

- Саблев Л.П., Шулаев В.М., Григорьев С.Н. Харьков: ННЦ «ХФТИ», 2005. 236 с.
- Хороших В.М. Капельная фаза эрозии катода стационарной вакуумной дуги // Физическая инженерия поверхности. 2004. Т. 2. № 4. С. 200–213.
 - Аксенов А.И. Вакуумная дуга в эрозионных источниках плазмы. Харьков: ННЦ «ХФТИ», 2005. 212 с.
 - Аксёнов И.И., Падалка В.Г., Хороших В.М. Формирование потоков металлической плазмы: Обзор. М.: ЦНИИАтоминформ, 1984. 84 с.
 - Сайт фирмы PLATIT: [http://www.platit.com], 07.06.2008.
 - Локтев Д. А. Наноструктурные покрытия высокопроизводительного инструмента // Стружка. 2004. № 4(7). С. 12–17.
 - Исследование капельной фазы эрозии катода стационарной вакуумной дуги / Аксенов И.И., Коновалов И.И., Кудрявцева Е.Е. и др. // ЖТФ. 1984. Т. 54. № 8. С. 1530–1533.
 - Марахтанов М.К., Марахтанов А.М. Эффект термоэлектронного вентилля и ритм катодного кратера в низковольтной вакуумной дуге с холодным катодом // Письма в ЖТФ. 1998. Т. 24. В. 14.
 - Структура и особенности движения катодного пятна вакуумной дуги на протяженном титановом катоде / Духопельников Д.В., Жуков А.В., Кириллов Д.В., Марахтанов М.К. // Измерительная техника. 2005. № 10. С. 42–44.
 - Sablev L.P., Shulaev V.M., Grigoriev S.N. Kharkov: NNC "CPTI", 2005. P. 236.
 - Khoroshikh V.M. Drop phase of the cathode erosion of the stationary vacuum arc // Physical engineering of the surface. 2004. V. 2. № 4. P. 200–213.
 - Aksenov A.I. Vacuum arc in the erosion sources of plasma. Kharkov: NNC "CPTI", 2005. P. 212.
 - Aksenov I.I., Padalka V.G., Khoroshikh V.M. The formation of metal plasma stream: Review. M.: Central Research Institute atominform, 1984. P. 84.
 - Site of the firm PLATIT: [http://www.platit.com], 07.06.2008.
 - Loktev D.A. Nanostructural coatings of the highly-productive instrument // Chipping. 2004. № 4(7). P. 12–17.
 - Drop phase research of the cathode erosion of the stationary vacuum arc / Aksenov I.I., Konovalov I.I., Kudryavtseva E.E. and others // ZTF. 1984. V. 54. № 8. P. 1530–1533.
 - Marakhtanov M.K., Marakhtanov A.M. The effect of thermoelectronic valve and the rhythm of the cathode crater in the low voltage vacuum arc with a cold cathode // Letters to ZTF. 1998. V. 24. V. 14.
 - Structure and peculiarities of the cathode spot movement of the vacuum arc at the extensive titanic cathode / Dukhopelnik D.V., Zhukov A.V., Kirillov D.B., Marakhtanov M.K. // Instrumentation technology. 2005. № 10. P. 42–44.

УДК 621.785.533

Цих С.Г., Гришин В.И., Лисицкий В.Н.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КАРБОНИТРАЦИИ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ И ИНСТРУМЕНТА В МАШИНОСТРОЕНИИ

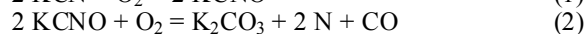
Карбонитрация – высокоэффективная технология поверхностного упрочнения деталей машин, штамповой и прессовой оснастки различного назначения, режущего инструмента. Ее применение взамен газового азотирования позволяет многократно сократить длительность цикла обработки и повысить эксплуатационные свойства упрочняемых деталей.

История низкотемпературного процесса жидкостного азотирования берет начало с 30-х годов прошлого столетия, когда Д.А. Прокошкин [1,2] сообщил о технических возможностях жидкостного цианирования, его простоте и высокой эффективности. Впервые было отмечено, что поверхностное упрочнение при низкотемпературном процессе связано не с формированием мартенситных структур, как в случае высокотемпературного цианирования, а с образованием нитридов и карбонитридов, и сам процесс протекает в условиях, исключая $\alpha \rightarrow \gamma$ превращение, как это имеет место при других видах поверхностного упрочнения (цементация, нитроцементация, высокотемпературное цианирование, поверхностная закалка). Поэтому локальные разогревы в месте контакта при трении, контактном нагружении не приводят к местному разупрочнению азотированных и карбонитрированных слоев, чего нельзя избежать в случае мартенситных структур, получаемых при закалке. Это объясняет и предельно малые величины деформации и коробления деталей при низкотемпературном насыщении деталей азотом (газовое азотирование) и азотом и уг-

леродом (жидкостное азотирование, карбонитрация).

Широкое освоение технологии низкотемпературного цианирования сдерживалось использованием в составе расплава высокотоксичных цианидов. В 50-х годах XX в. фирма «Дегусса» (ФРГ) внесла коррективы и предложила состав ванны, содержащий наряду с цианидами 50% цианатов щелочных металлов, и тем самым положила начало знаменитому «Тенифер» процессу – «мягкому азотированию». По сравнению с цианированием «ядовитость» процесса сократилась вдвое и он был принят на более чем 1000 машиностроительных предприятиях многих западных стран и Японии. Учитывая высокую эффективность технологии жидкостного азотирования в плане существенного повышения эксплуатационных свойств деталей, технологичность, экономичность и простоту процесса, в дальнейшем развитие технологии было направлено на поиск состава расплава на неядовитой основе.

В результате исследования химизма процесса низкотемпературного цианирования было установлено, что реакции в расплаве идут путем окисления:



с выделением атомов азота и углерода в результате окисления цианата. Не сам цианид калия (KCN), а продукт его окисления – цианат калия (KCNO) – является поставщиком активных атомов азота и углеро-

да в рабочем расплаве. В отличие от цианида цианат калия – вещество неядовитое, пожаро- и взрывобезопасное, хорошо растворимое в воде. Именно цианаты представляют интерес и являются наиболее подходящими веществами для осуществления жидкостных процессов химико-термической обработки.

Задача, связанная с разработкой технологически приемлемой жидкой средой для низкотемпературного упрочнения металлических изделий, в середине 70-х годов была решена в МГТУ им. Н.Э. Баумана проф. Прокошкиным Д.А. [3]. Им была предложена и получена промышленное внедрение экологически безвредная технология, которую автор назвал «карбонитрация». Расплав на основе цианата калия ($\text{KCNO} - 75-85\%$) и поташа ($\text{K}_2\text{CO}_3 - 15-25\%$) обладает высокой химической активностью, хорошей технологичностью, имеет низкую температуру плавления и при рабочих температурах процесса $550-580^\circ\text{C}$ характеризуется высокой жидкотекучестью.

Впоследствии, на основе собственных разработок, появились подобные технологии в ФРГ (новый Тенифер-процесс TF 1), в США («Мелонайт»), в Японии («Мягкое азотирование»), во Франции («Сюрсульф») и др., где заложен тот главный принцип, который впервые был реализован в отечественном способе карбонитрации.

Сущность метода карбонитрации заключается в том, что детали машин из конструкционных, нержавеющих, теплостойких инструментальных и быстрорежущих сталей подвергают нагреву в расплаве солей при $540-600^\circ\text{C}$ с выдержками 5–40 мин для режущего инструмента, а штампового инструмента и деталей машин – 1–6 ч в зависимости от требуемой толщины упрочненного слоя. Процесс карбонитрации прост в осуществлении, не требует сложного оборудования. Стоимость обработки в зависимости от размера деталей и компонок садки не превышает 2–8% стоимости детали.

Применение карбонитрации для обработки деталей повышает усталостную прочность на 50–80%, резко увеличивает износостойкость по сравнению с цементацией, нитроцементацией, газовым азотированием, обеспечивает минимальные величины деформаций в пределах допуска чертежа. Технология применима для упрочнения деталей из любых марок сталей и чугуна, обеспечивает микронную точность деталей. Среди технологий низкотемпературного упрочнения карбонитрация в расплавах солей является наиболее экономичным процессом, т.к. сокращает длительность выдержки до 0,5–6 ч, вместо 10–60 ч при газовом азотировании. При этом практически отсутствует хрупкость карбонитрированного слоя, характерная для длительных процессов газового азотирования. Процесс карбонитрации позволяет обеспечить высокую скорость нагрева, равномерность температуры в объеме ванны, в широких пределах регулировать скорость охлаждения и, как правило, является окончательной операцией технологического цикла изготовления деталей.

Карбонитрация углеродистых и низколегированных сталей перлитного класса

После карбонитрации углеродистых и низколегированных сталей на поверхности деталей образуется

диффузионный слой, состоящий из двух зон (рис. 1). Верхняя зона толщиной до 15 мкм по данным рентгеноструктурного анализа представляет собой карбонитрид типа $\text{Fe}_3(\text{N},\text{C})$ или оксикарбонитрид типа $\text{Fe}_3(\text{N},\text{C},\text{O})$ в зависимости от состава стали. Под карбонитридным слоем располагается гетерофазный слой, твердость которого значительно выше твердости сердцевины и плавно снижается от поверхности к основе. В табл. 1 приведены характеристики карбонитрированного слоя некоторых сталей.

Карбонитрация деталей, изготавливаемых из конструкционных сталей, обеспечивает высокие поверхностную твердость и сопротивление износу и может применяться без последующей механической обработки. Причем технология карбонитрации удобнее и экономичнее других методов химико-термической обработки. Это определяется особенностями технологии метода обработки и свойствами, приобретаемыми деталями в процессе насыщения совместно азотом и углеродом.

Испытание карбонитрированного слоя на износостойкость показывают наличие трех стадий. Первая стадия связана с приработкой и износом пористой верхней части карбонитрированного слоя (см. рис. 1) и занимает небольшое место в износе. Вторая характеризуется исключительно низкой скоростью износа карбонитридной фазы. Слой изнашивается без выкрашивания и сколов, что свидетельствует о его высокой пластичности и вязкости. Третья фаза относится к износу гетерофазного слоя. Здесь в массе феррита присутствуют дисперсные карбиды и нитриды железа и легирующих элементов, такая структура вообще характеризуется высоким сопротивлением износу.

Приведенные в табл. 2 данные износа стали 20 после цементации и карбонитрации показывает [3], что гетерофазный слой по сопротивлению износу оказывается близким к карбонитриднему слою. Суммарная стойкость карбонитридного и гетерофазного слоев оказалась исключительно высокой и намного превосходит цементованный слой.

В условиях трения со смазкой скорость износа карбонитридного слоя в 20 раз меньше, чем цементованного, а при отсутствии смазки – в 30 с лишним раз меньше.

Износ гетерофазного слоя после карбонитрации в условиях смазки идет втрое быстрее, чем карбонитридного, но в 5 раз медленнее цементованного слоя.



Рис. 1. Структура стали 09Г2С после карбонитрации, $t=570^\circ\text{C}$, $\tau=2$ ч

Гетерофазный слой имеет дисперсную структуру с малым коэффициентом трения и в условиях трения со смазкой имеет существенные преимущества перед цементованным.

Наружный слой, состоящий из карбонитридной фазы, обладает исключительно высоким сопротивлением износу и намного превосходит цементованный слой.

В подтверждение сказанного ниже приводятся данные по износостойкости широко применяемой в автомобильной промышленности для шестерен стали 18ХГТ, упрочняемой методом цементации или нитроцементации [3]. Износостойкость определялась в системе вал-втулка. Образцы подвергались цементации 900°С, 4 ч, закалке с 860°С в масле + низкий отпуск 180°С, 2 ч и карбонитрации 570°С, 2 ч после улучшения.

В условиях сухого трения и трения со смазкой нагрузки составляли 500 и 1000 Н при скорости скольжения соответственно 0,5 и 1,5 м/с. В условиях сухого трения износ карбонитрированной стали 18ХГТ составил 5,5 мг/км, а цементованной – 180 мг/км. В условиях трения со смазкой цементованный слой показал равномерный износ как при сухом трении, так и при трении со смазкой, причем в обоих случаях с достаточно высокой скоростью. Для сталей 18ХГТ и 20 после карбонитрации скорость износа при трении со смазкой составила соответственно 0,15 и 0,24 мг/км пути, а после цементации соответственно 0,9 и 2,4 мг/км пути (в 6 и 10 раз выше).

Определение эффективности технологии упрочнения методом карбонитрации проводилось при сравнительных испытаниях замковой резьбы на износ при многократном свинчивании бурильных замков ЗЛ-152 на буровом стенде, укомплектованном буровой установкой «Уралмаш-4Э» с вышкой ВМ-52.

Перед испытанием с помощью переводников ниппель испытываемого замка соединяется со свечой длиной 36 м, составленной из стальных бурильных труб, а муфта – с трубой, опущенной в скважину и установленной на столе ротора на элеваторе.

Единичный цикл в испытаниях состоит из последовательного проведения следующих операций: установки наращиваемой бурильной свечи в муфту, свинчивания замковых деталей, развинчивания замкового соединения и подъема свечи.

Свинчивание и развинчивание замкового соединения производится автоматическим буровым ключом АКБ-3М крутящим моментом 1200 кгс•м.

Анализ приведенных на рис. 2 результатов показывает, что интенсивность изменения критерия степени износа резьбы «Н» у образцов № 3 и 5, упрочненных методом карбонитрации, примерно в 4 раза ниже, чем у серийно выпускаемых замков № 2 и 6, имеющих фосфатное покрытие резьбы. Это говорит о многократном повышении износостойкости резьбы с карбонитрированным слоем по сравнению с резьбой, обрабатываемой по серийной технологии.

Высокая эффективность процесса карбонитрации достигнута при упрочнении стали 10 (рычаг) и стали 09Г2С (шток) рулевого управления снегохода. Эти марки сталей в практике машиностроения никогда не подвергались поверхностному упрочнению. Усталостная прочность натуральных деталей при испытаниях

превысила установленный техническими требованиями предел в 10⁶ циклов. Стендовые циклические испытания рычагов рулевого управления снегохода из стали 10 в паре со штоком – труба со шлицами из стали 09Г2С – после упрочнения методом карбонитрации показали износостойкость, более чем в 2 раза превышающую износостойкость серийных деталей, подвергаемых газовому азотированию. За 205000 циклов испытания износ серийных деталей достигал 0,06 мм, а карбонитрированных не превышал 0,025 мм (рис. 3). Карбонитрацию стали 09Г2С предлагается использовать при изготовлении корпусов и пробок шаровых кранов взамен гальванического хромирования.

Карбонитрация нержавеющей сталей

Надежность и долговечность деталей из нержавеющей хромистых и аустенитных сталей, работающих в различных условиях эксплуатации, зависят не только от свойств основного металла, но и от состояния сравнительно тонких поверхностных слоев. В промышленности для повышения поверхностной твердости, изно-

Таблица 1

Режимы обработки и характеристики карбонитрированного слоя углеродистых и низколегированных сталей

Марка стали	Твердость, Н ₁₀₀		Общая толщина слоя, мкм				Толщина карбонитридного слоя, мкм			
	Сердцевина	Поверхность	Время карбонитрации, ч							
			1	2	4	6	1	2	4	6
20	170	400–500	220	300	–	–	5	9	14	–
45	190	400–550	190	250	–	–	5	8	13	–
60	210	500–600	170	220	–	–	3	6	10	–
У8	220	600–700	–	–	–	–	2	5	8	–
У10	240	700–750	–	–	–	–	–	–	–	–
40Х	220	550–700	190	270	380	460	10	14	20	25
30ХГСА	220	700–900	180	260	360	450	9	13	17	20
40Х1НВА	260	700–900	160	240	340	410	8	12	15	18
38Х2МЮА	280	800–1200	150	220	320	360	8	12	15	18
18ХГТ	200	700–800	180	260	360	440	12	15	19	22
18Х2Н4ВА	250	700–900	160	220	310	390	9	13	16	19

Таблица 2

Износостойкость стали 20Х после цементации и карбонитрации

Метод химико-термической обработки	Толщина упрочненного слоя, мкм	Условия испытаний		Скорость износа, мг/км пути трения
		Нагрузка, Н	Скорость скольжения, м/с	
Цементация	800	500	0,5	0,15/180
	800	1000	1,5	
Карбонитрация				
Карбонитридный слой	14	500	0,5	0,007/5,5
	14	1000	1,5	
Гетерофазный слой	270	500	0,5	0,025/150
	270	1000	1,5	

Примечание. Указана скорость износа при трении со смазкой (числитель) и без смазки (знаменатель)

состойкости, задиристости, усталостной прочности этого класса конструкционных сталей применяют газовое азотирование. Но этот процесс, во-первых, слишком длительный, во-вторых, наблюдается деформация и коробление деталей, в-третьих, ε-фаза, образующаяся при насыщении нержавеющей сталей азотом, оказывается очень хрупкой и её приходится удалять операцией шлифования. Сам технологический процесс газового

азотирования усложняется, так как приходится вводить в муфель депассиватор, устраняющий окисную пленку с поверхности нержавеющей сталей.

Процесс жидкостной карбонитрации нержавеющей сталей лишен указанных недостатков. Скорость насыщения в расплаве солей выше, чем в газовых средах, а одновременное насыщение азотом и углеродом позволяет получать на поверхности стальных изделий менее хрупкий карбонитридный слой, чем чисто нитридный. В результате отпадает необходимость последующей механической обработки, и, кроме того, карбонитридный слой существенно повышает износостойкость и снижает коэффициент трения поверхностных слоев контактирующих деталей.

При газовом азотировании упрочнение аустенитных сталей происходит за счет выделения нитридов типа Fe_4N , а также Fe_3N . Микроструктурные, рентгеноструктурные, рентгеноспектральные исследования показали, что упрочняющей фазой при карбонитрации являются не указанные выше нитриды, а оксикарбонитридная фаза со сложной решеткой шпинели типа Fe_3O_4 . Присутствие в карбонитрированном слое аустенитных сталей значительных количеств азота, углерода и кислорода являются основными причинами образования совершенно новых по структуре, фазовому, химическому составу и свойствам упрочненных слоев. Фазовый рентгеноструктурный анализ хромистых нержавеющей сталей типа 30X13, 14X17H2 после карбонитрации также обнаруживает на поверхности присутствие оксидной составляющей с решеткой шпинели и явно выраженную оксикарбонитридную фазу типа $(Fe,Cr)_3(N,C,O)$.

В настоящее время технология карбонитрации применяется для обработки серий промышленных партий деталей из сталей 20X13, 30X13, 40X13, ЭИ 961, 14X17H2, 10X18H10Г, НН-3Б и др. На рис. 4 приведены значения коэффициента трения аустенитной стали 10X18H10Г после закалки, карбонитрации и газового азотирования, где очевиден эффект и преимущество технологии жидкостной карбонитрации.

Карбонитрации подвергаются детали запорной арматуры энергетического, газо- и нефтедобывающего оборудования (штоки, шпиндели, золотники, в том числе с зубчатым приводом, оси, втулки, специальной конструкции гайки с обычной и трапецеидальной резьбой, пробки шаровых кранов и др.). Для специальных редукторов упрочнению подвергаются червяки, шестерни, рейки с модулем m до 6 мм. Технологические возможности печи-ванны (открытое зеркало расплава) позволяют обрабатывать длинномерные детали в подвешенном состоянии с двух сторон, переворачивая их и проводя требуемый режим для каждой стороны. Таким образом, нами обрабатываются зубчатые рейки и планки длиной до 2000 мм из стали 40X13 для оборудования химической установки.

Карбонитрация прессового, штампового и режущего инструмента

Вытяжные, гибочные штампы, накатной инструмент

При гибке или пластическом формообразовании листового металла из-за скольжения по поверхности штампа под высоким давлением возникает сильный

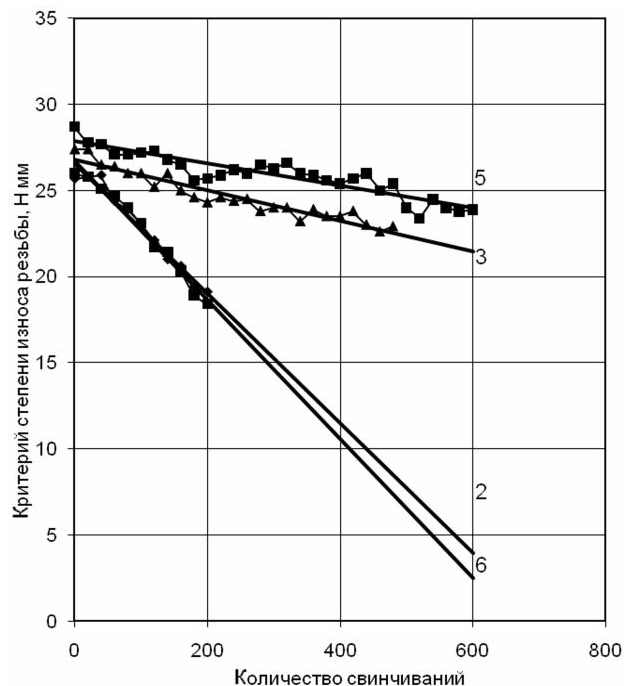


Рис. 2. Сравнительные испытания на свинчивание бурльных замков ЗЛ-152 с фосфатированием и карбонитрацией резьбы: 2 и 6 – фосфатирование; 3 и 5 – карбонитрация 570°С, 2,5 и 5 ч соответственно

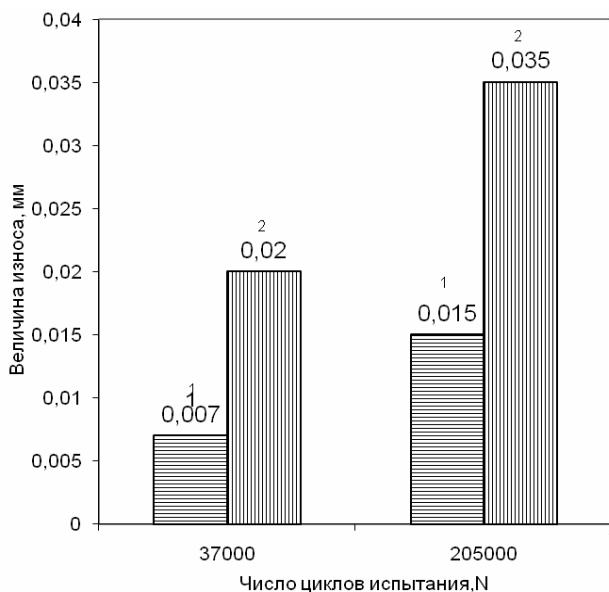


Рис. 3. Износостойкость рычага рулевого управления снегохода из стали 10 после карбонитрации (1) и серийного режима газового азотирования (2)

износ. Иногда проявляется явление сваривания: мелкие частицы металла прилипают к поверхности штампа, что приводит к браку изделий. Высокая износостойкость и низкий коэффициент трения структуры поверхности карбонитрированного слоя исключают это явление. Это относится не только к сталям, но и к цветным сплавам меди и алюминия. Наиболее высокую стойкость в этих условиях показывают инструментальные стали с 12% хрома, инструментальные стали для горячей штамповки, а также быстрорежущие стали для калибровки.

По данным ЗАО «Кольчугцветмет» карбонитрация плавающих оправок из стали P18 размером 3,4×4,6 мм для капиллярных труб обеспечивает 8–10-кратное повышение стойкости по сравнению с серийными оправками из стали У10 с покрытием гальваническим хромом.

Вырубные, штамповочные и прошивные штампы

Штампы этой группы, обработанные методом карбонитрации, отличаются высокой стойкостью режущей части, особенно при прошивке и штамповке мягких материалов. Наличие упрочненного слоя на боковых поверхностях инструмента препятствует привариванию и налипанию частиц металла и благодаря низкому коэффициенту трения уменьшает само усилие отвода прошивного штампа.

В зависимости от вида и прочности обрабатываемого металла твердость сердцевины этого типа инструментов должна быть не ниже 50 HRC и они должны изготавливаться из 12%-ных хромистых сталей или сталей для горячей штамповки, показывающих после карбонитрации лучшие результаты.

Штампы для деформации в горячем состоянии, прессовый и ковочный инструмент

Вследствие высокой температурной нагрузки повышение стойкости у прессовых и ковочных штампов меньше, чем при прессовании выдавливанием. После 2–3-часовых режимов обработки стойкость после карбонитрации повышается на 50–300% в зависимости от обрабатываемых марок сталей или цветных сплавов.

Инструмент из теплопрочных сталей для деформации в горячем состоянии различных поковок, колечных валов, цапф, шатунов двигателей автомобилей и др. подвергаются улучшению на твердость сердцевины 42–50 HRC, а затем карбонитрации. После износа в ряде случаев возможна повторная карбонитрация штампов.

Инструмент из быстрорежущей стали

По сравнению с инструментом для штамповой оснастки у инструмента из быстрорежущей стали продолжительность карбонитрации сравнительно короткая – 5–40 мин, в основном не более 15–25 мин. За это время в пределах слоя толщиной несколько сотых миллиметра твердость режущей части повышается до 1000–1100 HV, что способствует лучшему сходу стружки. Стойкость разверток, сверл, фрез различного назначения, прошивок, долбяков для зубчатых колес и др. возрастает в 1,5–3 раза. Причем гарантиро-

ванный успех достигается дополнительным оксидированием карбонитрированного инструмента в соляном расплаве при 300–400°C. Если быстрорежущий инструмент всесторонне перетачивается, то его можно повторно подвергать карбонитрации. У инструмента с затылованием или затыловочным шлифованием перетачивается только передняя поверхность, т.е. контур сохраняется, и в этом случае инструмент дополнительно не карбонитрируется.

Инструмент для литья под давлением

Для литья под давлением жидких цинковых, магниевых и алюминиевых сплавов поршни, цилиндры, загрузочные втулки, сопла, распределительные детали и сердечники изготавливаются из сталей для горячей штамповки. После карбонитрации сопротивление вымыванию и прилипанию расплава увеличивается до 300%. Стойкость инструмента из стали типа 4X5MФС для горячего прессования алюминиевых сплавов после карбонитрации повышается в 2–6 раз. Наличие на поверхности оксикарбонитридной зоны из-за низкого коэффициента трения позволяет избежать налипания выдавливаемого металла, что улучшает и качество поверхности изделия. После срабатывания оксикарбонитридной зоны инструмент может подвергаться многократной повторной карбонитрации (имеются сведения о более чем 10-кратном упрочнении пресс-шайб).

Пресс-формы и другой инструмент для производства пластмасс

Пресс-формы, шнеки, цилиндры и другие детали для производства пластмассовых изделий изготавливаются из низколегированных среднеуглеродистых улучшаемых сталей типа 40X и классического нитраллоя 38X2МЮА. Стойкость этих деталей после карбонитрации возрастает многократно. Повышается

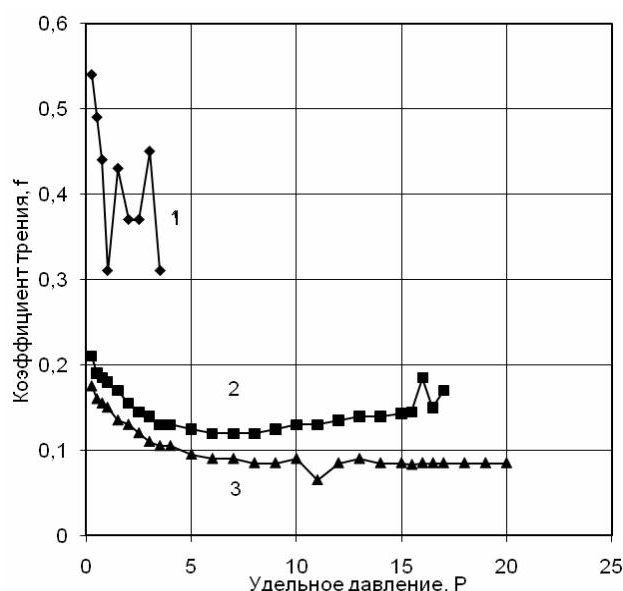


Рис. 4. Изменение коэффициента трения стали 12X18H10T в зависимости от удельного давления при контактном трении: 1 – закалка 1150°C; 2 – азотирование 620°C, 35 ч; 3 – карбонитрация 570°C, 12 ч

не только стойкость к продавливанию и износу, но и за высокой твердостью поверхность может легко полироваться до глянцевого блеска, что обеспечивает качество и товарный вид пластмассовой поверхности. При температурах плавления пластмасс вплоть до 300°С карбонитрированный, равно как и азотированный, слой не разупрочняется. По коррозионной стойкости упрочненная поверхность сопоставима с гальваническим хромовым покрытием. Благодаря низкой температуре обработки и отсутствию структурных превращений изменение размеров и формы прессформ составляет несколько микрон.

Технология комбинированного упрочнения

Технология комбинированного упрочнения рекомендуется для изготовления и ремонта изношенных деталей путем предварительной наплавки и последующего упрочнения карбонитрацией, обеспечивает эксплуатационные характеристики восстановленных деталей на уровне не ниже свойств стальной детали без применения наплавки.

Технология включает в себя наплавку (аргонодуговую или лазерную) с последующей механической обработкой для восстановления геометрических размеров и упрочняющую обработку – карбонитрацию [6]. Чеховский завод энергетического машиностроения для деталей запорной арматуры тепловых и атомных станций использует технологию карбонитрации для упрочнения тарелок с наплавкой. Эффект повышения ресурса работы до 3 раз по сравнению с новыми запасными частями достигается в настоящее время при ремонте технологического оборудования на предприятии «Астраханьгазпром» и запорной арматуры Калининской АЭС.

Толщина наплавленного металла может колебаться в пределах от 0,5 до 10–15 мм (при многослойной наплавке). Толщина карбонитридного слоя в зависимости от материала наплавки и длительности выдержки достигает 0,5–0,6 мм, а твердость поверхности 600–1000 НV.

При комбинированном упрочнении диффузионный слой на наплавке имеет более высокую твердость и толщину, в сравнении с карбонитрированным слоем стали, аналогичной по химическому составу наплавке.

Исследование эрозионного разрушения поверхности натурного штока после комбинированного упрочнения, в сравнении с упрочнением методом карбонитрации, показывает увеличение стойкости на 30–35%, на 10–15% повышается задиростойкость, а износостойкость – в 1,8–2,0 раза.

Для реализации технологии жидкостной карбонитрации разработано и изготавливается оборудование 5-ти типоразмеров, составляющее технологическую линию жидкостной карбонитрации (ТЛЖК) и позволяющее проводить упрочнение деталей длиной до 1200 мм и диаметром до 600 мм. В состав ТЛЖК в промышленном варианте входят: печь подогрева деталей, печь-ванна карбонитрации, ванны промывки, обезжиривания, оксидирования. На рис. 5 показана линия, эксплуатирующаяся на ремонтной базе ООО «Уренгойгазпром», где обрабатываются более 30 наименований деталей и режущий инструмент [6, 7].

На Центральной трубной базе ОАО «СУРГУТНЕФТЕГАЗ» для упрочнения замков бурильных труб (переводников) смонтирована и введена в эксплуатацию технологическая линия жидкостной карбонитрации высокой производительности для обработки 25000 деталей разных типоразмеров в год. В состав этой линии, занимающей площадь около 200 м², помимо основных элементов оборудования включены очистная установка и установка для выпаривания промышленных стоков после промывки деталей для обеспечения высоких требований экологической безопасности. Образующаяся после выпаривания очищенная вода используется в качестве оборотной.

Для проведения карбонитрации и регенерации рабочей ванны отработан процесс синтеза слитков солей заданного химического состава, существенно упрощающей эксплуатацию в промышленных условиях.

Синтезирование слитков как для процесса карбонитрации (90% KCNO + 10% K₂CO₃), так и для регенерации ванны (96% KCNO + 4% K₂CO₃) проводится в отдельном тигле по разработанной нами технологии.

Синтезированный расплав соли для карбонитрации разливается в специальные формы. Полученные слитки, ввиду гигроскопичности, подвергаются вакуумной упаковке.

В совершенствовании технологии жидкостной карбонитрации представляет интерес так называемый НОК-процесс (низкотемпературное оксикарбонитрирование), разработанный отечественными исследователями [9]. Позже аналогичный процесс, предложенный фирмой «Дегусса» (Германия), получил название TUFFTRYDE – QPQ. Эта технология, первоначально задуманная для улучшения товарного вида деталей, резко понижает коэффициент трения и по данным немецких исследователей [10] существенно повышает коррозионную стойкость деталей из сталей перлитного и мартенситного классов. При испытании в солевом тумане в растворе соли с перекисью водорода коррозионная стойкость деталей, обработанных по технологии QPQ, превосходит стойкость гальванического хромового покрытия.

Себестоимость обработки деталей по технологии QPQ на 40% меньше стоимости технологии нанесения гальванического покрытия.

QPQ-процесс включает следующую последовательность операций: карбонитрация → охлаждение и выдержка в ванне оксидирования при 350–400°С в нитритно-щелочном расплаве → охлаждение на воздухе → промывка → полировка → оксидирование в расплаве → промывка.

Низкий коэффициент трения и высокая коррозионная стойкость сталей с оксикарбонитридным покрытием по технологии QPQ после проверки эксплуатационных свойств может рассматриваться в качестве процесса для поверхностного упрочнения деталей из низколегированных сталей перлитного класса и хромистых нержавеющей сталей и, в частности, как замена технологии гальванического хромирования для пробков шаровых кранов из стали 09Г2С и ряда других изделий.

Список литературы

1. Прокошкин Д.А. Химические и термические методы обработки стали. М.; Л.: ОНТП, 1938.
2. Прокошкин Д.А. Теория и практика цианирования быстрорежущих сталей. М.: ВНИИТОМ, 1940.
3. А.с. 576350 СССР, МК13 С22С27/ Прокошкин Д.А.
4. Прокошкин Д.А. Химико-термическая обработка металлов – карбонитрация. М.: Машиностроение; Metallurgy, 1984, 240 с.
5. Супов А.В. Создание процесса карбонитрации // Металловедение. Термическая и химико-термическая обработка сплавов: Сб. науч. тр. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003.
6. Разработка технологических процессов для карбонитрации крупногабаритных деталей / Цих С.Г., Щеплов М.Е., Гришин В.И., Лисицкий В.Н. // Металловедение. Термическая и химико-термическая обработка сплавов: Сб. науч. тр. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003.
7. Разработка технологической линии жидкостной карбонитрации и процессов упрочнения запасных частей к основному оборудованию и инструменту / Цих С.Г., Пласкоть И.А., Гришин В.И., Лисицкий В.Н. // Обеспечение эффективного функционирования Уренгойского нефтегазодобывающего комплекса. М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2004.
8. Исследование закономерностей комбинированного упрочнения структуры поверхностного слоя стали 25Х1МФ / Цих С.Г., Щеплов М.Е., Гришин В.И., Лисицкий В.Н., Мурадов А.В. // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2002. № 3. С. 14–17.
9. Карбонитрация режущего инструмента в соляных ваннах / Прокошкин Д.А., Супов А.В., Богомолов А.М., Кошенков В.Н. // МитОМ. 1981. № 4.
10. Валь Г. Влияние режимов нитроцементации и последующего окисления на свойства деталей // МитОМ. 1991. № 7.

List of literature

1. Prokoshkin D.A. Chemical and thermal methods of the steel treatment. M.: L.: ONTP, 1938.
2. Prokoshkin D.A. Theory and practice of the high-speed steel-cyanidation. M.: VNIITOM, 1940.
3. A.s.576350 USSR, MK13 C22C27 / Prokoshkin D.A.
4. Prokoshkin D.A. Chemical and thermal methods of the steel treatment – carbonization. M.: Machine-building; Metallurgy, 1984. P. 240.
5. Supov A.V. Carbonization process formation // Adaptive metallurgy. Thermal and chemical and thermal alloy treatment: Collection of the scientific work. M.: MSTU named after N.E. Bauma, 2003.
6. Technological processes for carbonization of the large capacity parts / Tsikh S.G., Tscheglov M.E., Grishin V.I., Lisitsky V.N. // Adaptive metallurgy. Thermal and chemical and thermal alloy treatment: Collection of the scientific work. M.: MSTU named after N.E. Bauma, 2003.
7. Technological line of the liquid-column carbonization and strength processes of the spare parts for the main equipment and instrument / Tsikh S.G., Plaskol I.A., Grishin V.I., Lisitsky V.N. // Effective operation of Urengoysky oil-producing complex. M.: limited liability company “IRC Gasprom”, 2004.
8. Regularity research of the combined strength of the surface coating structure in steel 25X1MF / Tsikh S.G., Tscheglov M.E., Grishin V.I., Lisitsky V.N., Muradov A.V. // The environment protection in the oil-producing complex. 2002. № 3. P. 14–17.
9. Carbonization of the cutting tool in the salt baths / Prokoshkin D.A., Supov A.V., Bogomolov A.M., Koshenkov V.N // MiTOM. 1981. № 4.
10. Val G. The impact of carbonitriding modes and further oxidation on the properties of the parts // MiTOM. 1991. № 7.