

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 621.785.53

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СТАЛИ 20 ПОСЛЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ГАЗОБАРИЧЕСКОГО АЗОТИРОВАНИЯ

*Крукович М.Г., Федотова А.Д.**Российский университет транспорта (МИИТ),
Российская федерация, Москва*

STUDYING THE PROPERTIES OF STEEL 20 AFTER LOW-TEMPERATURE GAS-BARIC NITRIDING

*Krukovich M.G., Fedotova A.D.**Russian University of Transport (MIIT),
Russian Federation, Moscow*

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2022.1.96.1631

АННОТАЦИЯ

В работе рассмотрен мало исследованный процесс низкотемпературного газобарического азотирования в закрытых контейнерах без применения аммиака. Процесс обработки является экологичным и энергосберегающим. На примере стали 20 показана эффективность обработки низкоуглеродистых и низколегированных сталей феррито-перлитного класса. Получаемые слои на основе α -твердого раствора имеют большую скорость роста, чем при других низкотемпературных газовых процессах азотирования. Исследована кинетика процесса обработки и износостойкость получаемых слоев на машине типа Шкоды-Савина. Повышение твердости азотированных образцов (в 3 – 4 раза), износостойкости (в 4 – 9 раз) в сочетании с образованием на поверхности сжимающих остаточных напряжений обеспечит и повышение работоспособности обработанных деталей.

ABSTRACT

The paper considers a little studied process of low-temperature gas-baric nitriding in closed containers without the use of ammonia. The processing process is environmentally friendly and energy-saving. The example of steel 20 shows the efficiency of processing low-carbon and low-alloy steels of the ferrite-pearlitic class. The resulting layers based on α -solid solution have a higher growth rate than in other of low-temperature gas nitriding processes. The kinetics of the processing process and the wear resistance of the resulting layers were studied on a Skoda-Savina type machine. An increase in the hardness of nitrided specimens (by 3–4 times), wear resistance (by 4–9 times), combined with the formation of compressive residual stresses on the surface, will also increase the performance of machined parts.

Ключевые слова: азотирование, низкоуглеродистые стали, низкотемпературный газобарический процесс, контейнеры, α -твердый раствор азота, нитриды, твердость, износостойкость, сжимающие напряжения.

Key words: nitriding, low-carbon steels, gas-baric process of low-temperature, containers, α -solid solution of nitrogen, nitrides, hardness, wear resistance, compressive stresses.

Введение

Значительный практический интерес представляет применение азотирования для низкоуглеродистых и низколегированных сталей феррито-перлитного класса, которое в литературе освещено недостаточно. В то же время большая номенклатура деталей изготавливается из этой группы сталей: втулки, направляющие, шайбы, шатуны, детали водяных насосов, переключатели скоростей, корпуса, оси, детали автосцепного устройства подвижного состава и т.д. При этом замена сталей на более дорогие среднеуглеродистые и легированные стали с целью повышения эксплуатационных свойств по экономическим, технологическим и эксплуатационным требованиям работы узлов машин нецелесообразна.

В настоящее время процесс азотирования по температуре проведения, в соответствии с

существующими классификациями [1 - 4] разделен на низкотемпературное ($T < 590$ °C), среднетемпературное ($590 - 727$ °C) и высокотемпературное ($T > 727$ °C). Наибольшее применение находит низкотемпературное азотирование для обработки средне- и высокоуглеродистых конструкционных и инструментальных сталей и чугунов с целью придания высокой твердости, износостойкости, контактной выносливости и коррозионной стойкости. К менее традиционным материалам, применяемым при азотировании, следует отнести недорогие и недефицитные низкоуглеродистые и низколегированные стали феррито-перлитного класса марок: сталь 10, 15, 20, 10X, 15X, 15XH, 20Г, 20ГФЛ, 09Г2С и др. Как правило их используют в нормализованном или отожженном состоянии. В то же время детали, изготавливаемые из этой группы сталей требуют повышения своих

эксплуатационных характеристик: твердости, износостойкости, усталостной прочности и т.п.

Поэтому целью настоящей работы является исследование азотирования сталей феррито-перлитного класса (на примере стали 20) низкотемпературным газобарическим способом, а также исследование свойств получаемых слоев.

Методы и принципы исследования

Известен процесс высокотемпературного газобарического азотирования высоколегированных сталей 16X2H3MФБАЮ-Ш (мартенситный класс), 12X18H10T (аустенитный класс) и технического железа при температурах 950 – 1150 °С с выдержкой 3 ч, а также после дополнительной термической обработки — отпуска при 300 – 600 °С в течение 1 ч [5]. В то же время применение высокотемпературного газобарического процесса с использованием аммиака для феррито-перлитного класса сталей является нецелесообразным, так как значительно ухудшаются механические характеристики объема детали.

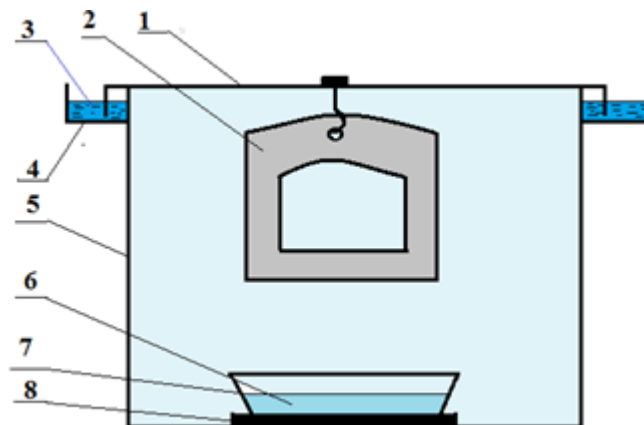
Процесс низкотемпературного газобарического азотирования проводился в контейнерах с плавким затвором [6]. Газовая насыщающая среда в объеме контейнера образовывалась в результате диссоциации карбамида. Использование широко применяемого аммиака не предусматривалось. Плавкий затвор

препятствовал выходу насыщающей атмосферы из объема контейнера и проникновению воздуха из внешней среды. В состав плавкого затвора входили борный ангидрид (B_2O_3) и кварцевый песок (SiO_2) в соотношении 30/70.

Контейнеры изготавливались из листовой стали марки Ст3, толщиной 3 мм, путем сварки (Рис. 1). Герметичность сварных швов проверялась заполнением объема керосином. Для многократного использования контейнеров целесообразно листовые заготовки подвергать силицированию в жидких, порошковых или газовых средах, а также из образцов [3, 7 - 9].

Образцы для исследования изготавливались из качественной стали 20, химический состав которой соответствовал ГОСТ 1050-2013.

Металлографический анализ азотированных образцов проводили на микроскопе МИМ-7 и на оптическом микроскопе РМЕ-3 "OLYMPUS", снабженном цифровой видеокамерой, с использованием анализатора изображения IA-3001 фирмы "LECO". Измерение твердости проводили на приборе ПМТ-3 при нагрузках 10 и 20 г. Полученные значения микротвердости соответствовали значениям твердости МИКРО-ВИККЕРСА (ГОСТ Р 1.0-2004). За толщину азотированного слоя принималось расстояние от поверхности до точки выравнивания твердости слоя и сердцевины.



1 – крышка; 2 – обрабатываемая деталь; 3 – плавкий затвор; 4 – буртик для плавкого затвора; 5 – корпус контейнера; 6 – газообразующая смесь; 7 – тигель для солевой составляющей; 8 – подставка.
Рис. 1 – Контейнер для газобарического азотирования.

Исследование износостойкости проводили на машине типа Шкоды-Савина. Контртелом служил твердосплавный диск из сплава марки ВКб. Влияние скорости скольжения диска на объем образующейся лунки ($мм^3$) на исследованных образцах определялось при нагрузке 2 кгс и пути трения, равном 200 м.

Анализ и результаты исследования

Важным аспектом повышения работоспособности деталей массового использования (направляющих, шайб, втулок, осей, шатунов, деталей водяных насосов, переключателей скоростей, корпусов, и т.п.) является не только повышение твердости и износостойкости, но и образование на

поверхностях напряжений сжатия после азотирования.

К перечисленным выше деталям, которые требуют повышения работоспособности, следует добавить:

- изношенные детали, размеры которых восстановлены сварочными технологиями или гальваническим железнением;
- детали с дискретными упрочняющими сварными валиками;
- фильтры (решетки) для очистки жидкостей от вредных примесей.

Для восстановления размеров изношенных деталей, изготовленных из низколегированных и низкоуглеродистых сталей, используют такие же

или близкие по химическому составу электроды. При этом в наплавленных слоях образуются после охлаждения остаточные напряжения растяжения, которые значительно снижают ресурс работы этих деталей. Поэтому применение азотирования для устранения дефектов сварочных технологий весьма целесообразно с позиции формирования остаточных напряжений сжатия, которые повышают работоспособность восстановленных деталей иногда до уровня вновь изготовленных.

В условиях ремонтного и других видов производств весьма рентабельной технологией является низкотемпературное газобарическое азотирование в закрытых контейнерах бесконтактным способом (Рис. 1). Газовая насыщающая атмосфера внутри контейнера образуется при диссоциации солевой составляющей (например, карбамида), отдельно

расположенной от деталей внутри контейнера в специальной емкости. При контактном способе детали в контейнере упаковывают вместе с порошковой насыщающей смесью, а массоперенос протекает также через газовую среду, которая образуется в результате взаимодействия компонентов смеси. Эти процессы нашли отражение в классификационной схеме процесса азотирования [4] и описаны в литературе [10].

Азотированные слои, получаемые при низкотемпературном газобарическом азотировании в силицированных контейнерах, на низкоуглеродистых сталях состоят в основном из α – твердого раствора при небольшой толщине слоя нитридов (~ 3 – 5 мкм). Следует заметить, что малая толщина слоя нитридов не препятствует максимальной скорости роста α – фазы (Рис. 2).

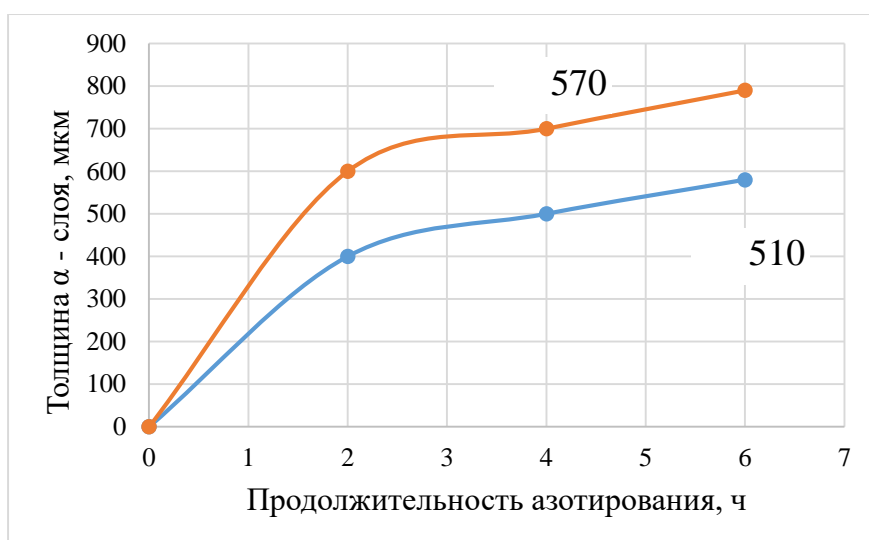


Рис. 2 – Влияние продолжительности азотирования на толщину слоя стали 20 при расходе карбамида 0,075 г/см³ в закрытом контейнере.

Повышение содержания карбамида в контейнере сопровождается снижением скорости образования на обрабатываемой поверхности слоя нитридов, толщиной более 10 мкм (Рис. 3). рост α – фазы, что связано с быстрым

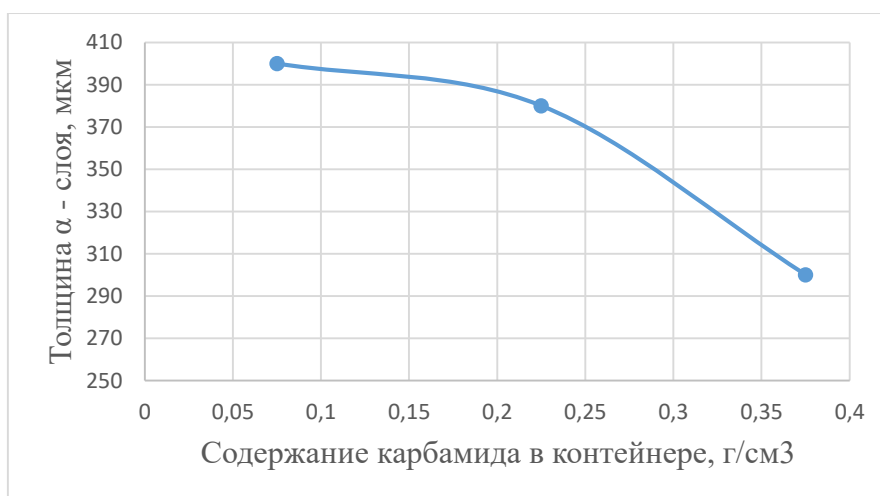


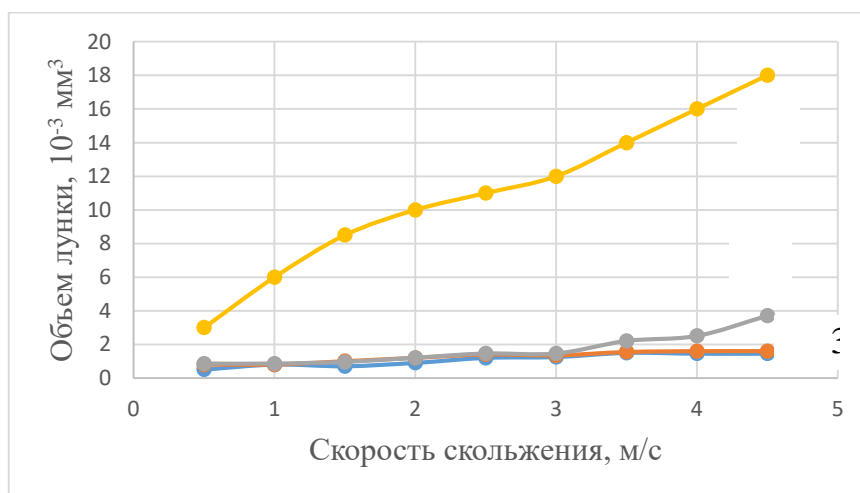
Рис. 3 – Влияние содержания карбамида в контейнере на толщину α – твердого раствора (510 °C, 2 ч).

Установленный факт торможения роста α – твердого раствора слоем нитридов определенной толщины (более 7 мкм) хорошо согласуется с литературными данными [2, 4, 6, 11]. Слои на основе α – твердого раствора получают и при высокоэффективном ионном азотировании в аммиачной среде при определенных значениях давления, электрических параметров и степени разбавления аммиака, которые обеспечивают максимальный рост α – фазы при минимальной толщине слоя нитридов (до 7 мкм) [12, 13].

Измерение твердости в начале α – твердого раствора азотированного слоя показало, что с увеличением времени обработки от 1 до 6 ч она увеличивается от 220 до 400 HV, при этом по толщине слоя она плавно снижается до твердости сердцевины (110 HV).

Сравнительные исследования износостойкости слоев на основе α – твердого раствора, полученных при ионном азотировании

(510 °С, 5 ч, 10 % NH_3 , сталь 40X) и при низкотемпературном газобарическом азотировании (510 °С, 3 ч, расход карбамида 0,075 г/см³, сталь 20), проведенное на машине типа Шкоды – Савина, показали высокие результаты по отношению к необработанным поверхностям стали 20 (Рис. 4). Присутствие нитридной зоны на поверхности образцов практически не влияет на износостойкость слоев до скоростей трения, равных 3 м/с, а с увеличением скорости скольжения вносит существенный вклад в сохранение уровня износостойкости (Рис. 4, кривые 3 и 4). Эффект сохранения износостойкости обусловлен препятствием слоя нитридов адгезионному взаимодействию пары трения. Испытания азотированных слоев со снятым слоем нитридов при скоростях скольжения больших 3 м/с приводит к явлениям схватывания отдельных участков поверхностей пары трения и к незначительному снижению износостойкости (Рис. 4, кривая 2).



1 – сталь 20 после отжига; 2 – азотированный слой стали 20 после газобарического процесса со снятой нитридной зоной (только α – твердый раствор); 3 – азотированный слой стали 20 после газобарического процесса с наличием слоя нитридов, толщиной 3 мкм;
4 – азотированный слой стали 40X после ионного процесса;

Рис. 4 - Влияние скорости скольжения на износостойкость азотированных слоев:

Принимая во внимание одновременное повышение твердости азотированных деталей (в 3 – 4 раза), износостойкости (в 4 – 9 раз) в сочетании с образованием на поверхности сжимающих остаточных напряжений, следует ожидать и существенного повышения их работоспособности в реальных условиях эксплуатации.

Заключение

Проведенное исследование феррито-перлитной стали 20 показало обоснованную возможность и целесообразность азотирования деталей, изготовленных из низкоуглеродистых и низколегированных сталей феррито-перлитного класса в низкотемпературном интервале 510 – 570 °С.

Рассмотренная технология низкотемпературного газобарического азотирования в закрытых контейнерах без использования аммиака, обеспечивающая достаточно высокую скорость образования слоев

на основе α – твердого раствора, может быть использована для упрочнения как вновь изготовленных деталей, так и изношенных и восстановленных сварочными технологиями. Рекомендуемый расход карбамида в объеме контейнера составляет 0,05 – 0,2 г/см³. Повышение твердости, рассмотренной стали 20, доходит до 400 HV. Для восстановленных деталей дополнительное важным фактором является устранение сварочных растягивающих остаточных напряжений. Образующиеся сжимающие остаточные напряжения в сочетании с повышенной твердостью (повышение в 3 – 4 раза) и износостойкостью (повышение в 4 – 9 раз) обеспечат и повышение усталостной прочности и работоспособности азотируемым деталям. При этом примененный низкотемпературный газобарический процесс азотирования в закрытых контейнерах без использования аммиака

отличается от традиционных низкотемпературных газовых процессов кратковременностью обработки (2 – 4 ч), экологичностью, низкой энергопотребляемостью и не требует для своего проведения дорогого и сложного оборудования.

Список использованной литературы

1. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д. Азотирование стали. – М: Машиностроение, 1976. – 256 с.
2. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д., Шпис Г.-Й., Бемер З. Теория и технология азотирования. – М.: Металлургия, 1991, –320 с.
3. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. / Справочник под редакцией проф. Л.С. Ляховича. – М.: Металлургия, 1981. – 424 с.
4. Крукович М.Г. Моделирование процесса азотирования // МиТОМ. - 2004, № 1. С. 21 – 25.
5. Герасимов С.А., Голиков В.А., Гресс М.А., Мухин Г.Г., Сноп В.И. Газобарическое азотирование сталей // МиТОМ, 2002, № 6. С. 7 – 9.
6. Федотова А.Д., Крукович М.Г. Прединформационный расчет толщины фаз азотированных слоев. // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – №12-1 (114). – С.108-113.
doi.org/10.23670/IRJ.2021.114.12.016.
7. Ляхович Л.С., Ворошнин Л.Г., Щербаков Э.П., Панич Г.Г. Силицирование металлов и сплавов. – Мн.: Наука и техника, 1972, 277 с.
8. А. с. 522280 СССР, МПК С 23 С 9/10. Состав среды для цирконосилицирования / Ляхович Л.С., Крукович М.Г., Туров Ю.В., Наумчик А.А., Левитан С.Н. (СССР). 2079143/01; заявлено 26.11.74; оубл.25.07.76, Бюл.№ 27.
9. Крукович М.Г., Федотова А.Д. Пути повышения жаростойкости силицированных слоев // Международный научно-исследовательский журнал. № 1(91). 2020. Часть 1. С. 18 – 21. DOI: 10.18454/IRJ.2227-6017.
10. Крукович М.Г., Федотова А.Д. Азотирование легированных сталей в твердых средах // Новые материалы и технологии в машиностроении. 2021, Вып. 33, С. 33 - 37
11. Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов. – М.: Металлургия, 1985, 256 с.
12. Ratajski J. Model of growth kinetics of nitride layers in the binary Fe – N system.//Nitriding technology. Proceedings the 9th international seminar. Warsaw, Poland 2003. P. 149-159.
13. Арзамасов Б.Н. Братухин А.Г., Елисеев Ю.С., Панайоти Т.А. Ионная химико-термическая обработка сплавов. – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999, 400 с.

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ МОЕЧНОГО УЧАСТКА

Тойгамбаев С.К.,

к.т.н., профессор кафедры технической эксплуатации технологических машин и оборудования природообустройства, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А.Тимирязев.

Абенев А.Т.

аспирант кафедры технической эксплуатации технологических машин и оборудования природообустройства. Российский государственный аграрный университет МСХА им. К.А. Тимирязева.

Буканов Е.С.

аспирант кафедры технической эксплуатации технологических машин и оборудования природообустройства, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А.Тимирязев.

S. K. Toigambayev,

Professor of the Department of Technical Operation of Technological Machines and Equipment of Environmental Management, K. A. Timiryazev Russian State Agrarian University – MSHA.

Abenov A. T.

postgraduate student of the Department of Technical Operation of Technological machines and Equipment of Environmental Management. Russian State Agrarian University of the Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev.

Bukanov E. S.

postgraduate student of the Department of Technical Operation of Technological Machines and Equipment of Environmental Management, FSUE IN RGAU – MSHA named after K.A.Timiryazev.