

УДК 621.774.8

DOI 10.22213/2413-1172-2017-4-23-25

Ю. О. Михайлов, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова
Н. А. Кокорин, кандидат технических наук, доцент, ООО «НПП «КриоТехРесурс», Ижевск
В. В. Тарасов, доктор технических наук, профессор, Институт механики УрО РАН, Ижевск
С. Н. Князев, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова
И. С. Трифонов, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

КРИОГЕННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ИНСТРУМЕНТА ИЗ СТАЛИ X12MФ*

Легированная сталь X12MФ широко используется при производстве различного инструмента, работающего в жестких эксплуатационных условиях: резбонакатные ролики и плашки, инструмент для холодной штамповки и высадки и др. Сталь обладает высокой вязкостью и твердостью, теплостойкостью, устойчивостью к ударным и фрикционным нагрузкам.

Для повышения срока службы изделий из стали X12MФ применяются традиционные технологии объемной термической обработки (ТО) [1], а также инновационные методы упрочнения с использованием криогенной обработки (КО) [2] и технологии нанесения наноструктурированных PVD-покрытий (PVD – Physical Vapour Deposition) [3].

В работе рассмотрено влияния КО на абразивную износостойкость опытных образцов и серийных изделий из стали X12MФ после ТО, а также после нанесения PVD-покрытия.

При использовании объемной ТО максимальная твердость стали X12MФ достигается при достаточном насыщении твердого раствора углеродом и легирующими элементами при содержании остаточного аустенита не больше 15 %. Эти условия реализуются в интервале температур 950...970 °С с отпуском при 180-200 °С. Дальнейшее повышение температуры приводит к снижению твердости из-за появления в структуре большого количества остаточного аустенита.

Эффективной технологией преобразования остаточного аустенита в мартенсит и стабилизации поверхностной твердости является КО стали. Она предусматривает охлаждение металла, прошедшего закалку и отпуск, до температуры жидкого азота, выдержку при этой температуре и последующий низкий отпуск (табл. 1).

Таблица 1. Режимы термической обработки стали X12MФ с дополнительным криогенным воздействием

Операция	t , °С	Условия воздействия, среда
Отжиг	850...870	Охлаждение с печью
Закалка	970	Охлаждение, масло
Отпуск 1	300	Охлаждение, воздух
КО	-196	Нагрев с камерой
Отпуск 2	180	Охлаждение, воздух

При температуре, близкой к -196 °С, доля остаточного аустенита в стали стремится к нулю, так как в этих условиях происходит практически полное мартенситное превращение доли аустенита, сохранившейся в структуре металла после закалки. При этом КО позволяет повысить не только среднее значение твердости рабочей поверхности инструмента, но и стабилизировать ее характеристики на максимально высоком уровне независимо от колебаний химического состава стали, что приводит к росту износостойкости инструмента и увеличивает время его работы между переточками.

В качестве предварительной ТО применялся полный отжиг для выравнивания свойств по сечению образцов с последующей закалкой и отпуском. Режимы ТО приведены в табл. 1.

КО деталей и опытных образцов проводилась с использованием криогенного процессора модели ККО-0,2 и сосуда для криогенных жидкостей DPW 785. Управление температурно-временными параметрами процесса обработки осуществлялось с помощью программно-аппаратных средств.

Одним из наиболее перспективных методов улучшения физико-механических свойств поверхности материала и повышения ее износостойкости являются PVD-технологии. Нанесение

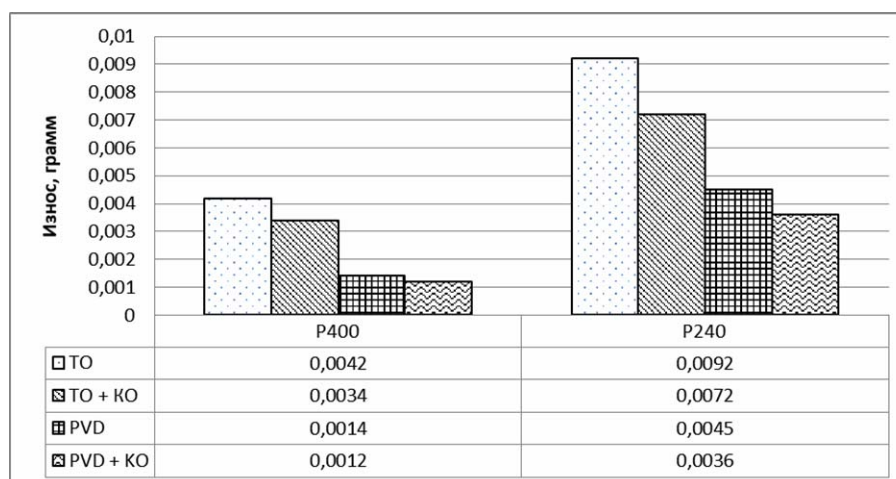
© Михайлов Ю. О., Кокорин Н. А., Тарасов В. В., Князев С. Н., Трифонов И. С., 2017

Публикация выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках работ по проекту «Разработка и создание высокотехнологичного производства унифицированной машины технологического электротранспорта», выполняемому совместно ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова» и ОАО «Сарапульский электрогенераторный завод» (договор № 02.G25.31.0132 от 01.12.2015 г.).

PVD-покрытий Balinit-Allnova (на основе AlCrN) на образцы проводилось на установке INNOVA компании Oerlikon Balzers (Лихтенштейн) в течение 3-5 ч. Толщина полученного покрытия – до 5 мкм. Микротвердость HV = 3200 при коэффициенте трения $\mu = 0,05$ (HRC 48...50).

Сравнительная оценка эффективности сочетания указанных технологий проводилась на цилиндрических образцах $\varnothing 6$ мм, которые подвергались изнашиванию по закрепленному аб-

разиву по схеме «палец – плоскость» с дополнительным вращением образца [4]. Параметры испытаний: сила нагружения образца $N = 4$ Н; скорость перемещения $F = 500$ мм/мин; частота вращения $n = 750$ мин⁻¹, путь трения $L = 415$ мм. Варьируемый параметр – зернистость абразива (электрокорунда) P400 и P240. Износ оценивался гравиметрическим методом на весах ВЛА-200г-М с точностью до 0,0001 г. Результаты испытаний представлены на рисунке.



Изменение износостойкости стали X12MФ после различной упрочняющей обработки (весовой износ)

Испытания на абразивный износ показали, что увеличение зернистости абразива с P400 (28...40 мкм) до P240 (50...63 мкм) интенсифицирует процесс изнашивания независимо от технологии обработки (см. рисунок). Отмечено повышение износа термически обработанных образцов с последующей КО в 2 и более раз при переходе на абразивную шкурку с увеличенной зернистостью. Для образцов с PVD-покрытием и последующей КО этот показатель в тех же условиях растет в 3 и более раз, что свидетельствует о меньшей чувствительности (в относительном представлении) структур металла, подвергнутого ТО к изменению размера зерна абразива. Однако в абсолютных значениях стойкость к абразивному изнашиванию образцов с PVD-покрытием оказывается почти в 2-3 раза выше.

Необходимо заметить, что с экономической точки зрения технология, основанная на применении PVD-покрытий и дополнительной КО, характеризуется высоким уровнем капитальных вложений, поэтому требует строгого экономического обоснования.

Оценка абразивной износостойкости образцов из стали X12MФ (при вариации зернистости абразива в диапазоне 28...63 мкм), обработанных по различным технологическим схемам, показала следующее (табл. 2).

Таблица 2. Износостойкость стали X12MФ, обработанной по различным технологическим маршрутам

Относительная износостойкость *	Абразивная шкурка	
	P400 (28...40 мкм)	P240 (50...63 мкм)
I^{TO} / I^{KO}	1,19	1,22
I^{TO} / I^{PVD}	1,66	1,51
I^{KO} / I^{PVD}	1,59	1,38
I^{PVD} / I^{PVD+KO}	1,14	1,20
I^{TO} / I^{PVD+KO}	1,71	1,61

где I^* – величина износа образцов, обработанных по соответствующей индексу технологии (КО – криогенная обработка; ТО – термическая обработка; PVD-технология с использованием PVD-покрытий; знак (+) означает последовательное применение соответствующих технологий)

На основе анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- КО обеспечивает повышение износостойкости на 19-22 % по сравнению с ТО;
- технология нанесения наноструктурированных PVD-покрытий позволяет повысить износостойкость на 51-66 % по сравнению с технологией ТО и на 38-59 % по сравнению с КО;
- комбинированная технология нанесения PVD-покрытия и дополнительной КО позволяет получить прирост износостойкости на уровне

61-71 % по сравнению с ТО и на 14-20 % по сравнению с PVD-покрытием без КО.

Эксплуатационные испытания комплекта валков (правильная клеть) ТЭСА 10-25 для трубы 20×20 мм из стали Х12МФ, упрочненных КО на Альметьевском трубном заводе, показали повышение износостойкости на 20-25 % [5], что полностью подтвердило эффективность предложенного варианта упрочнения.

КО-обработка внутренних колец прессы фирмы AteliersRoche на Синарском трубном заводе (г. Каменск-Уральский) из закаленной стали Х12МФ применялась для полного распада остаточного аустенита (см. табл. 1). Твердость упрочненных колец соответствовала уровню твердости серийного инструмента 55...60 HRC. Эксплуатационные испытания колец проводились на операции формообразования внутреннего диаметра концов труб 88,9×7,34 мм по серийной технологии с подачей смазки в автоматическом режиме. Установлено, что стойкость упрочненного КО кольца на 0,1 мм износа составила 1024 против 812 операций (высадка конца трубы) при использовании базового (неупрочненного) инструмента. При этом помимо повышения износостойкости на 21 % отмечено отсутствие налипания металла трубы на кольцо, тогда как при эксплуатации серийных колец без КО зачистку налипшего металла производят в среднем через 254 операции формоизменения. Отсутствие налипания исключает необходимость остановки прессы для замены и зачистки кольца, что повышает производительность процесса формоизменения на прессе.

Таким образом, лабораторные исследования и эксплуатационная апробация предложенной упрочняющей технологии показали, что использование КО является эффективным средством повышения ресурса (износостойкости) инструмента из стали Х12МФ и данный вид обработки можно рекомендовать к более широкому промышленному использованию.

Установлен прирост абразивной износостойкости, термически обработанной стали Х12МФ на 19-22 % и термически обработанной стали Х12МФ с PVD-покрытием на основе AlCrN на 61-71 % в результате КО.

Статья профинансирована из средств субсидии из федерального бюджета с целью реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства «Разработка и создание высокотехнологичного производства унифицированной машины технологического электротранспорта», реализуемого в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218

«О мерах государственной поддержки развития кооперации российских образовательных организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства», в рамках подпрограммы «Институциональное развитие научно-исследовательского сектора» государственной программы Российской Федерации «Развитие науки и технологий на 2013–2020 годы», АО «Сарапульский электрогенераторный завод» и ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова» (договор от 1 декабря 2015 г. № 02.G325.31.0132).

Библиографические ссылки

1. Носова Е. А., Кузина А. А., Ибатуллин И. Д. Влияние отпуска на поверхностные структурные изменения в штамповых сталях У8, Х12МФ, 30ХГСА // Известия Самарского НЦ РАН. 2015. Т. 17, № 6(2). С. 375–383.
2. Кокорин Н. А., Тарасов В. В., Трифонов И. С. Криогенное упрочнение промышленных ножей из стали 9ХС для повышения их износостойкости // Химическая физика и мезоскопия. 2016. Т. 18, № 2. С. 257–264.
3. Гугля А. Г., Неклюдов И. М. Покрытия на базе нитрида хрома. Опыт создания и исследования // Успехи физики металлов. 2005. Т. 6. С. 197–232.
4. Пат. РФ № 2601502 МПК G01N3/56 Способ испытания материала на абразивное изнашивание / В. В. Тарасов, И. С. Трифонов, Ю. В. Пузанов, А. Г. Бажин. Опубл. 10.11.2016.
5. Кокорин Н. А. Повышение ресурса прокатных валков криогенной обработкой // Труды X конгресса прокатчиков : сб. статей. М. : ООО «ВАШ ФОРМАТ», 2015. Т. 2. С. 217–220.

References

1. Nosova E. A., Kuzina A. A., Ibatullin I. D. (2015). *Izvestiya Samarskogo NTs RAN* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], vol. 17, no. 6(2), pp. 375-383 (in Russ.).
2. Kokorin N. A., Tarasov V. V., Trifonov I. S. (2016). *Himicheskaya fizika i mezoskopiya* [Chemical physics and mesoscopy], vol. 18, no. 2, pp. 257-264 (in Russ.).
3. Guglya A. G., Neklyudov I. M. (2005). *Uspekhi fiziki metallov* [Advances in Physics of Metals], vol. 6, pp. 197-232 (in Russ.).
4. Tarasov V. V., Trifonov I. S., Puzanov Yu. V., Bazhin A. G. Patent RU 2601502 IPCG01N3/56, 11.10.2016.
5. Kokorin N. A. (2015). *Povyshenie resursa prokatnykh valkov kriogennoi obrabotkoi* [Increasing the life of rolling rolls by cryogenic treatment]. Proceedings of the X kongressa prokatchikov, vol. 2, pp. 217-220. Moscow, Vash format (in Russ.).