

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ НИТРОЦЕМЕНТОВАННЫХ НАПЛАВОК ШТАМПОВЫХ СТАЛЕЙ

Е.В. Трусова, Н.А. Костин

Статья посвящена исследованиям износостойкости наплавленных покрытий образцов штамповых сталей после их нитроцементации в азотисто-углеродной пасте. Экспериментальным путем установлена зависимость износа нитроцементованных слоев наплавленных сталей при трении со смазкой, в том числе со смазкой, загрязненной абразивными частицами, от температуры нитроцементации. Приведены результаты металлографических исследований, подтверждающие высокую износостойкость наплавленного материала образцов.

Ключевые слова: износостойкость, нитроцементация, наплавка, штамповые стали.

Введение

Износостойкость является одной из основных характеристик материалов для штампового инструмента, от которой зависит долговечность штампов и, в конечном счете, эффективность штампового производства. Условия работы большинства штампов для холодного деформирования металла (высадочных, вытяжных, гибочных и т.п.) характеризуются высокими нагрузками на рабочие поверхности, а также интенсивным трением при недостатке смазки или наличии абразивных частиц в зоне соприкосновения рабочих поверхностей штампов с обрабатываемым материалом. В качестве таких частиц могут выступать природные минералы (главным образом кварц), либо частицы износа – твердые (наклепанные) фрагменты разрушенных поверхностных слоев металла [1].

Несмотря на то, что детали штампов изготавливают из высокопрочных легированных сталей и подвергают закалке на высокую твердость (60–65 HRC), они довольно интенсивно изнашиваются, что приводит к быстрому разрушению штампов. Поскольку штампы являются весьма дорогостоящими и сложными инструментами, в подавляющем большинстве случаев их восстанавливают путем наплавки изношенных поверхностей специальными электродами.

Для восстановления штампов, предназначенных для холодного деформирования металла, используются электроды, легированные

в основном хром и марганцем марок ОЗШ, ЦШ и ЦН [2]. Эти электроды имеют невысокую стоимость, хорошие сварочно-технологические свойства, однако ввиду низкой твердости наплавленного металла (менее 50 HRC) не обеспечивают необходимой стойкости восстановленных штампов.

Для повышения твердости и износостойкости наплавленных покрытий целесообразно провести их химико-термическую обработку, в частности нитроцементацию в азотисто-углеродной пасте. Этот процесс очень удобен для ремонтного производства, поскольку позволяет производить местное упрочнение и не требует больших финансовых, энергетических и временных затрат. Для нитроцементации необходимо гораздо меньше времени, чем для чистой цементации или азотирования, а с использованием пасты этот процесс может быть осуществлен на самом простом термическом оборудовании при минимальном расходе карбюризатора (обмазка толщиной около 1,5 мм на упрочняемых поверхностях).

Целью данной работы является исследование износостойкости нитроцементованных наплавов штамповых сталей.

Материалы и методы исследования

Испытание на износостойкость проводили на машине СМЦ-2 по схеме «ролик–ролик». В качестве образцов использовали ролики

(диски) размером $\varnothing 35 \times 12$ мм, имеющие на поверхности наплавленные слои толщиной 0,5 мм (после механической обработки). Как контртело использовали ролик из твердого сплава ВК-6 размером $\varnothing 35 \times 10$ мм.

Образцы для исследования готовили путем наплавки на основу из штамповой стали 7ХГ2ВМ металлического слоя (покрытия) методом, наиболее часто применяемым при восстановлении изношенных штампов. Наплавку производили электродами ОЗШ-1 и ЦН-4, имеющими разные системы легирования. После наплавки образцы подвергали механической обработке до получения требуемого диаметра роликов. Химический состав и твердость наплавленного металла в исходном состоянии представлены в табл. 1.

Нитроцементацию образцов с наплавленными покрытиями проводили в пасте следующего состава (% мас.): железосинеродистый калий $K_4Fe(CN)_6$ – 40; аморфный углерод (газовая сажа ДГ-100) – 60; пастообразователь – водный раствор карбометилцеллюлозы (клей КМЦ). Образцы по периферии покрывали пастой, высушивали, упаковывали в герметичный контейнер и помещали в печь, нагретую до температуры 700 °С. После нитроцементации, которую во всех случаях проводили в интервале температур от 700 до 900 °С в течение 3 ч, образцы охлаждались (закачивались) в масле и подвергались низкому отпуску при температуре 180 °С в течение 2 ч.

Образцы с упрочненными покрытиями, после очистки и легкой шлифовки поверхности трения, испытывали на износ по следующей методике. Образец устанавливался на основном шпинделе машины и вращался с частотой 1000 мин⁻¹, а контртело закреплялось на шпинделе нагружающего устройства, настроенного на частоту вращения 500 мин⁻¹. Такая схема настройки машины трения была принята для получения высоких контактных нагрузок на поверхности трения, которые имеют место в реальных условиях эксплуатации штампов. Также

это обеспечивает достаточно большую составляющую скольжения поверхности образца по поверхности контртела [3].

Для смазки в испытаниях использовали индустриальное масло И-12А (ГОСТ 20799–88). В смазку объемом 1 л добавляли 50 г мелко размолотого кварцевого песка (маршаллита) с частицами размером до 15 мкм и тщательно перемешивали для создания по возможности однородной взвеси. Кроме того, масло с абразивными частицами периодически перемешивалось в течение всего времени испытаний. Смазка подавалась в зону трения из капельницы с периодичностью 2 мг/мин.

Нагрузка на трущиеся поверхности была установлена 180 МПа, равная пределу текучести малоуглеродистой стали 08 кп при ее деформации штамповым инструментом, принятым для исследования). Длительность испытания составляла 2, 4 и 6 ч. Износ образцов определяли весовым методом.

Оценка интенсивности изнашивания нитроцементованных наплавленных покрытий

Интенсивность изнашивания нитроцементованных слоев, наплавленных электродами обеих марок, как видно из проведенного эксперимента (табл. 2), во многом определяется температурой нитроцементации. Это объясняется тем, что температура определяет фазовый состав и характеристики структуры нитроцементованных слоев образцов.

Минимальное изнашивание поверхностных слоев на наплавках обоих типов наблюдается при температурах нитроцементации 700–750 °С, повышение температуры нитроцементации до 800 °С и более вызывает заметный рост интенсивности изнашивания, причем на наплавке 30Г6 он более резкий, чем на наплавке 20ХГСМ.

Высокая износостойкость наплавленных покрытий, нитроцементованных на первом этапе

Таблица 1

Химический состав (% мас.) и твердость металла, наплавленного электродами

Марка электрода	С	Cr	Mn	Si	Mo	Сталь, соответствующая наплавке	Твердость HRC после наплавки
ОЗШ-1	0,17– –0,19	0,98– –1,21	0,94– –0,99	1,05– –1,22	0,76– –0,81	20ХГСМ	34–40
ЦН-4	0,31– –0,33	–	5,88– –6,12	0,27– –0,31	–	30Г6	42–48

испытаний (2 ч) при температурах 700–750 °С, обуславливается тем, что на поверхности диффузионных слоев присутствует практически сплошная корка карбонитридов, имеющих высокую твердость и низкий коэффициент трения (рис. 1, а).

Карбонитридная корка, образовавшаяся на стали 20ХГСМ при температуре нитроцементации 700 °С, имеет две четко различимые зоны: поверхностную, представленную карбонитридом, изоморфным с цементитом, который имеет твердость $H_{\text{ц}} \approx 800$, и расположенную ниже более толстую зону гексагонального карбонитрида фазы ϵ с твердостью $H_{\text{ц}} \approx 1000$. Практически такую же структуру имеют нитроцементованные слои образцов и на марганцо-

вистых наплавках стали 30Г6, полученных при той же температуре в течение 2 ч.

Увеличение длительности изнашивания образцов, нитроцементованных при температуре 700 °С, приводит к повышению интенсивности их изнашивания, поскольку слой карбонитридов истирается абразивными частицами, а зоны, расположенные ниже корки карбонитридов, имеют меньшую твердость, чем поверхностный слой.

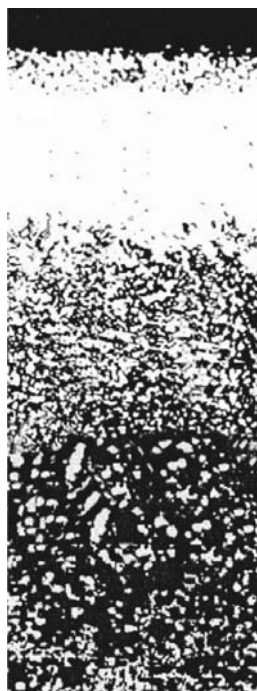
При температурах выше 800 °С сплошная корка карбонитридов заменяется отдельными их включениями (рис. 1, б). Последнее обстоятельство заметно понижает абразивную износостойкость нитроцементованных слоев.

При повышении температуры нитроцемент-

Таблица 2

Износ образцов (мг) из нитроцементованных наплавленных сталей 30Г6 и 20ХГСМ при трении со смазкой, содержащей кварцевый абразив

Тип наплавки	Время испытания, ч	Температура нитроцементации, °С				
		700	750	800	850	900
30Г6 (ЦН-4)	2	2,40	2,43	2,55	3,85	4,73
	4	3,60	2,48	3,54	3,87	4,65
	6	7,85	7,58	6,37	3,69	4,72
20ХГСМ (ОЗШ-1)	2	1,97	1,98	2,14	2,73	3,19
	4	1,85	2,01	3,16	2,70	3,22
	6	5,34	5,58	5,91	2,88	3,24



а



б

Рис. 1. Микроструктуры нитроцементованных слоев на наплавке стали 20ХГСМ (ОЗШ-1) при нитроцементации в течение 2 ч ($\times 500$): а – при $T=700$ °С; б – при $T=800$ °С

тации до 850–950 °С глубина слоев, насыщенных карбонитридными фазами, значительно увеличивается, достигая практически толщины наплавки. Как можно видеть из данных табл. 2, с увеличением времени изнашивания образцов, нитроцементованных при повышенных температурах, интенсивность изнашивания не изменяется.

Интенсивность изнашивания нитроцементованных при температурах 850–900 °С марганцовистых наплавов (типа стали 30Г6) заметно выше, примерно в 1,2–2 раза, чем легированных хромом (типа стали 20ХГСМ). Это объясняется различием в структурах диффузионных слоев названных сталей (рис. 2).

В хромистых наплавках, нитроцементованных при температуре 900 °С, карбонитриды

присутствуют в больших количествах (до 80 %) в виде равновесных включений, равномерно распределенных в твердорастворной матрице. В марганцовистых наплавках, нитроцементованных при той же температуре, карбонитридная фаза представлена тонкой коркой на поверхности и сеткой по границам зерен. Содержание карбонитридов в этой наплавке гораздо меньше, поэтому и ниже ее износостойкость.

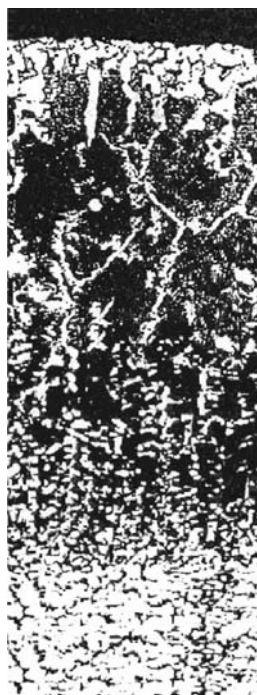
Также были проведены эксперименты по определению износа нитроцементованных покрытий на наплавленных сталях 30Г6 и 20ХГСМ по описанной выше методике, без добавления в смазку абразива (изнашивание в условиях граничного трения) (табл. 3).

Как видно из результатов эксперимента, интенсивность изнашивания нитроцементованных

Таблица 3

Износ (мг) нитроцементованных наплавленных сталей 30Г6 и 20ХГСМ при трении со смазкой без абразива

Тип наплавки	Время испытания, ч	Температура нитроцементации, °С				
		700	750	800	850	900
30Г6 (ЦН-4)	2	0,18	0,15	0,16	0,18	0,17
	4	0,16	0,18	0,22	0,18	0,17
	6	0,20	0,20	0,25	0,17	0,18
20ХГСМ (ОЗШ-1)	2	0,10	0,08	0,10	0,10	0,14
	4	0,12	0,10	0,14	0,09	0,12
	6	0,14	0,13	0,18	0,09	0,12



а



б

Рис. 2. Микроструктуры слоев после нитроцементации в течение 2 ч при $T=900$ °С на наплавках ($\times 500$): а – сталь 30Г6 (ЦН-4); б – сталь 20ХГСМ (ОЗШ-1)

наплавов в смазке без абразива примерно на порядок ниже по сравнению с изнашиванием при наличии абразива во всех нитроцементациях.

Износ нитроцементованных образцов с наплавками обоих типов в условиях трения со смазкой оказался весьма незначительным, причем максимальная интенсивность изнашивания наблюдалась в начале испытаний. Так, для образца с наплавкой стали 30Г6 (ЦН-4), нитроцементованного при температуре 750 °С, износ за первые 2 ч испытаний составил 0,15 мг, за последующие 2 ч – всего лишь 0,03 мг и за следующие 2 ч – еще 0,02 мг. Очевидно, что максимальный износ в первые 2 ч испытаний обуславливается приработкой трущихся поверхностей образца и контртела.

По результатам эксперимента прослеживается некоторая тенденция к увеличению интенсивности износа с повышением температуры нитроцементации: сталь 20ХГСМ, упрочненная при температуре 700–750 °С, имеет износ в 2–3 раза меньший, чем та же сталь, нитроцементованная при температуре 900 °С. Похожая закономерность влияния температуры нитроцементаций на износостойкость наблюдается и для наплавов стали 20ХГСМ7 (ОЗШ-1), стали 30Г6 (ОЗШ-1) (рис. 3).

Высокую износостойкость нитроцементованных образцов, особенно при температурах 700–750 °С, можно объяснить наличием на их поверхностях карбонитридных слоев, обладающих высокой твердостью и низким коэффициентом трения.

Заключение

Эксперименты показывают, что абразивная износостойкость нитроцементованных наплавов значительно снижается с увеличением времени испытания. Общая закономерность при этом такова, что в начале испытаний на изнашивание износостойкость нитроцементованных наплавов, особенно упрочненных при относительно низких температурах, имеет максимальное значение из-за наличия на их поверхности корки карбонитридов, однако при увеличении длительности изнашивания износостойкость наплавов, нитроцементованных в режимах от 700 до 900 °С, снижается в результате изнашивания этой корки.

Время, по истечении которого наступает резкое снижение износостойкости, зависит от толщины слоя карбонитридов на поверхности

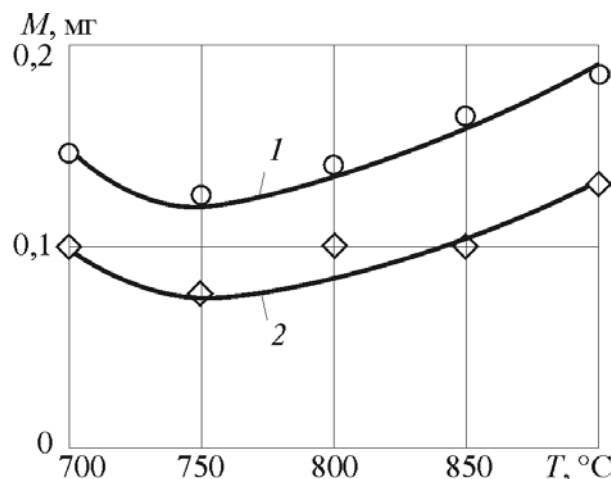


Рис. 3. Зависимости износа M нитроцементованных слоев наплавленных сталей с электродом ОЗШ-1 при трении со смазкой от температуры T нитроцементаций: 1 – сталь 20ХГСМ; 2 – сталь 30Г6

наплавленного металла. Очевидно, что после того, как изнашивается слой с твердыми карбонитридными фазами, абразивные частицы начинают контактировать с зоной, имеющей меньшую твердость, и интенсивность изнашивания резко возрастает.

Метод нитроцементации наплавов штамповых сталей обладает большими возможностями для широкого применения в промышленном машиностроении, повышении качества ремонтных работ и увеличении ресурса отремонтированных штампов в силу того, что не требует значительных финансовых, временных и энергетических затрат в сравнении с другими методами повышения износостойкости.

Список литературы

1. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением: учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. – 423 с.
2. Наплавка молотовых штампов для восстановления их работоспособности / В.И. Колмыков, Е.В. Трусова, Н.С. Гараубе, А.И. Федоров // Материалы и упрочняющие технологии 2010: сб. матер. XVII Российской науч.- техн. конф. с международным участием. Ч. 2. – Курск: ЮЗГУ, 2010. С.174–177.
3. Металловедение и термическая обработка стали: справочник. Т. 1, 2: Металлургиздат, 1998.

Материал поступил в редакцию 10.04.2011

ТРУСОВА
Елена Валентиновна

E-mail: ev.trusova@yandex.ru
Тел.: +7 (4712) 56-68-33

Аспирант кафедры материаловедения и технологии сварочного производства Юго-Западного государственного университета. Сфера научных интересов – материаловедение, низкотемпературная нитроцементация штамповых сталей и наплавленных покрытий для повышения долговечности штампового инструмента. Автор девяти научных публикаций, трех патентов на полезную модель.

КОСТИН
Николай Анатольевич

E-mail: nikolay-kostin@yandex.ru
Тел.: +7 (4712) 56-30-72

Кандидат технических наук, доцент кафедры общетехнических дисциплин Курского государственного университета (КГУ). И.о. декана Индустриально-педагогического факультета КГУ. Сфера научных интересов – ресурсосберегающие технологии, динамика и прочность. Автор 15 научных публикаций, 2 патентов, 4 патентов на полезную модель, 18 учебно-методических работ.