

УДК 621.78**УСТАНОВКА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ШАССИ САМОЛЕТА**

Сергей Владимирович Беляков⁽¹⁾, Даниил Андреевич Иконников⁽²⁾,

Магистрант 1 года⁽¹⁾, аспирант 1 года⁽²⁾

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: М.Ю. Семенов,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Конструкция шасси самолета включает в себя ряд деталей (гильзы и штоки гидравлических цилиндров, элементы стойки шасси и т.п.), основными условиями эксплуатации которых являются различные малоцикловые усталостные нагрузки, ударные и другие виды нагружений, а также условия резкого перепада температур окружающего воздуха.

Наиболее распространенным материалом, из которого изготавливаются указанные детали, является улучшаемая среднелегированная сталь 30ХГСА (химический состав – таблица 1), широко используемая в авиационной промышленности. В качестве заменителей данной стали применяются марки 40ХФА, 35ХМ, 40ХН, 25ХГСА, 35ХГСА [1].

Таблица 1. Химический состав стали 30ХГСА [2]

Концентрация легирующих элементов и примесей, %							
C	Si	Cr	Mn	S	P	Ni	Cu
0,28– 0,34	0,90– 1,20	3,00– 3,40	0,80– 1,10	≤0,025	≤0,025	≤0,30	≤0,30

Традиционным режимом термической обработки данной стали является закалка с температуры 888 °С в масло с последующим высоким отпуском при температуре 550-650 °С с охлаждением в воде или масле (ввиду чувствительности к после отпускной хрупкости). После высокого отпуска достигается достаточно высокая ударная вязкость KCU , равная 42-49 Дж/м² при температуре отпуска, равной 540 °С, и 54-59 Дж/м² – при 620-640 °С [2].

Высокая ударная вязкость данной стали стабильно сохраняется при пониженных температурах, при которых зачастую эксплуатируются указанные детали. Так после отпуска при температуре 580-620 °С достаточная ударная вязкость (более 40 Дж/м²) сохраняется при температурах вплоть до -40 °С.

Вместе с тем, после высокого отпуска твердость поверхности стали не превосходит 230-310 НВ [2] (20-31 HRC [3]).

Такой низкий уровень твердости не обеспечивает необходимого сопротивления поверхностей деталей изнашиванию микрорезанием абразивными частицами, возможным при эксплуатации указанных деталей в характерных для них условиях.

Вместе с тем уменьшение температуры отпуска или проведение поверхностного упрочнения путем цементации недопустимо вследствие снижения ударной вязкости и повышения вероятности ударного разрушения, которое для деталей шасси может привести к катастрофическим последствиям.

Кроме того, как известно, повышение прочности поверхности способствует повышению выносливости при изгибе (в том числе, малоцикловом) за счет увеличения энергии зарождения усталостной трещины в области наибольших изгибных напряжений, то есть на поверхности.

Как показали предварительные испытания указанных деталей из стали 30ХГСА на изгибную выносливость, их долговечность находится в опасной зоне, близкой к минимальным

допустимым значениям. Таким образом, существующая технология упрочнения не в полной мере удовлетворяет требованиям надежности летательных аппаратов.

Также существенным образом на изгибную усталость поверхности влияет ее шероховатость. Так чем больше высота микронеровностей и меньше их шаг, тем меньше радиус закругления микроскопических впадин, что приводит к росту в этих местах концентрации напряжений и, как следствие, к снижению усталостной прочности [4].

Эффективным способом повышения твердости и снижения шероховатости поверхности является электрохимическая обработка (ЭМО), которая, в зависимости от плотности электрического тока, может приводить к нагреву поверхности выше температуры аустенитного превращения с последующей закалкой, так и к нагреву ниже порога рекристаллизации [5].

Электрохимическая обработка обеспечивает повышение твердости поверхности при сохранении вязкой сердцевины детали; отсутствие окисления и обезуглероживания поверхностного слоя; оптимальную микрогеометрию по высоте и форме [6].

Согласно данным [5], в результате ЭМО нормализованной стали 45 по различным режимам приводит к уменьшению значения параметра шероховатости R_z с 26-30 мкм до 2 мкм. При этом в среднем при ЭМО начальное и конечное значение параметра шероховатости различается в 2-5 раз. В работе [7] достигнута шероховатость стальной поверхности R_a , равная 0,2 мкм.

В связи с изложенным, целью настоящей работы явилось разработка оригинальной установки электрохимической обработки для поверхностного упрочнения и уменьшения шероховатости образцов из среднеуглеродистой стали а также ее экспериментальное опробование.

Экспериментальную установку ЭМО реализовали на базе токарного станка модели 16K20 (рис. 1), на котором обрабатывали наружную цилиндрическую поверхность образца. Образец (1) закрепляли в трехкулачковом патроне (2) станка. Обрабатывающий инструмент – обкатной ролик (3) закрепляли в специальной державке (4), которую устанавливали в резцедержателе (5) станка.

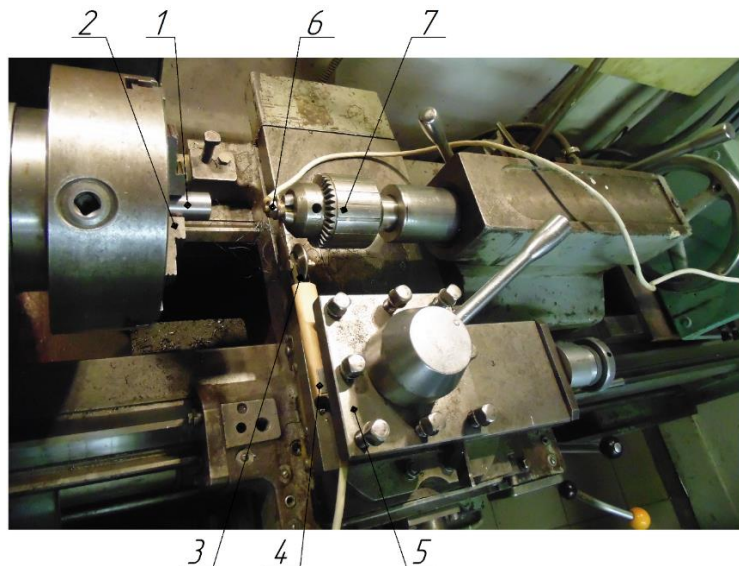


Рис. 1. Рабочая зона экспериментальной установки.

Принципиальная электрическая схема установки (рис. 2) предусматривает возможность подвода на заготовку низковольтного постоянного тока высокой плотности (напряжение 6 В), при этом сила тока регулировалась в пределах 100-300 А.

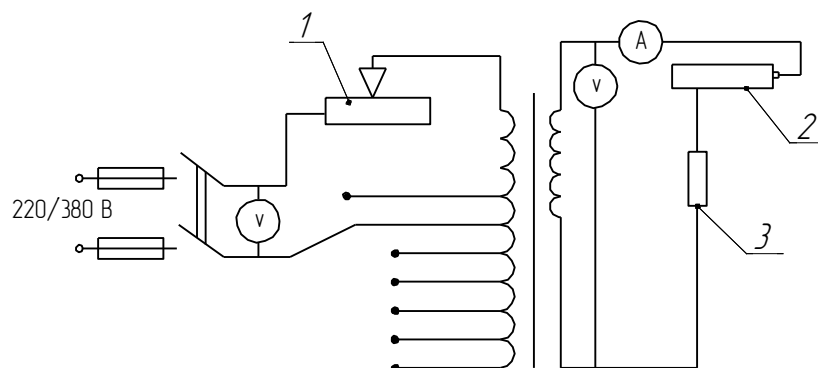


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема экспериментальной установки:
1 – реостат, 2 – заготовка, 3 – инструмент

Выпрямление тока из промышленной сети, а также контроль и измерение силы тока осуществлялись лабораторным регулируемым автотрансформатором типа РНО-250-2, сварочным трансформатором с выпрямителем и амперметром.

В качестве материала для исследуемого образца выбрали по аналогии с работой [5] среднеуглеродистую сталь 45 в состоянии поставки (химический состав – таблица 2).

Таблица 2. Химический состав стали 45 [2]

Массовая концентрация элементов, %									
C	Si	Mn	Cr	S	P	Ni	Cu	As	N
0,42–0,50	0,17–0,37	0,50–0,80	≤0,25	≤0,040	≤0,035	≤0,30	≤0,30	≤0,08	≤0,008

Согласно [2] данная сталь имеет в состоянии поставки твердость, равную 197 *HB* (в отожженном состоянии) и 229 *HB* (в горячекатаном или нормализованном состоянии), т.е. порядка 18-20 *HRC*.

Образцы подвергали механической обработке: разрезали прут из стали 45 на части и обтачивали на диаметр 30 мм. Получили 40 цилиндрических образцов, которые условно в процессе обработки делили на 3 зоны (рис. 3): первая зона использовалась для контроля исходной твердости; вторая зона подвергалась обкатке роликом без подачи тока; третья зона подвергалась обкатке с подводом тока. В ходе обработки варьировали нормальную нагрузку на ролик *P* (в пределах от 100 до 800 Н); скорость подачи инструмента *v* (от 2 до 10 м/мин); силу тока *I* (в пределах, указанных выше).

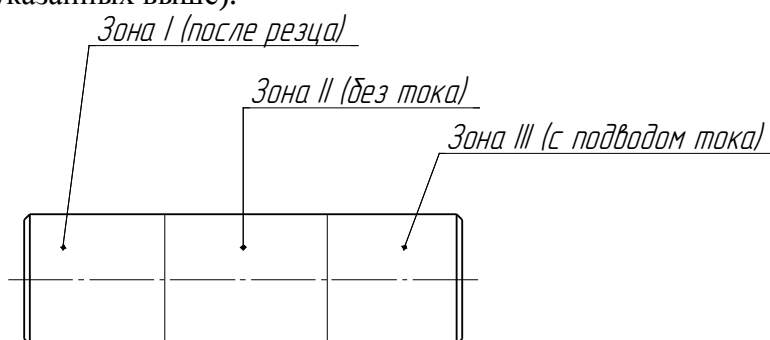


Рис. 3. Схема экспериментального образца

Контролировали твердость на твердометре "Duravision 20/30" и шероховатость поверхности на профилометре "Taylor Hobson" (группа AMETEK, Inc).

В результате получили увеличение твердости обработанной поверхности после обработки роликом без подачи тока в 1,5 раза; с подачей тока более чем в 2 раза по сравнению с исходной твердостью (рис. 4). Как показал анализ выборки, значения силы тока, скорости

подачи и приложенной нагрузки в указанных пределах не оказали существенного влияния на твердость образцов. Максимальная твердость была достигнута при проведении электрохимической обработки и составила 42 HRC.

Таким образом, в результате проведенной ЭМО нормализованной стали 45 достигли уровня твердости поверхности стали 30ХГСА после термического улучшения. В этой связи представляется целесообразным рассмотреть вопрос о целесообразности применения ЭМО к образцам из стали 30ХГСА после закалки и высокого отпуска, который решить в ходе дальнейших экспериментальных исследований на разработанной установке электрохимической обработки.

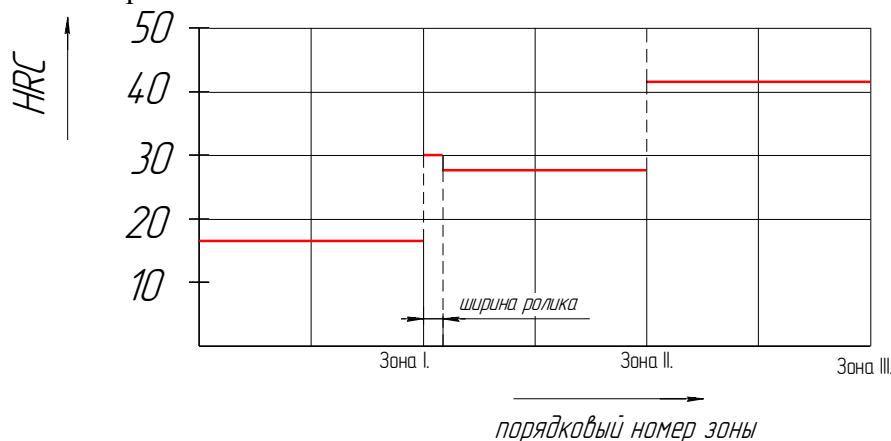


Рис. 4. Распределение твердости по зонам обработки образца (режим обработки: $v=4$ м/мин, $I=200$ А, $P=400$ Н)

В тоже время на результирующую шероховатость существенное влияние оказали режимы обработки.

Так минимальная шероховатость при обработке роликом без подачи тока составила несколько менее 1 мкм при приложенной нагрузке, равной 300 Н, и скорости обработки $v=4$ м/мин (рис. 5 и 6).

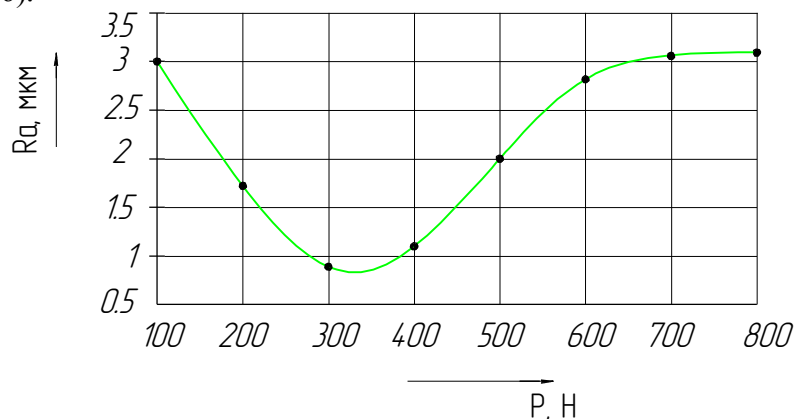


Рис. 5. Зависимость шероховатости поверхности от приложенной нормальной нагрузки (зона II), $v=4$ м/мин

После обкатки роликом при подаче тока было достигнуто уменьшение параметра шероховатости по сравнению с обкаткой без тока приблизительно в 8 раз (рис. 7) и составила менее 0,15 мкм. При этом минимальная шероховатость достигнута, в отличие от обкатки без подачи тока, при нагрузке, равной приблизительно 600 Н. Оптимальная скорость обработки не изменилась и составила $v=4$ м/мин.

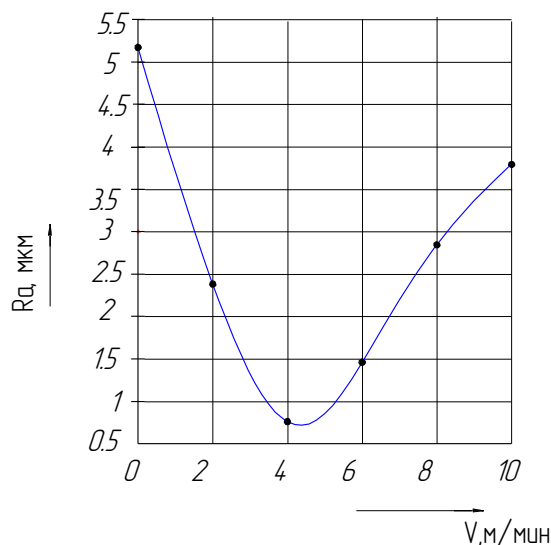


Рис. 6. Зависимость шероховатости поверхности от скорости обработки (зона II), $P=300 \text{ Н}$

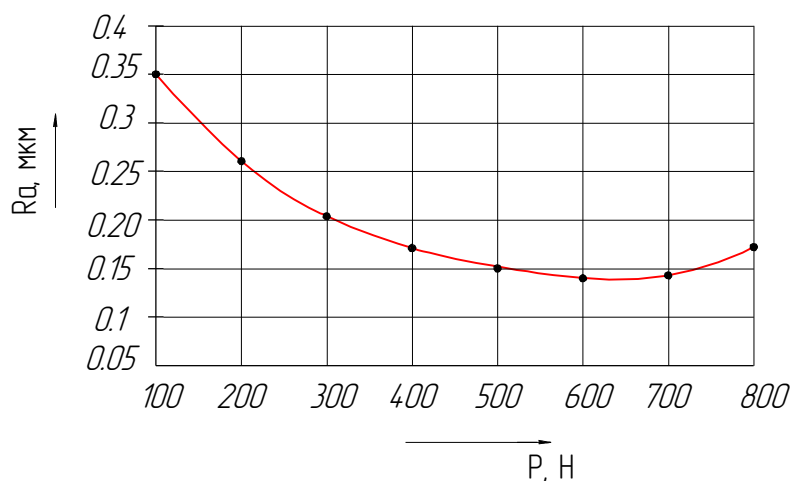


Рис. 7. Зависимость шероховатости поверхности от приложенной нормальной нагрузки при электрохимической обработке образца (зона III), $v=4 \text{ м/мин}$

Очевидно, что указанные исследования влияния технологических факторов ЭМО на шероховатость металлических поверхностей целесообразно повторить с образцами из стали 30ХГСА после улучшения.

При этом в программу испытаний представляется существенным включить определение оптимальной температуры высокого отпуска.

Таким образом, разработана установка электрохимической обработки, дающая возможность проводить данный процесс в целях упрочнения и снижения шероховатости поверхности сталей со средним содержанием углерода.

Преимуществами предлагаемого технологического процесса являются:

- повышение твердости поверхности среднеуглеродистой стали более чем в 2 раза без снижения вязкости сердцевины;
- при проведении ЭМО может быть достигнут параметр шероховатости поверхности, равный 0,15 мкм, что превосходит результаты достигавшиеся ранее только шлифованием (0,20 мкм);
- простота технической реализации процесса ЭМО на типовом промышленном оборудовании;

- данный процесс не требует существенных дополнительных трудо- и ресурсозатрат, тем самым он существенно превосходит трудоемкий процесс шлифования, применение которого к крупногабаритным деталям неэффективно и который требует высокой профессиональной квалификации, поскольку при отклонении от режимов обработки часто возникает недопустимый дефект в виде шлифовочных прижогов.

Существенно больший эффект повышения твердости и прочности при сохранении высокой ударной вязкости ожидается при применении данного метода к подвергнутым закалке и высокому отпуску образцам из стали 30ХГСА.

Установленный факт зависимости шероховатости обрабатываемой поверхности от технологических факторов имеет существенное значение для их оптимального определения в целях обеспечения требуемого параметра шероховатости сопряженных поверхностей трения в гидравлических механизмах шасси самолета.

Литература

1. Сталь марки 30ХГСА // Центральный металлический портал РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://metallicheskiy-portal.ru> (дата обращения 07.03.2015).
2. Марочник сталей и сплавов / А.С. Зубченко, М.М. Колосков, Ю.В. Каширский и др.; Под ред. А.С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.
3. DIN EN ISO 18265. Metallic materials. Conversion of hardness values.
4. Алиев А.А., Булгаков В.П., Приходько Б.С. Качество поверхности и свойства деталей машин // Качество поверхности и свойства деталей машин // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2004. – №. 1. – 8-12 с.
5. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой. 3-е изд. М.: Машиностроение, 1989. – 200 с.
6. Повышение эксплуатационных свойств резьбовых соединений электромеханической обработкой / Л.В. Фёдорова, С.К. Фёдоров, Е.В. Нагнибедова, В.Б. Салов // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет им. ВП Горячкина". – 2010. – №. 2. – 109-112 с.
7. Крагельский И.В., Михин Н.М., Узлы трения машин. М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.