

УДК 621.7

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИК И ТЕХНОЛОГИЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ

© 2013 А.В. Кириллова

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва  
(национальный исследовательский университет)

Поступила в редакцию 02.12.2013

В статье рассмотрено комплексное изучение причин разрушения деталей крановых механизмов (кран Скат-40). Разработка технологических процессов термической обработки при изготовлении этих деталей во избежание их разрушения в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: разрушение, макроструктура, микроструктура, твердость, термическая обработка.

Изучение причин разрушения деталей включало в себя макроструктурное и микроструктурное исследование разрушенных деталей, испытания на твердость. Исследование проходило поэтапно:

- изучение причин разрушения крупногабаритных пружин в колёсных тележках крановых платформ;

- причины разрушения спецболтов из стали 30ХГСА;

- причины разрушения сварного соединения трубчатой конструкции.

1 этап: целью исследования являлось изучение характера и вида разрушения цилиндрических крупногабаритных пружин в колесных тележках крановой платформы, а также установления возможных причин разрушения.

Разрушение произошло в трех пружинах: в одной пружине разрушение произошло в концевой части, а двух излом находится в средней части. Во всех случаях на поверхности излома различают две зоны, что предполагает усталостный излом. Поверхность зоны начала усталостного излома тусклоблестящая, притертая. На изломе, имеющем зернистый характер наблюдается явно выраженный волокнисто-ступенчатый профиль, который отражает последовательное наложение распространяющейся трещины. Излом имеет хрупкий характер у всех разрушенных пружин. В изломе практически не обнаружено вязкой составляющей. По волокнисто-ступенчатому характеру излома можно предположить, что установить, что усталостная трещина двигалась по сечению не с равномерной скоростью.

Для выявления внутреннего строения и обнаружения возможных микротрещин проведены

микроструктурные исследования (на шлифах, вырезанных вблизи мест разрушения). В структуре всех пружин обнаружено большое количество микротрещин. Некоторые микротрещины имеют выход на поверхность, однако большинство находится внутри сечения. В результате микроструктурных исследований, установлено, что основной структурой является тростит отпуски, полученный при отпуске из напряженного и хрупкого крупноигольчатого мартенсита закалки. Последний может образовываться в следствии перегрева стали перед закалкой. Наличие троститной структуры подтверждают и замеры твердости HRC 43-45. Также установлено, что микротрещины выходят на поверхность зерна, причем трещины распространяются как по телу зерна, так и по их границам.

Пружины изготовлены из стали маркированной по европейским стандартам 52SiCr5-Z76 (такая маркировка проводится для качественных низколегированных сталей). В результате исследований изучен химический состав разрушенных пружин путем спектрального анализа, который позволил установить соответствие зарубежной марки стали отечественным аналогам (состав характерен для отечественных сталей марок сталей 55СГ, 60СГ).

Анализ условий эксплуатации при наличии динамических знакопеременных нагрузок в течении длительного времени, учитывая вид излома предполагает, что дефект может носить характер усталостного разрушения.

В тоже время не исключается возникновение хрупкости пружин вследствие перегрева стали при нагреве под закалку, который вызывает крупнозернистость аустенита и образование напряженного и хрупкого крупноигольчатого мартенсита, перешедшего при отпуске в троститную структуру.

Кириллова Анна Викторовна, старший преподаватель кафедры технологии металлов и авиационного материаловедения. E-mail: avkirillova76@mail.ru

Выявленные структурные изменения позволяют наметить новый научный подход к возникновению дефектов как при длительной эксплуатации пружин, так и при несоблюдении режимов их термической обработки.

**2 этап:** исследование дефекта «пятнистость» в спец болтах из стали 30ХГСА.

В процессах термообработки болтов опорно-поворотного устройства (ОПУ) подъемного крана возникают дефекты в виде неравномерного распределения твердости на различных участках поверхности закаленного болта (пятнистость, т.е. твердых и мягких мест). Согласно техническим требованиям для болтов ОПУ из стали 30ХГСА их твердость после закалки и последующего отпуска должна укладываться в пределах НРС 30-34. Однако по заводским данным, твердость колебалась в пределах НРС 25-40. При этом параметры прочности, определяемые испытанием на разрыв образцов, вырезанных из тела болта, обеспечивали требуемую прочность по значениям предела прочности.

Для выявления причин возникновения дефекта пятнистость были поставлены следующие задачи: провести исследование режимов термической обработки в термическом цехе по всей технологической цепочке и выявить возможные отклонения от параметров технологической карты; изучить топографию изменения твердости закаленных и отпущенных болтов, исследовать микроструктуру в различных местах изделия при закалке и отпуске.

Анализ реальных режимов термообработки, проводимой в производственных условиях термического цеха показал, что все операции: нагрев детали, температура нагрева под закалку, время переноса нагретых деталей вместе с поддоном, отпуск закаленных болтов – соответствует технологической карте процесса, но в тоже время на всех болтах было обнаружено появление дефектов мягких пятен. Для лабораторных исследований были отобраны образцы болтов с характерными дефектами в виде мягких пятен как после закалки, так и после отпуска. В процессе исследований путем замера твердости НРС по всей длине болтов была выявлена топография распределения твердости и определенные места пониженной твердости (мягкие пятна) в закаленном и отпущенном состоянии. В местах обнаружения пониженной твердости необходимо было провести микроструктурный анализ поверхностного слоя и выявить присутствие тростита закалки или наличие ферритных участков среди тростита. Микроструктурное исследование включало как выявление общей картины структуры закаленной стали, так и обнаружение изменений в структуре поверхностного слоя (в месте с пониженной твердостью).

В результате исследований дефекта «пятнистости» были выявлены возможные причины его образования: неблагоприятная структура, формируемая в процессе предварительной термической обработки перед закалкой; неравномерное охлаждение в процессе закалки в отдельных локальных местах, вызывающих в них неполную закалку.

Для устранения дефекта «пятнистости», возникающего при термической обработке можно порекомендовать следующие мероприятия: внести изменения в режим предварительной термической обработки, назначив вместо полного отжига нормализацию с уменьшением времени выдержки до 1 часа; внести изменения в конструкцию поддона, для обеспечения более равномерного охлаждения болтов и исключения контактов соприкосновения их при закалке.

**3 этап:** изучение причин разрушения трубчатой конструкции опоры автомобильного крана по сварному соединению.

В комплексе исследований был проведен анализ химического состава, представленного образца, которое показало несоответствие марки стали 30ХГСА, указанной на чертеже. Представленные образцы соответствуют марке стали 40Г.

Макроструктурный анализ отсутствие сварного шва, участок сварного соединения, где не произошло оплавление электрода с шовным металлом, также на поверхности видны следы предварительной механической обработки. В некоторых частях сварного соединения наблюдаются трещины, расположенные вдоль оси трубы. В этих местах и началось разрушение сварного шва.

Микроисследование включало в себя изучение двух участков трубы: по сечению трещины в сварном шве и по сечению сварного шва без трещины. Исследование показало, что на границе основного металла отсутствует зона литого металла. В этом месте не произошло расплавления основного металла. Однако наблюдается изменение структуры основного металла под действием нагрева электрической дуги. Структура стали в этом месте – сорбит закалки, образовавшийся под действием нагрева и довольно быстрого охлаждения холодной части трубы. Структура стали трубы на некотором отдалении от шва также претерпела изменения. Она представляет собой сорбитообразный перлит менее дисперсный, чем в шве.

В основной части трубы, где уже отсутствует термическое влияние сварки, структуру состоит из зерен перлита, окруженных сеткой феррита. Структура крупнозернистая, означающая, что в процессе металлургического производства труба подверглась перегреву. Одновременно с микроисследованием околошовного пространства было проведено исследование микроструктуры металла электрода в сварном шве. В результате

плавления электрода в сварном шве и быстрого охлаждения сформировалась мелкозернистая ячеистая структура. Она представляет собой чистый феррит. Для сварки легированных сталей используют электроды из малоуглеродистых сталей, где содержание углерода около 0,08%. Поэтому даже при быстром охлаждении в сварном шве не произошло закалки.

Исследование механических свойств сварного соединения проводилось на приборе Роквелла алмазным конусом при нагрузках 150 и 60 кг (HRC и HRA).

Измерения проводились от кромки сварного шва вдоль оси трубы через 1,5 мм. Значения твердости оказались следующие:

HRC 98, 97, 96, 95, 94, 92, 92 и т.д.

HRA 41, 65, 53, 52, 51, 51, 51 и т.д.

Первое значение HRA41 относится к твердости металла углерода в шве. Результаты измере-

ния показывают, что вблизи сварного шва твердость несколько повышена. Это является следствием теплового воздействия сварки на структуру металла в околошовном пространстве – произошла закалка с образованием структуры сорбит закалки.

В результате исследований было установлено, что сталь 40Г относится по технологическим свойствам к классу затруднительно свариваемых. При сварке этой стали необходим подогрев и последующая термическая обработка. Основными причинами разрушения сварного соединения является неправильный выбор материала трубы (изменена его марка) и как следствие возникли нарушения технологии сварки.

Для устранения дефектов приведенных в данной работе были предложены технологические рекомендации по термической обработке конкретных деталей используемых в кране Скат-40 (табл. 1).

**Таблица 1.** Режимы термической обработки деталей.

Наименование детали	Марка материала	Вид ТО	Способ укладки	Режим термообработки		
				Температура, °С	Время выдержки	Среда охлаждения
Пружина	60СГ	Закалка/опуск	Рядовой	850-870/430-460	25-30/40-50	масло/воздух
Болт	30ХГСА	Закалка/опуск	Рядовой	860-880/380-420	30-35/40-50	масло/масло
Труба	30ХГСА	Закалка/опуск	Рядовой	860-880/590-620	45-50/65-70	масло/масло

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арзамасов В.Б., Черепашин А.А. *Материаловедение*; учебник. М.: Экзамен, 2009. 350 с.
2. Гуляев А.П., Гуляев А.А. *Металловедение*: учеб. для вузов. 7-е изд. М.: Альянс, 2012. 643 с.
3. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. *Материаловедение*: учеб. для вузов. 6-е изд. М.: Альянс, 2011. 528 с.

## DEVELOPMENT OF TECHNIQUES AND TECHNOLOGIES QUALITY ASSESSMENT HEAVILY PARTS TO ENHANCE THEIR OPERATIONAL RELIABILITY

© 2013 A.V. Kirillova

Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov  
(National Research University)

The article discusses a comprehensive study of the causes of degradation mechanisms crane parts (crane Scat-40). Development of process of thermal processing, for fabricate these details to avoid destroying while in service.

Keywords: destruction, macrostructure, microstructure, hardness, heat treatment.