроизводительных агрегатов для комплексной обработки протяженных изделий, включающей реставрационное науглероживание, формирование необходимой структуры, подготовку поверхности к формоизменению деформированием; вместе с тем, проблематичным является управление вводимой в изделие тепловой энергией как по величине тока, так и по длительности единичного цикла.

Таким образом, воздействием электродуговой плазмы достигается поверхностное упрочнение

Список литературы

1. Гузенков В.А., Шкирмонтов А.П. Использование плазменного нагрева в индукционных печах // Бюллетень «Черная металлургия», 1998. — № 6. — С. 29–37.
2. Обработка металлов резанием с плазменным нагревом / Н.А. Резников, М.А. Шатерин, В.С. Кунин, Л.А. Резников. Под общ.ред. А.Н. Резникова. — М.: Машиностроение, 1986. — 232 с.
3. Борисов Ю.С. Борисова А.Л. Плазменные порошковые покрытия. — К.: Техніка, 1986. — 223 с.
4. Костиков В.И. Шестерин Ю.А. Плазменные покрытия. — М.: Металлургия, 1978. — 160 с.
5. Лещинский Л.К., Самотугин С.С., Пирч М.И. Плазменное поверхностное упрочнение. — К.: Техніка, 1990. — 109 с.
6. Особенности электродуговой поверхностной закалки валковых сталей / В.Н. Давыдов, Р.И. Силин, Н.Н. Давыдова, А.А. Киричков и др. // Бюллетень НТИ. Черная металлургия, — 1990, № 5. — С. 32–34.
7. Алимов В.И., Крымов В.Н., Кундос Ю.М. Локальная химико-термическая обработка износостойких деталей в плазме дугового разряда // Сб. трудов международной научн.-технич. конф. в г. Севастополе 9–12.09.1997 «Прогрессивные технологии машиностроения и современность». — Донецк: ДонГТУ, 1997. — С. 9–10.
8. Лебедев В.К., Калеко Д.М. Импульсная дуговая термическая обработка поверхности металлов // МиТОМ. — 1998. — № 6. — С. 8–12.
9. Бокштейн Б.С. Диффузия в металлах. — М.: Металлургия, 1978. — 248 с.
10. Ершов Г.С., Бычков Ю.Б. Свойства металлургических расплавов и их взаимодействие в сталеплавильных процессах. — М.: Металлургия, 1983. — 216 с.

© Алимов В.И., Крымов В.Н., 1999.