УДК 539.4:620.2

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ УДАРНЫХ МАШИН С ПОМОЩЬЮ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКИ

П.А. ПОПЕЛЮХ, аспирант
А.И. ПОПЕЛЮХ, канд. техн наук, доцент
(***НГТУ, г. Новосибирск***)

Статья поступила 9 ноября 2012 года

Попелюх А.И. – 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: aip13@ mail.ru

Рассмотрена возможность применения изотермической закалки для упрочнения деталей пневмоударника. Показано, что применение технологии изотермической закалки позволяет в полтора раза повысить циклическую трещиностойкость по сравнению со сталью в закаленном и отпущенном состоянии.

Ключевые слова: термическая обработка, ударные механизмы, надежность.

Введение

В настоящее время для бурения скважин широко применяют погружные пневматические ударные механизмы. Одно из наиболее перспективных направлений повышения эффективности пневмоударников – увеличение давления сжатого воздуха, что позволяет увеличить скорость бурения в несколько раз. Для изготовления ударных машин с высоким давлением энергоносителя необходимы материалы, обладающие высокой прочностью и значительным сопротивлением усталостному разрушению. Типичная причина выхода из строя пневмоударников – усталостное разрушение наиболее нагруженной и ответственной детали – бойка. Для изготовления бойков обычно применяют высококачественные легированные среднеуглеродистые стали. Однако использование традиционной технологии термообработки стали – закалки с отпуском – не позволяет обеспечить приемлемый ресурс работы пневмоударников, который в настоящее время при проходке скважин в грунтах средней крепости не превышает нескольких десятков часов [1]. Цель работы заключалась в выборе рациональной технологии и режимов термического упрочнения бойка экспериментального пневмоударника высокого давления, разработанного в ИГД СО РАН.

Материалы и методы исследования

Научные публикации свидетельствуют, что использование технологии изотермической закалки позволяет сочетать в стали высокие показатели трещиностойкости, ударной вязкости, прочности. Данная технология может быть использована для упрочнения деталей горных машин твердостью 38-42 HRC [2]. В качестве материала для исследования применяли высококачественную среднелегированную сталь марки 40Х2Н2МА. Выбор режимов термической обработки производили с учетом результатов математического моделирования процесса нагружения, позволяющего оценить величину напряжений, возникающих в бойке в процессе его взаимодействия с инструментом. Моделирование осуществляли с использованием программного пакета ANSYS Workbench. Для выявления возможности использования изотермической закалки для упрочнения бойка пневмоударника производили сравнение свойств стали, обработанной по технологии изотермической закалки, с характеристиками стали, упрочненной закалкой с отпуском. Закалку с отпуском образцов из стали 40Х2Н2МА производили по следующим режимам: нагрев до температуры 860 °С, закалка в масло и последующий отпуск в диапазоне температур от 400 до 600 °С. В качестве альтернативной технологии упрочнения была применена

изотермическая закалка: образцы подвергали нагреву до температуры 860 °С с последующим охлаждением в расплаве солей при температуре 350 или 450 °С. Время изотермической выдержки было равно 40 мин.

Обработанные по различным технологиям образцы из стали 40Х2Н2МА испытывали растяжение, ударный изгиб, сопротивление разрушению при циклическом растяжении и сжатии. Статические испытания на растяжение проводили на универсальном измерительном комплексе Instron 300 DX в соответствии с требованиями ГОСТ 1497-84. Испытания на ударный изгиб осуществляли на автоматизированном маятниковом копре MetroCom 06103300 с энергией удара 300 Дж. Оценку сопротивления стали усталостному разрушению при воздействии на нее циклической растягивающей нагрузки проводили на гидравлическом испытательном комплексе Instron 8801. Частота нагружения составляла 5 Гц, амплитуда нагрузки была равна 30 кН. Для испытаний использовали плоские образцы размером 100×20×4 мм с концентратором напряжения.

Испытания на долговечность при ударно-циклическом нагружениии проводили на установке электромагнитного типа, реализующей схему ударного сжатия образцов размером 35×10×3 мм. На боковые поверхности образцов были нанесены концентраторы напряжения. Испытания проводили с частотой 500 ударов в минуту при энергии единичного удара, равной 7 Дж. В ходе испытаний оценивали время зарождения в образцах усталостных трещин и количество циклов до полного разрушения образцов.

Результаты экспериментов и их обсуждение

Результаты математического моделирования напряженно-деформированного состояния материала бойка при его взаимодействии с инструментом показали, что наиболее нагруженной частью бойка является хвостовик, в котором возникают напряжения величиной 320 МПа (рис. 1). Литературные данные свидетельствуют, что высокая надежность деталей ударных механизмов может быть обеспечена, если максимальная нагрузка в цикле не превышает половины предела текучести стали [3]. Таким образом, при термической

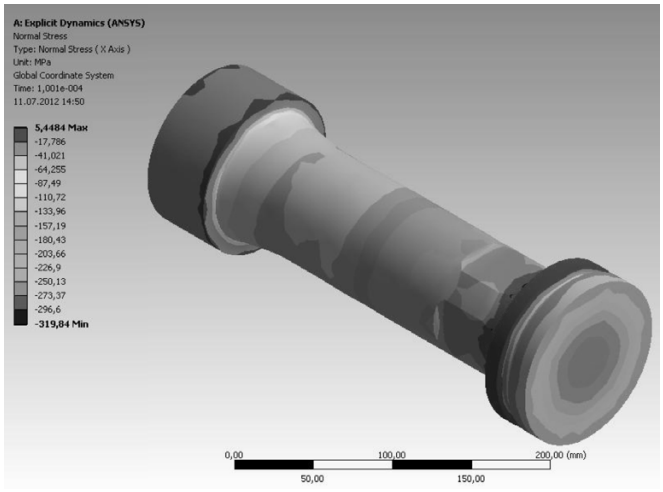

Рис. 1. Распределение напряжений в бойке

обработке бойка целесообразно использовать режимы, обеспечивающие предел текучести не менее 650 МПа.

Результаты статических испытаний на растяжение позволили установить, что заданный уровень предела текучести может быть обеспечен, если температура отпуска после закалки не превышает 500 °С. При изотермической закалке необходимый уровень механических свойств стали может быть получен при температуре охлаждающего расплава соли, равной 350 °С. Показатели механических свойствах стали, термически упрочненной по различным режимам, приведены в таблице.

Результаты усталостных испытаний образцов при воздействии на них циклической растягивающей нагрузки показали, что сталь 40Х2Н2МА, упрочненная по технологии изотермической закалки, обладает полуторакратным преимуществом в усталостной трещиностойкости по сравнению со сталью в закаленном и отпущенном состоянии (при аналогичном уровне твердости HRC 37–40). В условиях нагружения циклическим сжатием сталь со структурой нижнего бейнита обладает более высоким сопротивлением усталостному разрушению по сравнению со сталью, упрочненной закалкой с отпуском. Следует отметить, что по показателю ударной вязкости изотермически закаленная сталь не имеет существенных преимуществ по сравнению со сталью после закалки с отпуском до сопоставимого уровня твердости.

Высокие усталостные свойства стали со структурой нижнего бейнита могут быть объяснены тем, что по сравнению с традиционной

Показатели механических свойств стали 40Х2Н2МА после различных режимов термического упрочнения

Термообработка	Твердость, HRC	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_в$, МПа	δ,%	KCV, Дж/см^2	Долговечность при растяжении, мин	Долговечность при сжатии, мин
Закалка + отпуск 400 °С	43	1304	1501	8	46	10/27,3*	3325
Закалка + отпуск 500 °С	40	870	1257	14	62	10/33,8*	2675
Закалка + отпуск 600 °С	32	539	950	20	88	–	–
Изотермическая закалка при 350 °С	37	735	1160	24	50	14/41,5*	4505
Изотермическая закалка при 450 °С	34	562	820	16	39	–	–

* Время зарождения трещины / показатель общей долговечности.

закалкой, при которой мартенсит образуется с высокой скоростью, бейнитное превращение протекает с пониженной скоростью, а это способствует формированию менее дефектной и напряженной структуры. Проведенные ранее исследования показали, что в условиях многократного динамического нагружения рост усталостных трещин происходит преимущественно по границам раздела фаз [4]. Результаты электронно-микроскопических исследований говорят о том, что карбиды, образующиеся в структуре закаленной стали при ее отпуске на границах кристаллов мартенсита, имеют значительную протяженность (рис. 2). В стали со структурой нижнего бейнита дисперсные выделения карбидов окружены пластичной α- фазой, являющейся эффективной преградой на пути распространения трещины (рис. 3).

Основными факторами, ограничивающими широкое применение изотермической закалки для упрочнения деталей механизмов, являются более высокая стоимость процесса, а также повышенные требования к экологической и взрывобезопасности. Однако при изготовлении наиболее ответственных деталей эти факторы не имеют решающего значения, а основополагающим показателем является высокий уровень механических свойств. Технологический процесс изотермической закалки был использован для упрочнения бойка экспериментального пневмоударника, разработанного в ИГД СО РАН (рис. 4). Предварительные результаты промышленных испытаний показали высокие эксплуатационные свойства нового образца погружного пневматического ударника.

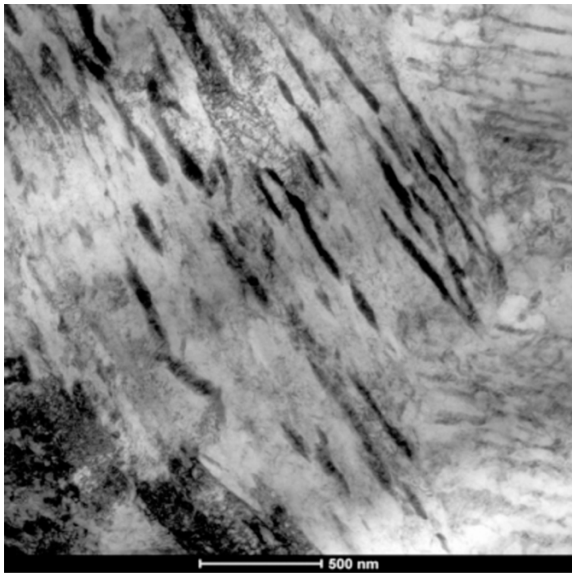

Рис. 2. Структура стали после закалки и отпуска при 400 °С

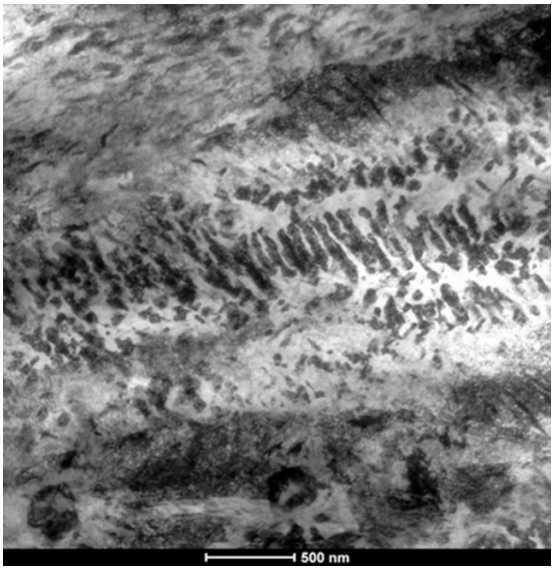

Рис. 3. Структура стали после изотермической закалки при 350 °С

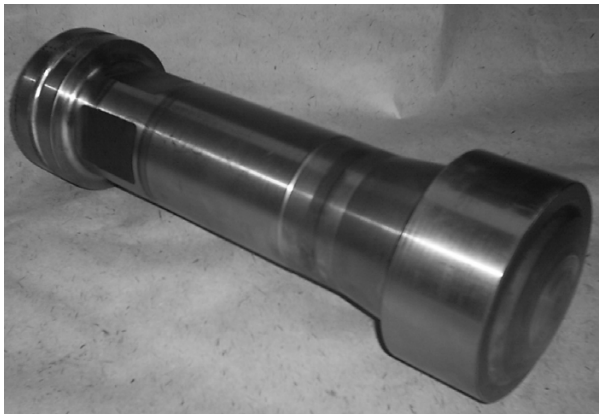

Рис. 4. Боек экспериментального погружного пневмоударника

Вывод

Сталь, упрочненная по технологии изотермической закалки, обладает полуторакратным преимуществом в усталостной трещиностойкости по сравнению со сталью в закаленном и отпущенном состоянии (при аналогичном уровне твердости HRC 37-40). Изотермическая закалка с формированием в стали структуры нижнего бейнита может быть рекомендована для упрочнения деталей ударных механизмов, при эксплуатации которых не возникают напряжения свыше 400 МПа.

Список литературы

1. *Иванов К.И. Латышев В.А. Андреев В.Д.* Техника бурения при разработке месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, 1987. – 272 с.

2. *А.И. Попелюх А.И., Теплых А.М., Терентьев Д.С., Огнев А.Ю.* Повышение конструктивной прочности деталей ударных машин термической обработкой созданием в стали смешанной структуры // Обработка металлов. – № 2. – 2009. – С. 19–24.

3. *Соколинский В. Б*. Машины ударного разрушения (Основы комплексного проектирования). – М.: Машиностроение, 1982. – 184 с.

4. *Popelukh A.I., Bataev V.A., Ivanchenko V.A.* Features of Structure Influence on the Mechanism of Steel Destruction at Repeated Dynamic Load under Compression Scheme The Third International Forum on Strategic Technologies «INFOST» Novosibirsk-Tomsk, Russia June 23-29, 2008. – P. 99–101.

Increase of machine elements reliability by isothermal quenching applying

P.A. Popelyukh, A.I. Popelyukh

An ability of applying isothermal quenching to strengthpneumostriker elements was considered. It was stated that substitution of quenching with tempering heat treatment for isothermal quenching give one and a half rise in cyclic fracture toughness.

Key words: heat treatment, percussion mechanism, reliability.