

УДК 669.15–194.55

Э.Г. Шарифова, О.В. Силина, К.В. Макарова
E.G. Sharifova, O.V. Silina, K.V. Makarova

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Perm National Research Polytechnic University

АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ ПО ИЗУЧЕНИЮ СПОСОБОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА АЗОТИРОВАНИЯ

ANALYSIS OF PUBLISHED DATA TO EXAMINE WAYS OF INTENSIFICATION OF THE PROCESS OF NITRIDING

Рассмотрено влияние исходного состояния материалов на процесс диффузионного насыщения сталей с мартенситной структурой. Изучение технологий азотирования, позволяющих интенсифицировать процесс насыщения, помогло определить, что для повышения износостойкости целесообразно использовать ионное азотирование, которое способствует сокращению времени насыщения. Данные по влиянию дислокаций на диффузию атомов внедрения противоречивы, необходимо проведение дальнейшего исследования по этой теме.

Ключевые слова: азотирование, низкоуглеродистые мартенситные стали, пакетный мартенсит, интенсивная пластическая деформация, плотность дислокации.

Influence of an initial condition of materials on process of diffusive saturation staly with martensitny structure is considered. Studying of the technologies of nitriding allowing to intensify process of saturation is defined that for increase of wear resistance it is expedient to use the ionic nitriding allowing to reduce saturation time, the introductions given on influence of dislocations on diffusion of atoms are contradictory, carrying out further research on this subject is necessary.

Keywords: nitriding, low carbon martensitic steels, packet m artensite, severe plastic deformation, dislocation density.

В настоящее время актуальной является задача разработки таких технологий химико-термической обработки (ХТО), которые обеспечивают заданные эксплуатационные свойства поверхностного слоя изделий, существенное сокращение времени получения диффузионных слоев рабочей толщины и поиск новых материалов для азотирования.

Среди различных методов ХТО все большее применение находит азотирование, благодаря которому упрочненные детали имеют более высокую из-

носостойкость и твердость поверхностного слоя, малую деформацию обрабатываемых деталей [1].

Существенное преимущество азотирования заключается в возможности регулирования состава и строения диффузионного слоя путем контроля насыщающей атмосферы. В промышленности активно используется как печное, так и ионное азотирование. Эти процессы при всех достоинствах обладают общим недостатком – большой продолжительностью насыщения (десяти часов), что требует решения проблемы интенсификации технологического процесса [3].

На данную тему проведено много исследований и предложены следующие способы сокращения длительности процесса азотирования:

- 1) повышение температуры насыщения [2];
- 2) изменение состава насыщающей среды [4];
- 3) применение параметра контроля аммиачных азотирующих сред – парциального давления кислорода [2];
- 4) применение нагрева токами высокой частоты [2];
- 5) применение «кипящего слоя» [2];
- 6) применение повышенных давлений [2];
- 7) применение ультразвуковых колебаний [2];
- 8) термогазоциклическое азотирование [5];
- 9) применение коронного и тлеющего разряда [2];
 - использование эффекта полого катода (ЭПК) [6];
 - наложение на тлеющий разряд магнитного поля [7];
 - легирование сталей нитридообразующими элементами V, Cr, Mo, W и Al при лазерном нагреве и последующем ионном азотировании [8];
 - применение дугового газового разряда низкого давления (0,1–1 Па) [9];
 - газобарическое азотирование сталей [10];
 - применение технологий вакуумного азотирования;
 - гидроплазменное азотирование [3];
- 10) применение различных методов активации поверхности (фосфатирование, введение в печь депассиваторов типа CCl_4 , NH_4Cl , прокаленного магнетита, медной стружки, окислов азота, анилина и т.д.) [1];
- 11) измельчение зерна аустенита [11];
- 12) применение сталей со структурой низкоуглеродистого мартенсита [12].

Наибольшее распространение в настоящее время получил процесс азотирования в тлеющем разряде (ионное азотирование). Он позволяет сократить время насыщения в 1,5–2 раза по сравнению с газовым печным азотированием, получить диффузионный слой регулируемого состава и свойств, характеризуется незначительными деформациями изделий и высоким классом чистоты [13].

В качестве азотируемых материалов чаще других применяют среднеуглеродистые улучшаемые стали типа 38Х2МЮА. Они обладают рядом недостатков, ограничивающих их применение: склонность к обезуглероживанию и перегреву, чувствительность к изменению состава в пределах марки, закалка в жидких средах, большая склонность к деформации при азотировании, хрупкость, малая толщина и шелушение азотированного слоя, непригодность для изготовления тяжело нагруженных и крупногабаритных деталей, невысокий комплекс свойств сердцевины и др. [14].

В ряде работ [17, 18] показана возможность применения низкоуглеродистых мартенситных сталей (НМС) взамен улучшаемых сталей типа 38Х2МЮА для изготовления азотируемых деталей.

Применение более технологичных материалов – низкоуглеродистых мартенситных сталей – позволит расширить номенклатуру, упростить и удешевить изготовление деталей. Их «рабочей» структурой является низкоуглеродистый мартенсит, дефектность и устойчивость структуры которого обеспечивают существенное увеличение толщины слоя практически без коробления и деформаций [15].

Известно, что все структурные дефекты вакансии, границы зерен и субграницы, внешняя поверхность, дислокации и т.д. оказывают влияние на диффузионную подвижность атомов. При химико-термической обработке реализуется как объемная диффузия, которая дает основной вклад в диффузионный поток, так и диффузия по границам зерен.

Диффузия вдоль границ зерен происходит с гораздо большей скоростью, чем в объеме зерна. Это объясняется тем, что высокоугловые границы независимо от их физической модели содержат повышенную концентрацию вакансий и нарушений периодичности расположения атомов, что увеличивает вероятность атомных переходов и уменьшает энергию активации диффузии. Энергия активации диффузии по границам составляет 0,5–0,7 от энергии активации по объему зерна. Влияние границ зерен особенно велико при низких температурах диффузии, например при азотировании.

Таким образом, чем мельче зерно, тем больше протяженность границ, тем быстрее происходит диффузия, и при прочих равных условиях толщина диффузионного слоя оказывается большей.

Многие исследователи считают, что ускорение диффузии по границам зерен имеет место только для элементов, диффундирующих по вакансиям, например хрома [13]. Однако прямыми исследованиями показана преимущественная диффузия по высокоугловым границам и примесей внедрения, таких как азот и углерод [13].

Данные по влиянию дислокаций на диффузию атомов внедрения противоречивы.

В.Г. Борисов, В.М. Голиков и Г.В. Щербединский показали, что повышение плотности дислокации в результате пластической деформации снижает коэффициент диффузии углерода в железе независимо от состава сплава и типа кристаллической решетки. Авторы объясняют это тем, что связь атомов углерода с дефектами сильнее, чем с атомами железа, вследствие чего время «оседлой жизни» атомов углерода вблизи дефекта больше, чем в правильной решетке. Влияние плотности дислокации особенно велико при низких температурах и менее заметно при высоких (550 °С и выше).

По данным Ю.М. Лахтина, В.Д. Кальнера и др., наоборот, предварительная холодная деформация увеличивает глубину насыщения углеродом при цементации 930–950 °С. Максимальная толщина цементованного слоя отмечена при степени деформации 25 %. Дальнейшее увеличение степени деформации приводит к снижению толщины, и при деформации 75 % она становится близкой к толщине слоя недеформированных образцов.

По данным Т.Н. Липчина и др., если диффузия атомов внедрения происходит во время деформации, то она ускоряется [13].

Высокой плотностью дефектов кристаллического строения и развитой субструктурой обладают низкоуглеродистые стали в закаленном состоянии; наряду с этим стали имеют достаточно высокую пластичность. Это дает возможность подвергать пластической деформации предварительно закаленные на мартенсит низкоуглеродистые стали и тем самым оказывать существенное влияние на количество и распределение в них дефектов кристаллического строения [16].

Измельчение структуры и создание структуры с высокой плотностью дефектов кристаллического строения возможно с помощью методов интенсивной пластической деформации (ИПД). Известны такие методы ИПД, как всесторонняя ковка, кручение под высоким давлением (КВД), равноканальное угловое прессование (РКУП), штамповка с обкатыванием, винтовая экструзия, электропластическая деформация, ультразвуковая поверхностная обработка, радиальная ковка (РК).

Среди перечисленных методов интенсивной пластической деформации именно РК нашла широкое применение, так как дает:

- возможностьковки малопластичных и труднодеформируемых сталей и сплавов;
- возможность изготовления деталей от штучной до крупносерийной партии;
- получение деталей с чистовыми размерами и заданными механическими свойствами при холодном формообразовании;
- возможность обработки крупногабаритных деталей;
- высокий коэффициент использования материала (КИМ).

Таким образом, на основании проведенного анализа литературных источников по изучению технологий азотирования, позволяющих интенсифицировать процесс насыщения, можно сделать следующие выводы:

1. Для повышения износостойкости целесообразно использовать ионное азотирование, позволяющее сократить время насыщения.
2. Для насыщения необходимо использовать более технологичные материалы – низкоуглеродистые мартенситные стали.
3. Необходимо проведение дальнейшего исследования по этой теме, поскольку данные по влиянию дислокаций на диффузию атомов внедрения противоречивы.
4. Для исследования влияния деформированного состояния на процесс насыщения азотом более рационально применение радиальнойковки.

Список литературы

1. Могильная Е.П., Дубасов В.М. Ионное азотирование изделий из конструкционной стали 38ХМФА // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні. – 2013. – № 1. – С. 193–198.
2. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д. Азотирование стали. – М.: Машиностроение, 1976. – 256 с.
3. Петрова Л.Г., Александров В.А., Демин П.Е. Химико-термическая обработка сталей в плазме гидростатического тлеющего-искрового разряда // МиТОМ. – 2012. – № 6. – С. 41–46.
4. Александров В.А., Грачев А.В., Барабанов С.И. Сокращение длительности процесса азотирования коррозионно-стойких сталей // МиТОМ. – 2011. – № 7. – С. 37–39.
5. Белашова И.С., Шашков А.О. Кинетика роста диффузионного слоя при термогазоциклическом способе азотирования // МиТОМ. – 2012. – № 6. – С. 46–50.
6. Будилов В.В., Агзамов Р.Д., Рамазанов К.Н. Ионное азотирование в тлеющем разряде с эффектом полого катода // МиТОМ. – 2007. – № 7. – С. 33–36.
7. Будилов В.В., Рамазанов К.Н., Вафин Р.К. Ионное азотирование инструментальных сталей с наложением магнитного поля // МиТОМ. – 2011. – № 7. – С. 40–42.
8. Чудина О.В. Азотирование стали легированной при лазерном нагреве // МиТОМ. – 2004. – № 1. – С. 36–40.
9. Ионно-плазменное азотирование легированной стали с применением дугового плазмогенератора низкого давления / Д.П. Борисов, В.В. Гончарова,

В.М. Кузьмиченко, В.М. Савостиков, С.М. Сергеев // МиТОМ. – 2006. – № 12. – С. 11–14.

10. Газобарическое азотирование сталей / С.А. Герасимов, В.А. Голиков, М.А. Гресс, Г.Г. Мухин, В.И. Сноп // МиТОМ. – 2004. – № 6. – С. 7–9.

11. Силина О.В., Югай С.С. Влияние размера зерна аустенита на азотируемость низкоуглеродистой мартенситной стали 12Х2Г2НМФТ // МиТОМ. – 2010. – № 11. – С. 57–61.

12. Силина О.В. Азотирование сталей со структурой низкоуглеродистого мартенсита для поверхностного упрочнения деталей машиностроения: дис. ... канд. техн. наук. – Пермь, 1999.

13. Термическая обработка в машиностроении: справ. / под ред. Ю.М. Лахтина, А.Г. Рахштадта. – М.: Машиностроение, 1980. – 783 с.

14. Садовский В.Д. Структурная наследственность в стали. – М.: Металлургия, 1973. – 205 с.

15. Физические основы термоциклической обработки стареющих сплавов / Р.Л. Тофпенек, И.И. Шиманский, А.Г. Анисович, А.Д. Грешилов. – Минск: Навука і тэхніка, 1992. – 190 с.

16. Влияние холодной пластической деформации методом радиальнойковки на структуру и свойства стали 10Х3Г3МФ / А.Н. Балахнин, Д.О. Панов, М.Г. Титова, А.С. Перцев, А.И. Смирнов, Ю.Н. Симонов // МиТОМ. – 2012. – № 11. – С. 22–27.

17. Югай С.С., Клейнер Л.М., Шацов А.А. Азотирование низкоуглеродистой мартенситной стали 12Х2Г2НМФТ // МиТОМ. – 2006. – № 3. – С. 27–30.

18. Силина О.В. Азотирование сталей со структурой низкоуглеродистого мартенсита для поверхностного упрочнения деталей машиностроения: дис. ... канд. техн. наук. – Пермь, 1999.

Получено 02.06.2015

Шарифова Эльвира Гиззатовна – магистрант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, механико-технологический факультет, гр. МТО-13м, e-mail: el.sharifowa@yandex.ru.

Силина Ольга Валентиновна – кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения, термической и лазерной обработки металлов, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, механико-технологический факультет, e-mail: silina-olga@mail.ru.

Макарова Ксения Викторовна – магистрант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, механико-технологический факультет, гр. МТО-14м, e-mail: mak_ks@mail.ru.