

Колесников В.А., Балицкий А.И.

ПОВЫШЕНИЕ ВОДОРОДНОЙ СТОЙКОСТИ ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННЫХ ВЫСОКОАЗОТИСТЫХ СТАЛЕЙ – КАК РЕЗЕРВ РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Приведены результаты триботехнических испытаний высокоазотистых холоднодеформированных сталей в контакте с конструкционной сталью в условиях сухого трения качения. Показано влияние наводораживания сталей и изменение проскальзывания на интенсивность износа.

Ключевые слова: водородная стойкость, водородный износ, продукты износа, высокоазотистая холоднодеформируемая сталь.

Предотвращение катастрофического разрушения материалов при внедрении водорода в кристаллическую решетку (например, из водородсодержащих сред) в процессе эксплуатации узлов механизмов и машин является актуальной задачей для ресурсосберегающих технологий.

Из холоднодеформированных сталей изготавливают различные трубы [1]. Следовательно, прохождение по трубам водородсодержащих жидкостей способствует к насыщению поверхностных и подповерхностных слоёв водородом и, в конечном итоге, приводит к катастрофическому разрушению. Поглощение сплавами водорода приводит к существенным изменениям их механических свойств, наиболее характерным из которых является снижение пластичности, известное под названием водородной хрупкости. В условиях трения возникает такой опасный вид износа как водородное изнашивание [2]. На рис. 1 представлена схема этапов водородного изнашивания, которая дает возможность глубже проникнуть в механизм явлений. В условиях трения качения и скольжения могут осуществляться различные механизмы изнашивания, как правило, это усталостный механизм, окислительный и абразивный износ. Как установлено Д.Н. Гаркуновым и А.А. Поляковым [2], имеются два основных вида изнашивания поверхностей стальных и чугунных деталей под воздействием водорода: изнашивание диспергированием и изнашивание разрушением.

Известно, что высокоазотистые стали обладают уникальным комплексом свойств, позволяющих эксплуатировать детали, изготовленные из них, в самых различных условиях [3]. Эти стали могут обладать повышенной водородной стойкостью [4, 5].

В работе [4] показано, что среди исследуемых материалов наиболее малочувствительной к водороду сталью является сталь с пределом

прочности 900 МПа и пластичностью 60%, которую она сохраняет в среде водорода до $T = 650$ К. Отмечается, что для получения высокой водородной стойкости необходимо избегать появления нитридов.

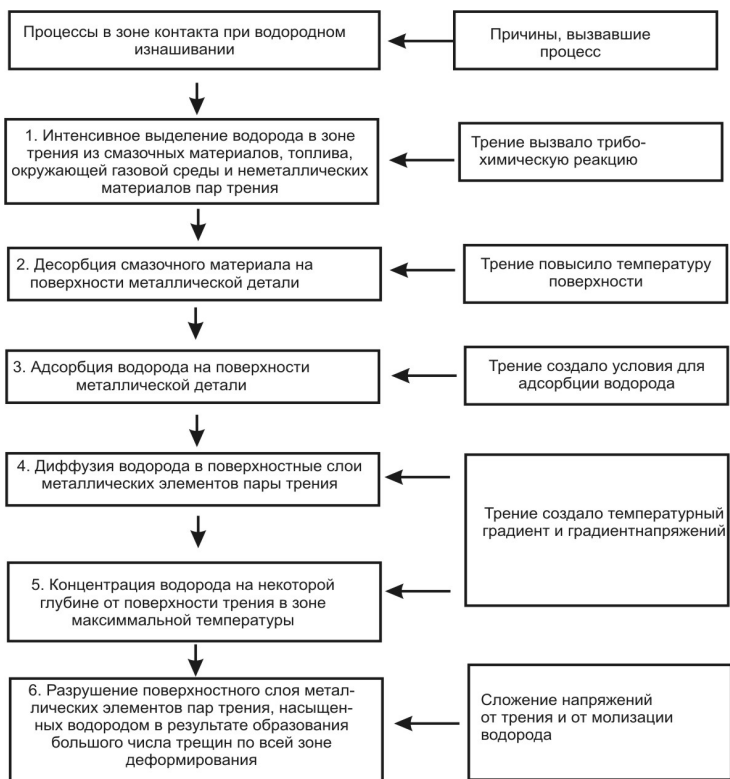


Рис. 1. Схема этапов водородного изнашивания [6]

Однако, влияние водорода на эксплуатационную стойкость машин и механизмов в процессе эксплуатации изучено еще в не достаточной степени. Появление новых сплавов также является стимулом к проведению новых исследований в этой области. Определить только степень влияния водорода в настоящее время не представляется возможным, так как водород входит в состав различных сред. Например, смазочного материала, воды, топлива, выделяется из материалов пары трения и из окружающей среды.

Целью работы являлось провести трибологические испытания после наводораживания образцов из холоднодеформированных высокопрочных сталей.

Наводороживание осуществляли при плотности тока $0,5 \text{ A/cm}^2$ в растворе серной кислоты. Согласно нашей концепции, наводороженный слой позволяет получить поверхностные и подповерхностные слои материала, которые приблизительно обладают свойствами характерными для детали, эксплуатирующейся длительное время в водородсодержащей среде.

Испытания проводили на стационарной лабораторной установке СМТ-1 (2070). Скорость скольжения нижнего ролика составляла 1480 оборотов в минуту, а верхнего 1240 (проскальзывание составляло 15%), также были проведены эксперименты, в которых проскальзывание составляло 0% и 20%. Нижний ролик (диаметр 42 мм) изготовлен из стали 1.0503 (Германия) C45/Ск 45 (DIN), 1045 (США) (HRc = 60 ед.), аналог стали 45. Верхний ролик изготавливался из высокоазотистых сталей с аустенитной микроструктурой микротвердостью 4,2-5,0 GPa. Изготовление высокоазотистых сталей осуществляется из электродов, выплавленных в дуговой печи, которые для улучшения чистоты материала переплавляются на установке электрошлакового переплава или в установке электрошлакового переплава под давлением. После обточки заготовок образцы подвергают диффузионному отжигу, а дальше холодному упрочнению. Далее происходит отжиг для снятия напряжений и чистовая обработка. Холодная пластическая деформация для данных образцов может осуществляться до 60%.

Линейная скорость верхнего ролика составляла 2,27 м/с, а нижнего 3,08 м/с. Ширина роликов составляла 1 см. Потери массы образцов определяли взвешиванием на аналитических весах RADWAG WAA 160 с точностью 0, 0001 г. Структуру сталей исследовали металлографическим, рентгеновским и электронно-микроскопическим методами анализа. Структурно-фазовый анализ проводили на установке ДРОН-3, в излучении (CuK_α).

Т а б л и ц а 1

Химический состав исследуемых сталей

Марка	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	N
Сплав № 1	0.06	0.52	19.4	17.5	0.13	2.08	0.14	0.97
1.0503*	0.42-0.5	0.17-0.37	–	0.25	0.25	–	–	–

*S до 0.04%, P до 0.035, C до 0.25, Cu до 0.25, As до 0.08.

Исследование продуктов износа проводили с помощью микроскопа Neophot 2 с подключением к нему ноутбука и цифровой камеры Canon EOS 30D. Это позволило определить размеры частичек износа и сфотографировать их в различных режимах освещения. Поверхности трения

снимали на электронном микроскопе EVO-40XVP с системой микроанализа INCA Energy 350.

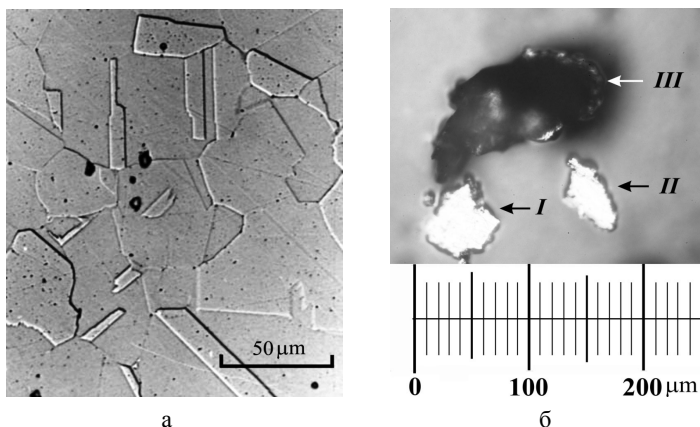


Рис. 2. Микроструктура высокоазотистой холоднореформированной стали с аустенитной микроструктурой – а. Фотографии частичек износа. Частички I, II до наводороживания ролика, частичка III после наводороживания ролика – б

Результаты триботехнических испытаний позволили установить, что размер продуктов износа после наводороживания значительно больше, чем до наводороживания образцов (линейные размеры отличаются в 3-6 раз) (рис. 2,а). Зафиксировано увеличение микротвердости наводороженного слоя образцов с 4,0-4,8 до 7,4-8,8 ГПа, т.е., фактически в 2 раза.

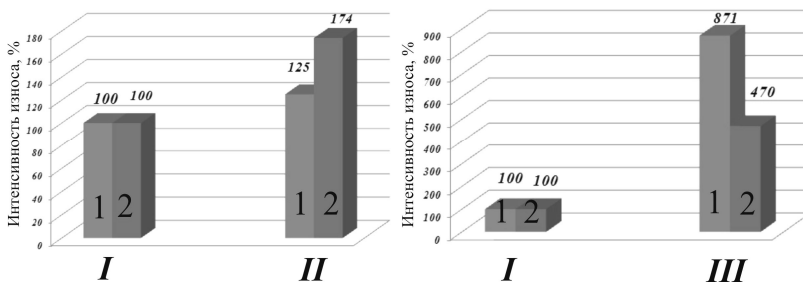


Рис. 3. Результаты проведения трибологических испытаний при нагрузке 250 N

Арабскими цифрами обозначены: 1 – сталь 45; 2 – холоднореформированная сталь. Римскими цифрами обозначены испытания: I – при проскальзывании роликов 0%, II – после наводороживания образца (проскальзывание 0%), III – проскальзывание роликов 20% (без наводороживания).

Анализ трибологических испытаний показывает, что наводороживание образцов приводит к увеличению интенсивности изнашивания. Однако больший износ происходит у наводороженного образца (170–220%). Изменение условий контактирования роликов за счет увеличения проскальзывания сопряженных поверхностей, путем изменения скорости скольжения, приводит к увеличению интенсивности износа. Наибольший износ 871% происходит у конструкционной стали (типа 45), а разрушение холоднотемпературной высокоуглеродистой стали на 470 процентов.

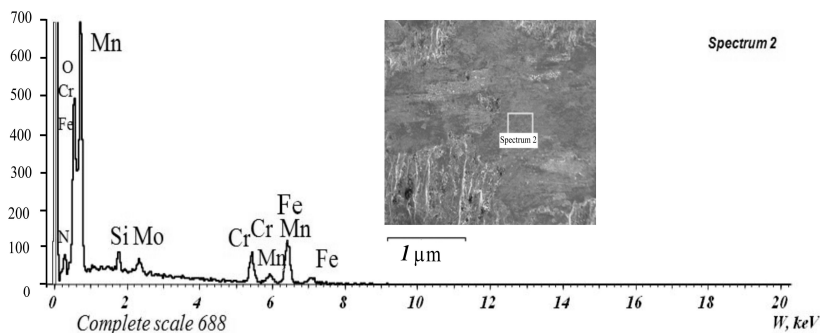


Рис. 4. Результаты характеристического рентгеновского излучения химическими элементами холоднотемпературной высокоуглеродистой стали

Результаты локального анализа показывают, что на поверхности ролика в данной точке фиксируются: кислород (весовой 7.48%, атомный 21,11%), азот (весовой 1.25%, атомный 4,03%), хром (весовой 17.31%, атомный 15,03%) и др. элементы. Присутствие кислорода свидетельствует об образовании оксидных пленок на поверхности трения, которые могут минимизировать интенсивность разрушения.

Известно, что нержавеющая сталь обладает высокой коррозионной стойкостью благодаря натурально образующейся на её поверхности “пассивной” оксидной пленке с повышенным содержанием хрома. Размеры этой пленки около 1-5 нанометров [7]. Эта сплошная пленка химически стабильна даже при условиях, когда поверхностные слои абсорбировали значительное количество кислорода. Если количество кислорода достаточно, то защитный слой может самовосстанавливаться, т.е. если на поверхности стали имеются царапины или выбоины, то в результате взаимодействия атмосферного кислорода и хрома защитный слой восстанавливается [8, 9]. Данное свойство нержавеющих марганцевых сталей в условиях трения в определенном диапазоне нагрузок и скоростей может быть использовано как эффективный способ для уменьшения или даже устранения окислительного изнашивания мате-

риала. Так в условиях сухого трения на поверхности данных материалов уже существует “готовая“ пленка, благодаря которой взаимодействие осуществляется не по микронеровностям основного материала, а по пленкам. В результате чего, до момента разрушения данных пленок износ данных сталей практически равен нулю. Проведенные нами испытания, позволили выявить такую закономерность, что при трении образцов, осуществляемом после большей нагрузки к меньшей, существенно снижается интенсивность износа образцов. Однако, при увеличении удельного давления данные пленки разрушаются, и в условиях сухого трения происходит схватывание “ювенильно” чистых поверхностей. Как показали результаты собственных экспериментов наводораживание образцов приводит к интенсификации процессов разрушения. Тем не менее, зафиксированное увеличение микротвердости поверхностного слоя в условиях наводораживания, также на некоторых этапах может приводить, к уменьшению износа, например, на начальных стадиях насыщения поверхностных слоёв водородом.

Таким, образом, для высокоазотистых холоднодеформированных сталей, может существовать диапазон нагрузок и скоростей, приводящих к существенному снижению износа.

Выводы. Проведенные эксперименты показали, что наводораживание высокоазотистых холоднодеформированных сплавов приводит к увеличению интенсивности износа в 1,7– 2,2 раза при нагрузке 250 Н. Данный процесс сопровождается изменением морфологии частичек износа и увеличением их линейных размеров в 3–6 раз. Также установлено, что изменение проскальзывания сопряженных роликов (с 0 до 20%) приводит к увеличению интенсивности износа для конструкционных сталей типа 45 в 8–9 раз, а высокоазотистых холоднодеформированных в 4–5 раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 8733-87. Бесшовные холоднодеформированные трубы.
2. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безизносность) / Д.Н. Гаркунов // М.: издательство МСХА, 2001. – 616 с.
3. Balyts'kyi O.I. Tribotechnical properties of austenitic manganese steels and cast - irons under sliding friction conditions / O.I. Balyts'kyi, V.O. Kolesnikov, P.Kawiak // Materials Science.– Vol.41, № 5. - 2005. – P. 624–630. <http://www.springerlink.com/content/j317756rm17p4226/fulltext.pdf>.
4. Ткачев В.И. Водородная усталость сталей / В.И. Ткачев, В.И. Холодный, В.И.Витвицкий // International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology ISJAEЕ. - № 3 (11) 2004. – С. 34–36.
5. Балицький О.І., Душар І.Я., Колесніков В.О., Мельніков С.Д. Водневостійка сталь. Патент на корисну модель України, МПК 22С 38/50. Заявка № u 2009 08857; Заявлено 25.08.2009. Опубліковано 10.02.2010. Бюл.№3,2010.-4 с.
6. Справочник по триботехнике / Под общ. Ред. М. Хебды, А. В. Чичинадзе, 1989. – 400 с.

7. Карлсон Л. Нержавеющая сталь – прошлое, настоящее и будущее / Л. Карлсон // *Survivimias*. Сварка – журнал о сварочных технологиях и материалах. 2004. – № 1 (4) . – С. 17– 20.

8. *Stainless steels*, Editors P. Lacobe et al, Les Éditions de Physique Les Ulls, 1993.

9. Beddoes J. Introduction of stanless steels / J. Beddoes and J. Gordon Parr, ASM International, 1999.

Колесніков В.О., Балицький О.І. Підвищення водневої стійкості холоднодеформованих високоазотних сталей - як резерв ресурсозберігання матеріалів

Приведені результати триботехнічних випробувань високо-азотистих холоднодеформованих сталей у контакті з конструкційною сталлю в умовах сухого тертя кочення. Показаний вплив наводнювання сталей та зміна проковзування на інтенсивність зносу.

Ключові слова: воднева стійкість, водневе зношування, продукти зношування, високоазотна холоднодеформована сталь.

Kolesnikov V.O., Balitskii O.I. Improvement of H-resistance of cold deformed high-nitrogen steels - as reserve of resource saving of materials

The results of tribotechnical tests of highly-nitrogen cold deformed steels in contact with structural steel in dry friction conditions are presented. It has shown the influence of hydrogenasation of steels and changing of slipping on wear intensity.

Keywords: hydrogen stability, hydrogen wear, products of wear, high-nitrogen cold-deformed steel.

Колесников В.А. – канд. техн. наук, доцент Краснодарского факультета инженерии и менеджмента Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск
e-mail: kolesnikov1976@mail.ru

Балицкий А.И. – докт. техн. наук, профессор, Физико-механический институт им. Г.В. Карпенка НАН Украины, г. Львов
e-mail: balitski@ipm.lviv.ua

Поступила в редакцию: 14.04.2011.

Рецензент: Рябичева Л.А., д-р техн. наук, профессор.

Колесников В.А., Балицкий А.И. Повышение водородной стойкости холоднодеформированных высокоазотистых сталей – как резерв ресурсосбережения материалов // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Зб. наук. праць. – Луганськ: Видавництво СНУ.- 2011. – С. 81 – 87.

Підвищення водневої стійкості холоднодеформованих високоазотних сталей - як резерв ресурсосбереження матеріалів.

Improving the hydrogen resistance of cold-deformed high-nitrogen steels as a resource-saving reserve of materials.

Приведены результаты триботехнических испытаний высокоазотистых холоднодеформированных сталей в контакте с конструкционной сталью в условиях сухого трения качения. Показано влияние наводораживания сталей и изменение проскальзывания на интенсивность износа.

Ключевые слова: водородная стойкость, водородный износ, продукты износа, высокоазотистая холоднодеформируемая сталь.

Наведено результати триботехнічних випробувань високоазотистих холоднодеформованих сталей в контактi з конструкційної сталлю в умовах сухого тертя качення. Показано вплив наводораживання сталей і зміна прослизання на інтенсивність зносу.

Ключові слова: воднева стійкість, водневий знос, продукти зносу, високоазотистих холоднодеформована сталь.

The results of tribotechnical testing of high-nitrogen cold-deformed steels in contact with structural steel under conditions of dry rolling friction are presented. The effect of the hydrogen picking of steels and the change in slippage by the wear rate are shown.

Key words: hydrogen resistance, hydrogen wear, wear products, high-nitrogen cold-deformed steel.

https://www.researchgate.net/publication/337769096_Kolesnikov_VA_Balickij_AI_Povyshenie_vodorodnoj_stojkosti_holodnodeformirovannyh_vysokoazotistyh_stalej_-_kak_rezerv_resursosberezhenia_materialov_Resursozberigauci_tehnologii_virobnictva_ta_obrobki_ti?fbclid=IwAR2ImhQ4XCfiTAz7H0YzRdtqUK7slcQKJGRD9Q0AOFFs2e8YHBDXOYMG1vM

https://kolesnikov.ucoz.com/load/povyshenie_vodorodnoj_stojkosti_kholodnodeformirovannykh_vysokoazotistyx_stalej_kak_rezerv_resursosberezhenija_materialov/1-1-0-165

https://researchworker.ucoz.ru/load/publikacii/povyshenie_vodorodnoj_stojkosti_kholodnodeformirovannykh_vysokoazotistyx_stalej_kak_rezerv_resursosberezhenija_materialov/3-1-0-283