

УДК 621.787

ЗАКАЛКА СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК КОНЦЕНТРИРОВАННЫМИ ПОТОКАМИ ЭНЕРГИИ

Арсений Петрович Козлов, Арсений Александрович Сержант

Студенты 5 курса,

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Л.В. Федорова,

доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

К настоящему времени имеющиеся возможности для повышения качества поверхностей способами только объемной термической обработкой практически полностью себя исчерпали. Для упрочнения отверстий ведущие предприятия в России и за рубежом используют способы повышения качества поверхностного слоя методами поверхностного пластического деформирования (ППД), обкатки, дробеструйной обработки, наклёпа, карбонитрации, статико-импульсной обработки и др.

Важное место в повышении долговечности широкого класса деталей машин отводится качеству материала не всего сечения изделия, а структурному состоянию и физико-механическим свойствам поверхностного слоя. Именно поверхностный слой во многом определяет износостойкость, сопротивление материала усталостному разрушению, контактную выносливость, коррозионную стойкость и другие важные эксплуатационные свойства [1-3].

Используемые в настоящее время различные способы повышения ресурса детали (специальная термообработка, напыление, ионное азотирование и т.д.) требуют применения дорогостоящего оборудования, иногда экологически небезопасного, специальной обработки упрочняемых поверхностей, дорогих высокопрочных порошков; после их применения зачастую необходимо дополнительно подвергать упрочненные поверхности шлифованию. В этой связи определенный интерес представляет метод упрочнения стальных деталей электромеханической обработкой, при которой происходят структурные превращения, увеличивается плотность дислокаций, количество вакансий, происходят дробление блоков, образование сдвигов в зернах.

Сильное электрическое и силовое воздействие инициирует процессы аустенитно-мартенситного превращения, образование и дробление карбидов, измельчение зерен, что положительно сказывается на прочностных качествах стальных деталей.

Преимуществом электромеханической обработки (ЭМО) по сравнению с другими известными методами упрочнения является то, что геометрические параметры и качество поверхности обработанных изделий не меняются, не требуются дополнительные операции термообработки, шлифования, сам процесс отличается низким энергопотреблением и достаточно высокой производительностью, экологической чистотой. Также стоит отметить возможность управления процессом, плавную ступенчатую регулировку режимов.

Для упрочняющей обработки применялась установка для электромеханической обработки «Колибри» (рисунок 1).



Рис. 1 Установка механической обработки «Колибри»

Установка отличается своей компактностью и может быть установлена на металлорежущем оборудовании. Специальный инструмент подводят к обрабатываемой поверхности детали так, чтобы между ними возник хороший электрический контакт.

Электромеханическое воздействие реализуется при пропускании электрического тока большой плотности и низкого напряжения через зону контакта детали и инструмента, движущихся во взаимно перпендикулярных направлениях со скоростью v и подачей S . При этом происходит высокоскоростной нагрев локального микрообъема поверхности с одновременным ее пластическим деформированием упрочняющим инструментом и последующее интенсивное охлаждение за счет отвода тепла вглубь материала.

В ходе проведения эксперимента проводились измерения микротвердости на упрочняемой поверхности втулок, обработанных при заданных значениях напряжения, силы тока, скорости вращения и усилия прижатия. Глубина упрочнения зависит от значений плотности тока, давления, скорости вращения:

$$Y = f(\Delta J, P, \vartheta) \quad (0.1)$$

где Y - глубина упрочнения по среднему диаметру резьбы; ΔJ - плотность тока, A/mm^2 ; P - давление, МПа; ϑ - скорость вращения детали, $мин^{-1}$.

В данной работе в качестве упрочняемых изделий выбраны втулки, широко применяемые на РЖД. Втулки выполнены из Стали 35. Детали до и после обработки изображены на рисунках 2 и 3 соответственно.

Таблица 1 - Химический состав Стали 35. ГОСТ 1050-88

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As
0.32 - 0.4	0.17 - 0.37	0.5 - 0.8	≤ 0.3	≤ 0.04	≤ 0.035	≤ 0.25	≤ 0.3	≤ 0.08



Рисунок 1 – Детали до обработки



Рисунок 2 - Деталь после обработки

Для уточнения марки стали и проверки на наличие примесей был проведён рентгеноспектральный анализ. По химическому составу металл соответствует марке Стали 35. Количественная разница легирующих элементов допускается по ГОСТ 1050-88. Результаты анализа приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты рентгеноспектрального анализа

№ измерения	C, %	Cr, %	Cu, %	Mn, %	Ni, %	Si, %	Fe
1	0,36	0,08	0,09	0,60	0,03	0,09	осн
2	0,40	0,09	0,09	0,64	0,03	0,09	



Рисунок 3 – Образец после рентген анализа

Для изучения структуры упрочненного слоя и измерения его толщины на поверхностях втулок, подвергавшихся ЭМО, были изготовлены шлифы. Предпосылкой для всех металлографических исследований является изготовление шлифов, которые могут быть использованы для микроскопического исследования с помощью светового и электронного микроскопов, для определения микротвердости, а также количественного измерения структурных составляющих и электронно-зондового микроанализа.

Было проведено травление шлифов в исходном состоянии и после ЭМО. После травления образца невооруженным глазом стали видны сегментообразные зоны термического влияния, возникшие в результате электромеханической обработки. Для изучения влияния обработки на свойства стали была измерена микротвердость: в сердцевине образца, с поверхности и до сердцевины, а также вдоль упрочненного слоя. Измерения проводились на расстоянии 0,3 мм друг от друга.

Упрочненный слой ввиду особенностей электромеханического упрочнения имеет не постоянную по значению микротвердость. При контакте ролика с образцом появляется зона термического влияния. В результате обработки эти зоны накладываются друг на друга, образуя более или менее упрочненную структуру поверхности.

Помимо измерения микротвердости также было проведено фотографирование. (рисунки 5-10). Изучение и фотографирование структур были выполнены на металлографическом микроскопе EmcoTest DuraScan при увеличении 100 и 400.

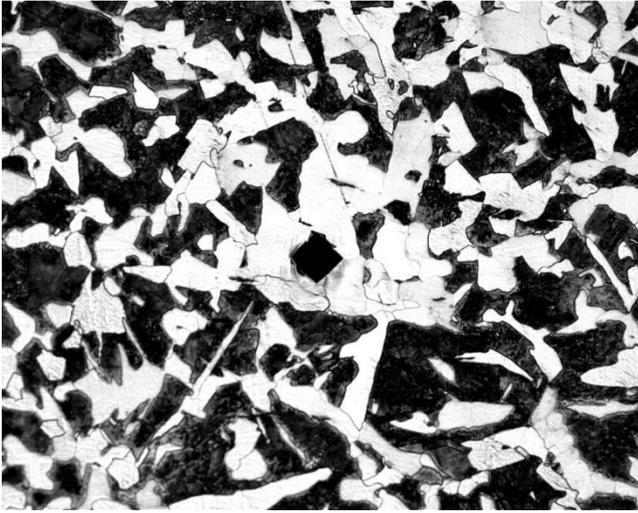


Рис. 4 Исходная микроструктура Стали 35 (x100)

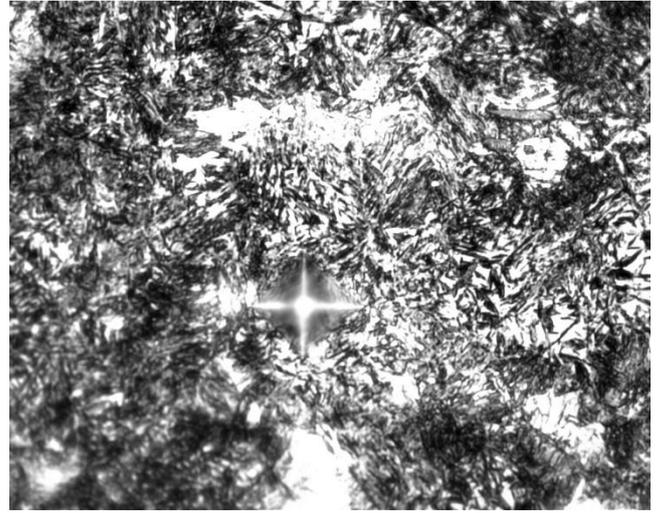


Рис. 7 Микроструктура упрочненного слоя Стали 35 (x400)



Рис. 5 Микроструктура упрочненного слоя Стали 35 (x100)

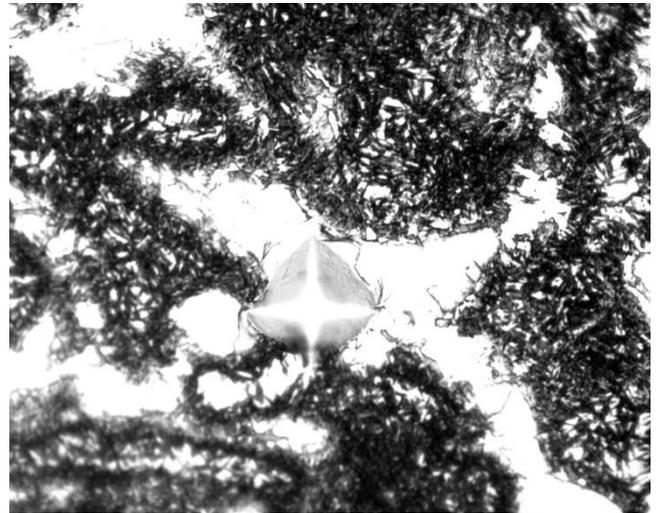


Рис. 8 Микроструктура упрочненного слоя Стали 35 (x400)



Рис. 6 Микроструктура упрочненного слоя Стали 35 (x100)

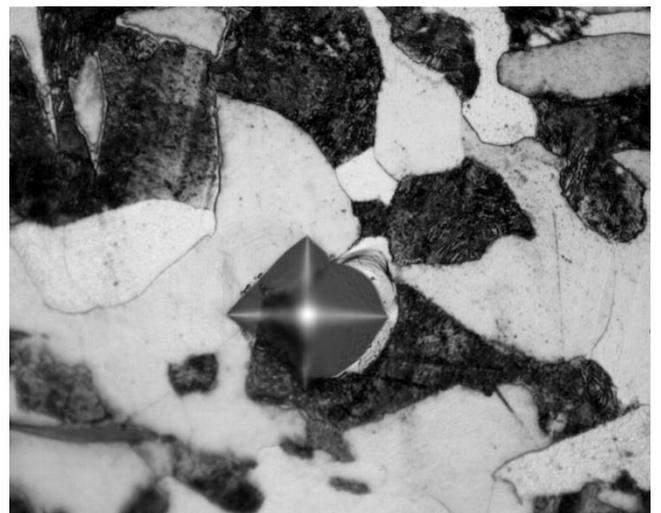


Рис. 9 Исходная микроструктура Стали 35 (x400)

Исходя из полученных данных видно, что микротвердость поверхностного слоя, несмотря на разброс значений, превосходит микротвердость в сердцевине. Наибольшие значения микротвердости поверхностного слоя превосходят исходное в 4 раза. В упрочненном слое микротвердость имеет максимальную величину HV 0,05/5-678, а при переходе через границу упрочненного слоя микротвердость заметно уменьшается, но при этом превышает микротвердость основы. Структурно-фазовый анализ показывает, что вблизи от границы слоя преобладает перлит, а ближе к основе количество перлита и феррита выравнивается.

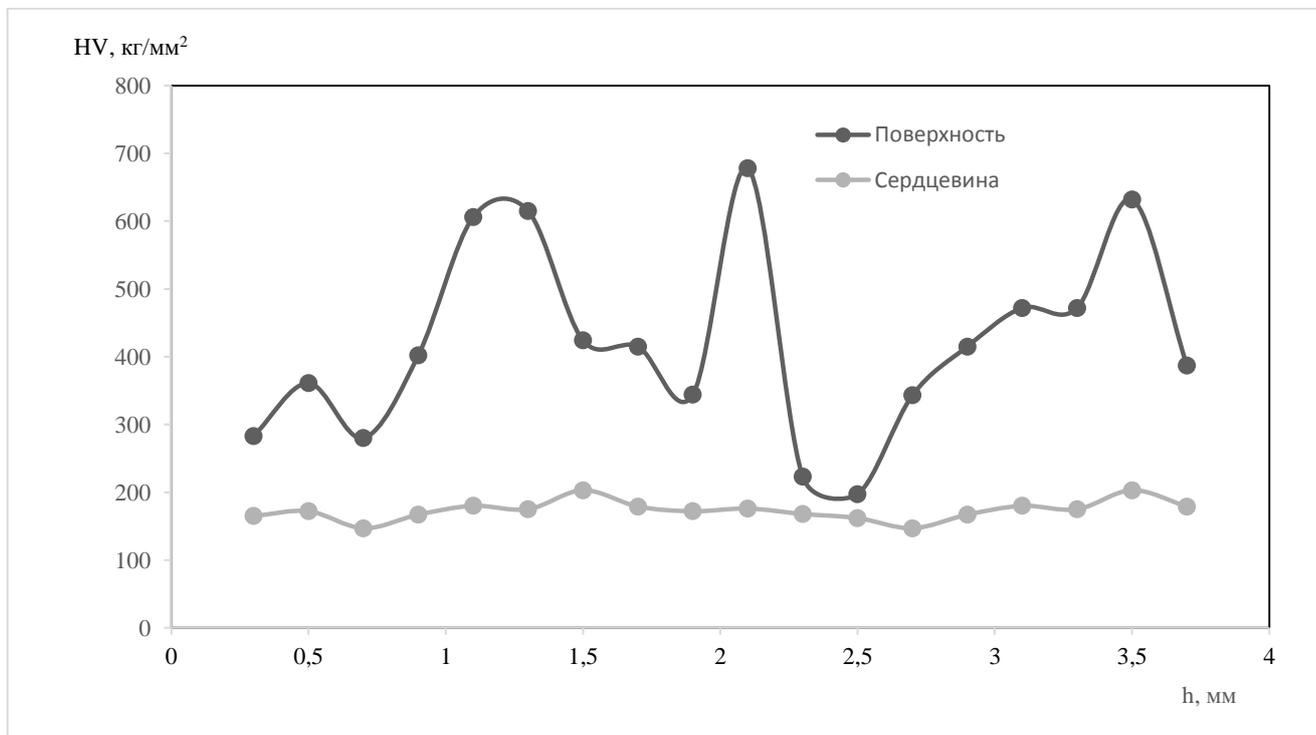


Рис. 10 Изменение микротвердости по длине образца из Стали 35

Волнообразное изменение значение микротвердости связано с особенностями проведения электрохимической обработки. При желании, подобрав соответствующие параметры обработки, можно избавиться от подобного эффекта.

Группы измерений микротвердости вглубь образца также имеют волнообразный характер вблизи поверхности, но затем твердость равномерно опускается до исходного значения.

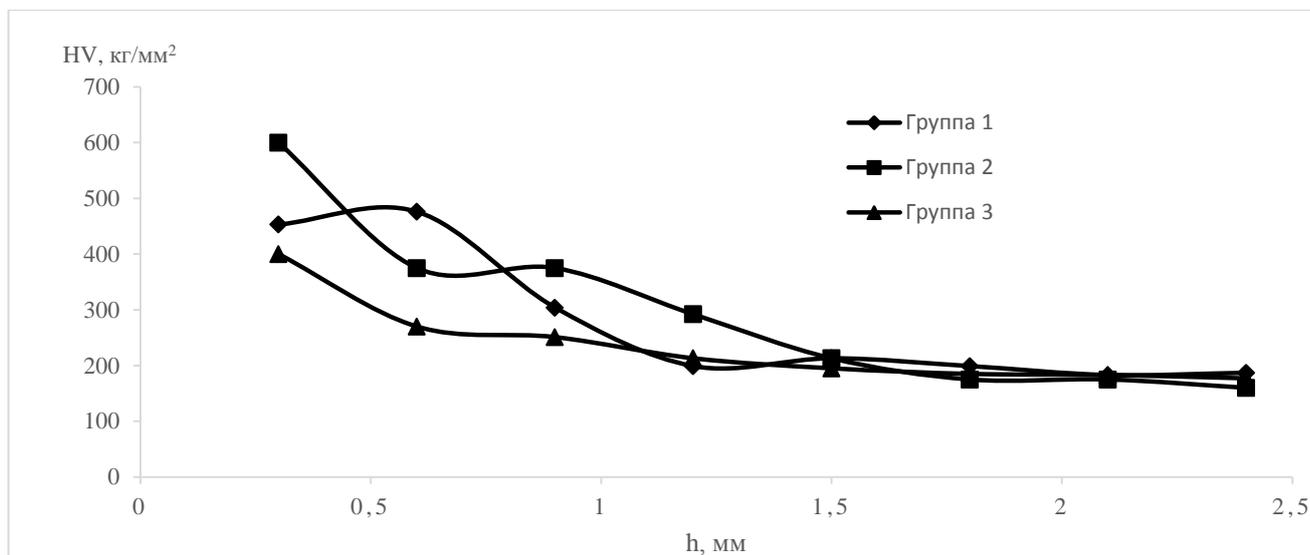


Рис. 11 - Изменение микротвердости образца из Стали 35 по глубине

Таким образом, результаты проведенных исследований показывают высокую эффективность и перспективность предложенного метода упрочнения внутренних поверхностей деталей. При электромеханической обработке происходят сложные физико-механические процессы. В поверхностном слое происходят одновременно структурные изменения, фазовые превращения и химические реакции. Сложность процессов, проходящих в ходе высокоэнергетического температурно-силового воздействия, требует дальнейших исследований.

Литература

1. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей машин ЭМО. 3-е изд. перераб. и дополн. – М.: Машиностроение, 1989. –197 с.
2. Федоров С.К., Федорова Л.В. Нагрев и давление улучшат поверхность. - За рулем. 1998, №9, с. 175
3. Рыжов Э.В., Суслов А.Г. и др. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин. – М.: Машиностроение, 1979. –176 с.
4. Густов Ю.И., Федоров С.К., Федорова Л.В. Электромеханическая закалка исполнительных поверхностей длинномерных цилиндрических деталей. – Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. №1 2007, с.42-435.
5. Федоров С.К., Федорова Л.В. Электромеханическая обработка. РИТМ – 2012 – №2 (70), с. 14-16.
6. ГОСТ 2999-75. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу. Введ 1976-01-07. М. : Изд-во стандартов, 1986. 31 с.