

Интенсивное окисление композиционных покрытий FeCr30(FeCr30Mo + 10(7%) графита + + 70% TiC в сравнении с композициями Ni80Cr20 + 12,5% MoS₂(CaF₂) + 55% TiC объясняется наличием в последних связующего твердого раствора Ni80Cr20. Упомянутое связующее способствует образованию тонких оксидных пленок, прочно сцепленных с частицами, формирующими напыленное покрытие. Эти пленки защищают частицы от дальнейшего высокотемпературного окисления газовой средой при лазерной обработке напыленной композиции Ni80Cr20 + 12,5% MoS₂(CaF₂) + 55% TiC. В отличие от Ni80Cr20 связующее FeCr30(FeCr30Mo3) не способствует образованию первичных оксидных пленок, эффективно защищающих напыленные частицы от высокотемпературной коррозии. Поэтому в напыленной композиции FeCr30(FeCr30Mo3) + 10(7%) графита + 70% TiC, обработанной лазерным лучом, наблюдается избыточная оксидная фаза, снижающая механическую прочность и износостойкость покрытий.

Проведенные исследования позволяют проанализировать перспективы использования технологии для упрочнения газотермических покрытий и улучшения их эксплуатационных свойств. Необходимо отметить, что в сравнении с импульсно-плазменной обработкой на квазистационарном сильноточном плазменном ускорителе (КСПУ) производительность лазерной технологии выше в 1,5 – 2,0 раза. Вместе с тем, как упоминалось, воздействие лучом лазера в атмосфере воздуха вносит ограничения на обработку материалов, склонных к окислению. Кроме того, в сравнении с импульсно-плазменным воздействием снижается степень формирования неравновесных аморфизированных структур, упрочняющих покрытие. С учетом рассмотренных процессов, которые имеют место при обработке покрытий высококонцентрированными потоками энергии, необходимо также отметить перспективы улучшения качества лазерных покрытий, получаемых в условиях динамического вакуума.

Заключение

Исследованы и оптимизированы технологические параметры упрочняющей термической обработки износостойких самосмазывающихся плазменных покрытий с использованием высококонцентрированных потоков энергии. К оптимальным режимам лазерной обработки покрытий NiCr+MoS₂/CaF₂+TiC

относятся скорость перемещения луча 200 мм/мин, его диаметр 2 мм, коэффициент перекрытия дорожек обработки 0,8–0,9 (при мощности луча лазера 700 Вт). Что касается покрытий FeCr(FeCrMo)+графит+TiC, то при обработке CO₂-лазером непрерывного действия в условиях атмосферы они не склонны к формированию структур, удовлетворяющих требованиям повышенной прочности и износостойкости из-за образования избыточной хрупкой оксидной фазы.

Как показали замеры микротвердости покрытий, обработанных лазерным лучом, она находилась в пределах 6790 – 8850 МПа и возросла в сравнении с необработанными композициями на 15 – 20%. Это обусловлено формированием неравновесных аморфизированных структур, снижением пористости обработанных композиций и создает предпосылки повышения эффективности износостойких самосмазывающихся покрытий NiCr+MoS₂/CaF₂+TiC. С учетом проведенных исследований необходимо отметить перспективы улучшения качества лазерных покрытий, получаемых в условиях динамического вакуума.

Полученные результаты по лазерной обработке плазменных самосмазывающихся покрытий могут быть приняты как базовые данные с проведением дальнейших исследований и оптимизацией технологических параметров нанесения покрытий на конкретные детали моторостроения, металлургического оборудования, текстильной промышленности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Production of productive coating with discrete structure / A. Ph. Pyuschenko, E.A. Doroshkevich, V.A. Okovity and other // 1998 PW World Congress: Proc. of PW World Congress.- Granada (Spain), 1998. V. 4. P. 560-564.
2. Laser processing of plasma spray coating / A. Pyuschenko, V. Okovity and other. // Materials and manufacturing technologies: Proc. of the Romanian second international conference.- Cluj-Napoca (Romania), 1998. P. 836-839.
3. Девойно О.Г. Технология формирования износостойких поверхностей лазерным легированием. – Мн.: Технопринт, 2001.— 180 с
4. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. – М.: Наука, 1989. – 327 с.

УДК 659.017 (075.8)

Патеюк А.

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МАРТЕНСИТНОЙ КЛАПАННОЙ СТАЛИ МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО АЗОТИРОВАНИЯ

Многолетние испытания по оптимизации эксплуатационных свойств традиционных материалов позволили в значительной степени расширить области их применения [1, 2]. Однако развитие отраслей промышленности требует дальнейшего улучшения свойств этих материалов. Так, в настоящее время, актуальной остается проблема повышения эксплуатационных свойств различных клапанов, выполняемых из мартенситных сталей типа N18K9M5TPr, AISI410 H9S2 и др. (европейские стандарты).

В последнее время для улучшения конструктивных материалов применяют методы инженерии поверхности. Среди них выделяются методы азотирования, которые позволяют в значительной степени увеличить эксплуатационные свойства изделий из мартенситной стали. В работе [3] показано, что в результате газового азотирования усталостная выносливость стали N18K9M5TPr увеличивается на 45%. При этом процессе азотирования в течение 10-20 ч выносливость стали не зависит от температуры (450 - 470°C). Толщина и прочность

азотированного слоя и значения остаточных напряжений в указанных диапазонах температуры и времени влияния на выносливость не оказывают. В это же время наблюдалось ухудшение коррозионной выносливости в процессе азотирования при температуре выше 470°C.

Аналогичным образом проявляются свойства и у стали AISI410 (0,02C; 12Cr; 0,2Mn; 0,8Si), подверженной азотированию при применении термического разряда в течение 4-6 часов при температуре 500°C [4]. Дифракционные исследования показали наличие в азотированном слое таких элементов, как Fe₄N, Fe₂₋₃N и CrN. Толщина диффузионного слоя при восьмичасовом процессе составила 110 мкм, а микротвердость 1250HV0,025. Кроме того, эту сталь подвергали азотированию с помощью плазмы при температуре 590°C с добавлением водорода [5]. В этом случае был отмечен значительный рост микротвердости ~ 850HV1. Увеличение времени азотирования до 24 ч. привело к возрастанию толщины слоя со 110 мкм до 180 мкм.

Патеюк А., доцент каф. технологии машиностроения Белостокской Политехники, Республика Польша.

Проведены также исследования процесса азотирования для стали AISI420 (0,15C; 1Mn; 1Si; 13Cr) с помощью пульсирующего тока частотой 10 kHz при температуре 530°C и времени 20 часов [6]. Толщина азотированного слоя составила 60 мкм, а микротвердость – 1300HV 0,01.

1. Методика исследований

Эксперименты проводились на образцах из стали H9S2 (0,35 - 0,45C; 0,7 Mn; 2-3 Si; 8-10 Cr; 0,6 Ni). Упрочненные слои этой стали были получены в процессе термического азотирования в среде азота и водорода при температуре 450-650°C. Исследования проводили варьируя содержание азота и водорода в газовой смеси. Длительность процесса составила 3-6 ч. Параметры процессов представлены в таблице 1. Последние три процесса реализованы с применением катодного распыления.

Металлографические исследования образцов проводили с помощью приборной системы Neophot 2. Травление осуществляли на базе раствора HNO₃ и HF. Для измерения микротвердости использовали приставку Hanneman. Структурный состав определяли с помощью дифрактометра Philips PW 1830 с применением лампы CoKα. Износостойкость образцов определяли методом «три валика + конус» при нагрузке 200 Мпа. Химический состав стали определяли с использованием сканирующего микроскопа HITACHI S -3500N с приставкой EDS.

Таблица 1. Параметры процессов при азотировании мартенситной стали

Номер процесса	Температура °C	N ₂ :H ₂	Время, ч
1	450	1:2	6
2	520	1:2	6
3	570	1:2	3
4	620	1:2	3
5	650	1:2	3
6	550	1:1	3
7	550	2:1	3
8	550	1:4	3

2. Результаты исследований

Исследования микротвердости упрочненной стали показали, что термическое азотирование дает значительный прирост микротвердости (рис. 1), при этом повышение температуры свыше 600°C прироста микротвердости не дает.

Наибольший эффект поверхностного упрочнения достигался при использовании катодного распыления в процессе нагревания образца. В этом случае значения микротвердости были наибольшими и не зависели от состава газовой среды.

Детальный анализ механизма процесса термического азотирования показал, что активация диффузии азота достигается

ся разрушением тонкой пассивной поверхностной пленки окиси хрома.

В результате исследований микроструктуры поверхностного слоя образцов выявлено, что температура и время процесса прямо влияют на толщину упрочненного слоя.

Сравнение результатов процессов №2 и №8 (табл. 1) показало, что их параметры не влияют на толщину слоя (рис. 2). Заметим, что шестичасовая продолжительность процесса при температуре 450°C дает упрочненный слой толщиной 80 мкм, что адекватно трехчасовому процессу при температуре 570°C. Как показали эксперименты при реализации процесса №8 состав рабочего газа на толщину упрочненного слоя не влияет также и состав газовой среды (рабочего газа).

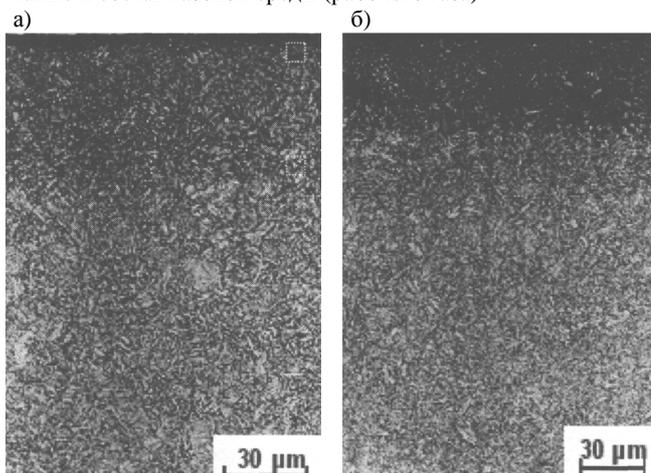


Рис. 2. Микроструктура поверхностных слоев: а) процесс №2; б) процесс №8.

Исследования химического состава азотированного поверхностного слоя с помощью сканирующего микроскопа позволили оценить фазовый состав отдельных зон.

В приповерхностном слое выявлены соединения, состоящие из нитридов железа Fe₄N и Fe₂₋₃N. Следует отметить различие в химическом составе приповерхностного слоя и по глубине диффузионных слоев образцов. Химический состав упрочненного слоя: N5,04%; Si5,69%; Cr12,45%; Fe76,82%; внутренние слои: N2,49%; Si4,61%; Cr10,15%; Fe82,75%.

По мере удаления от поверхности содержание азота, а также хрома и кремния уменьшается, причем химический состав обработанной стали становится близок к исходному состоянию.

На следующем этапе исследований проведены испытания на коррозионную стойкость этой стали. Построены кривые выносливости (рис. 3).

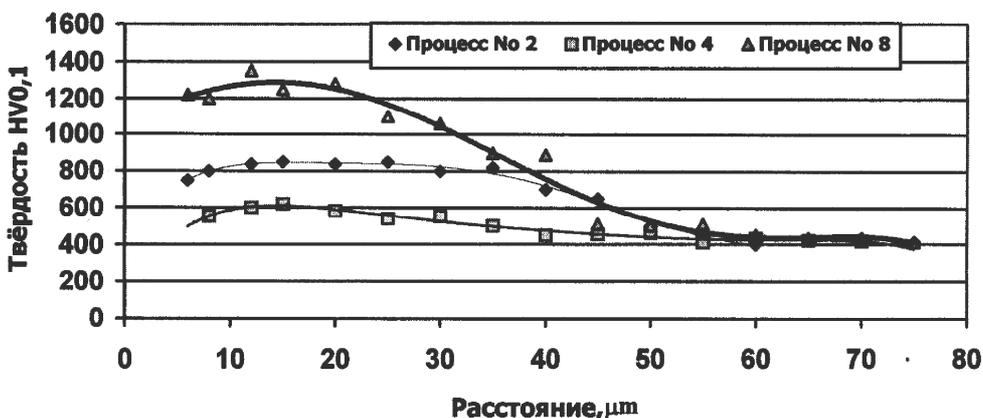


Рис. 1. Распределение микротвердости в процессе азотирования мартенситной стали.

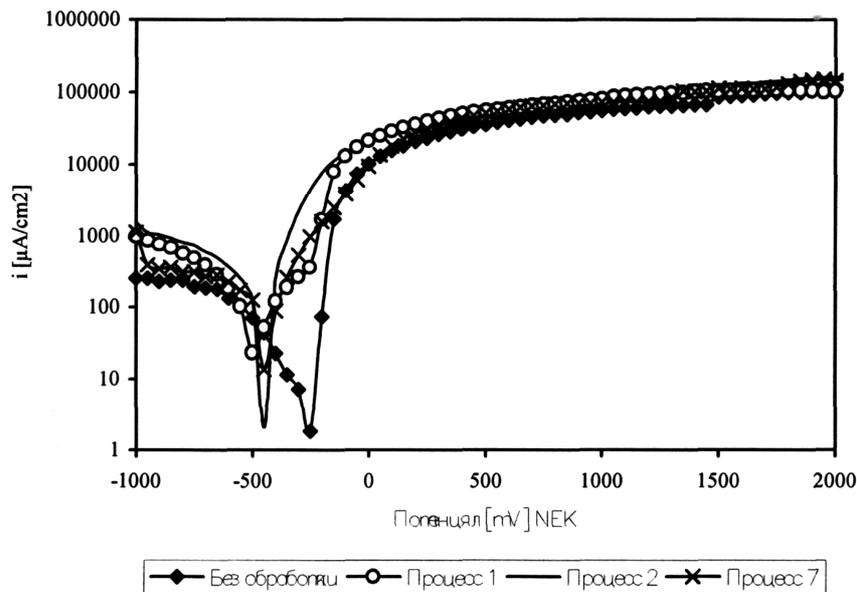


Рис. 3. Кривые коррозионной стойкости.

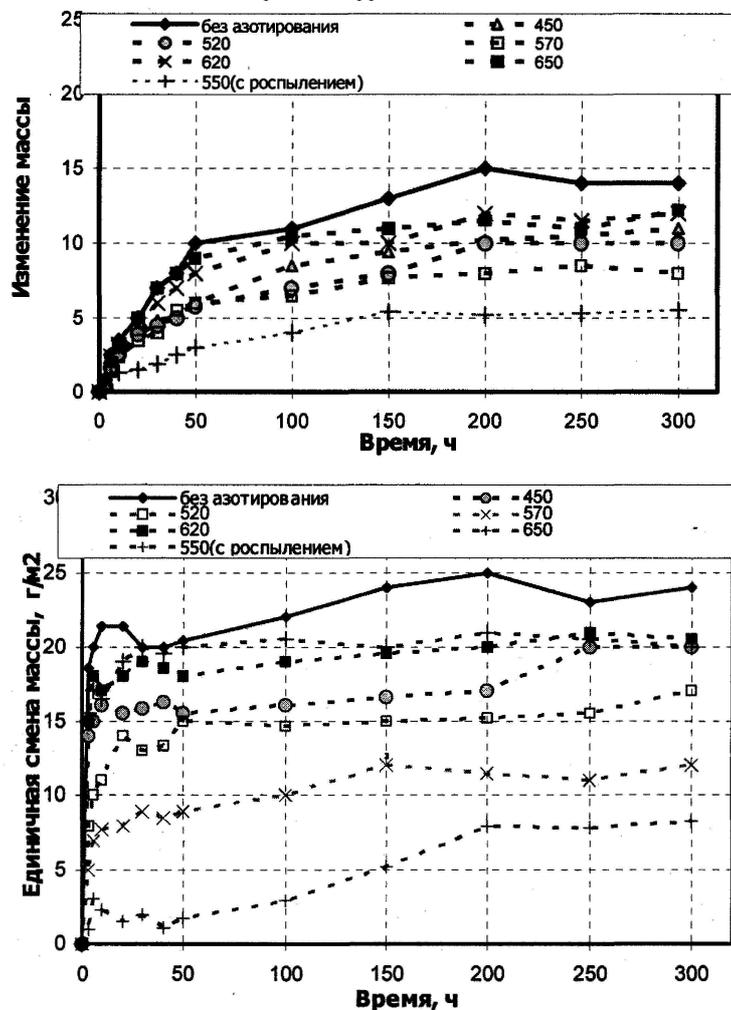


Рис. 4. Относительное изменение массы стали H9S2 в зависимости от температуры: а) – 7000С; б) – 9000С.

Результаты проведенных исследований показали, что термическое азотирование улучшает коррозионную стойкость испытуемой стали, о чем свидетельствует факт изменения коррозионного потенциала от 250mV до 500mV (рис. 3). Заметим,

что значения коррозионного тока возросли незначительно по отношению к исходному состоянию. Эксперименты показали, что наибольшей коррозионной стойкостью обладают образцы, упрочненные в результате процесса №2 ($T = 250^{\circ}\text{C}$).

Проведены исследования образцов из стали Н9S2 на жаростойкость в воздушной среде при температуре 700°C и 900°C и длительности процесса 300 часов. Во время исследований регистрировалось изменение массы образцов. При выемке образцов из печи их состояние анализировалось методом оболочечной окислы. Окисы устраняли механическим способом и мытьем в ультразвуковой мойке.

Результаты исследований жаростойкости подтвердили значительный эффект при азотировании стали в условиях термообработки с применением катодного распыления (процессы 6,7 и 8) рис. 4 а, б. Следует заметить, что образцы, обработанные этим способом обладают несколько худшей жаростойкостью в сравнении с предыдущими способами и в то же время лучшей жаростойкостью в сравнении с необработанными образцами.

На очередном этапе исследований проведены испытания образцов на абразивное изнашивание с целью определения их износостойкости. Эксперименты проводили с упрочненными и неупрочненными образцами. Результаты испытаний показали, что образцы после процесса азотирования имеют значительно большую износостойкость, чем необработанные образцы, которые изнашивались уже после 20 мин эксперимента. Самой высокой износостойкостью обладали образцы выполненные с помощью 6,7,8 процессов, при этом микротвердость поверхностных слоев была самая высокая. Низкую износостойкость и микротвердость имел слой, образованный в результате высокотемпературного процесса.

3. Выводы и предложения.

На основании проведенных исследований можно заключить:

1. Термическое азотирование с применением методики катодного распыления позволяет в значительной степени повысить микротвердость мартенситной стали.
2. Толщина упрочненного слоя в прямой степени зависит от температуры и времени процесса, увеличение этих параметров приводит к возрастанию толщины диффузионного слоя.

3. Состав газовой смеси не оказывает значительное влияние на изменение свойств поверхностных слоев.
4. Процесс азотирования испытуемой стали в условиях термического разряда существенно не увеличивает ее коррозионную стойкость и жаростойкость.
5. Термическое азотирование вызывает значительные улучшения трибологических свойств материала. Определены зависимости между износостойкостью и микротвердостью поверхностных слоев.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Bystrzycki J., Varin R.A., Bojar Z. Postep w badaniach stopow na bazie uporzadkowanych faz miedzymetalicznych z udzialem aluminium. Inzynieria materialowa. Nr 5, (1996) str. 94.
2. Jozwiak S., Bojar Z., Bystrzycki J. Analiza odpornosci korozyjnej i zaroodpornosci stopow na osnowiefaz miedzymetalicznych. Krzepniecie metali i stopow. Nr 27, (1996) str. 107.
3. Karlinski W., Tacikowski J., Wlasnosc azotowanych stali martenситowej utwardzanych wydzieleniowo. Inzynieria powierzchni, 3, (1998) str. 3.
4. Bacci T., Borgioli F., Galvanetto E., Pradeli G., Glow-discharge nitriding of sintered stainless steel. Surface and Coatings Technology 139, (2001) str.251
5. Stagno E., Pinasco M.R., Palombarini G., Ienco M.G., Bocchini G.F. Behaviour of sintered 410 carbon steels towards ion nitriding. Journal of Alloys and Compounds, 247, (1997) str. 172.
6. Alphonsa I., Chainani A., Raole P.M., Ganguli B., John P.I., A study of martensitic stainless steel AISI420 modified using plasma nitriding, Surface and Coatings Technology 150, (2002) str. 263.
7. J.R. Sobiecki, P. Mankowski, A. Patejuk: Improving the performance properties of valve martensitic steel by glow discharge-assisted nitriding: Vacuum Vol. 76 (2004) 57-61.

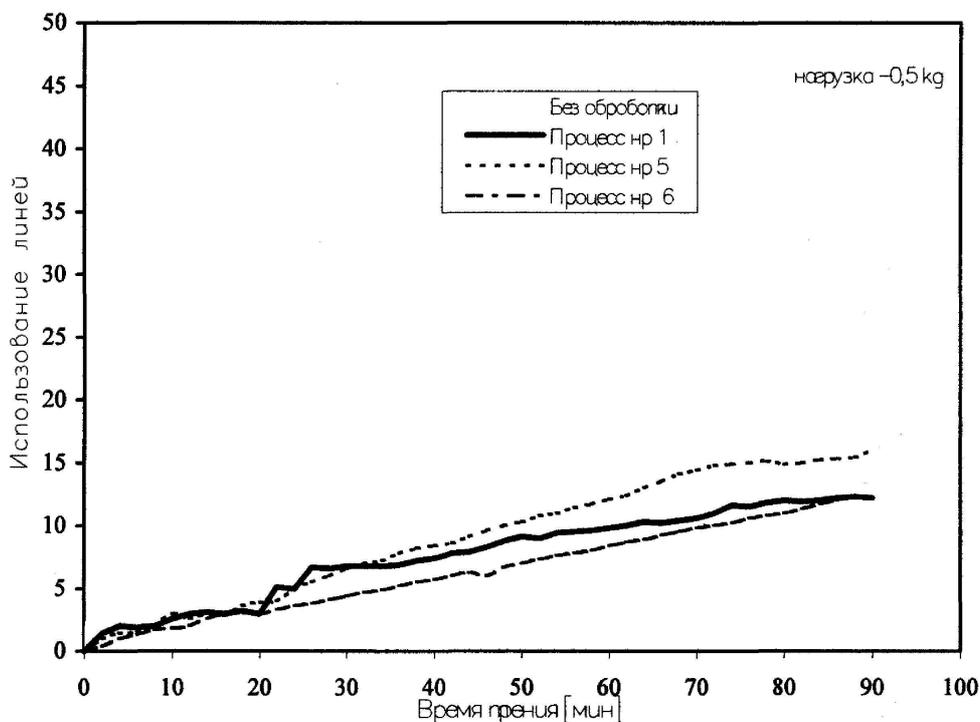


Рис. 5. Кривые износа мартенситной стали.