

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ СЕГМЕНТНОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКИ НА СДВИГОУСТОЙЧИВОСТЬ ПРЕССОВОГО СОЕДИНЕНИЯ ТИПА «ВТУЛКА-КОРПУС»

Морозов Александр Викторович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Материаловедение и технология машиностроения»¹

Федорова Лилия Владимировна, доктор технических наук, профессор кафедры «МТ - 8»²

Горев Николай Николаевич, аспирант кафедры «Материаловедение и технология машиностроения»¹

ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА¹

432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1; 8(8422)55-95-97,

e-mail: alvi.mor@mail.ru

ФГБОУ ВО «Московский ГТУ им. Н.Э. Баумана»²

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Ключевые слова: упрочнение, долговечность, качество, сегментная электромеханическая закалка, микротвердость, соединения с натягом, сдвигоустойчивость.

В работе отражены результаты исследования влияния режимов сегментной электромеханической закалки (ЭМЗ) на формирование участков регулярной микротвердости. Обоснованы геометрические параметры обрабатываемого инструмента. Экспериментально доказано повышение осевой сдвигоустойчивости в сравнении со стандартной технологией сборки.

Введение

Развитие сельского хозяйства во многом зависит от успехов в создании и реализации эффективных и ресурсосберегающих технологий, новых материалов и конструкций.

Большинство сельскохозяйственных предприятий имеют возрастной машинно-тракторный парк. Для поддержания его в работоспособном состоянии ремонтные службы должны располагать эффективными способами не только восстановления размеров изношенных деталей, но и способными формировать рабочие поверхности деталей высокого качества.

В сельскохозяйственном машиностроении широко применяют соединения с натягом, сдвигоустойчивость которых непосредственно влияет на надежность машин в целом. В свою очередь на сдвигоустойчивость соединений с натягом влияют различные факторы, такие как: величина натяга, способ сборки, микрогеометрия поверхности контакта и другие.

Одним из способов повышения нагрузочной способности соединений с натягом является применение сегментной электроме-

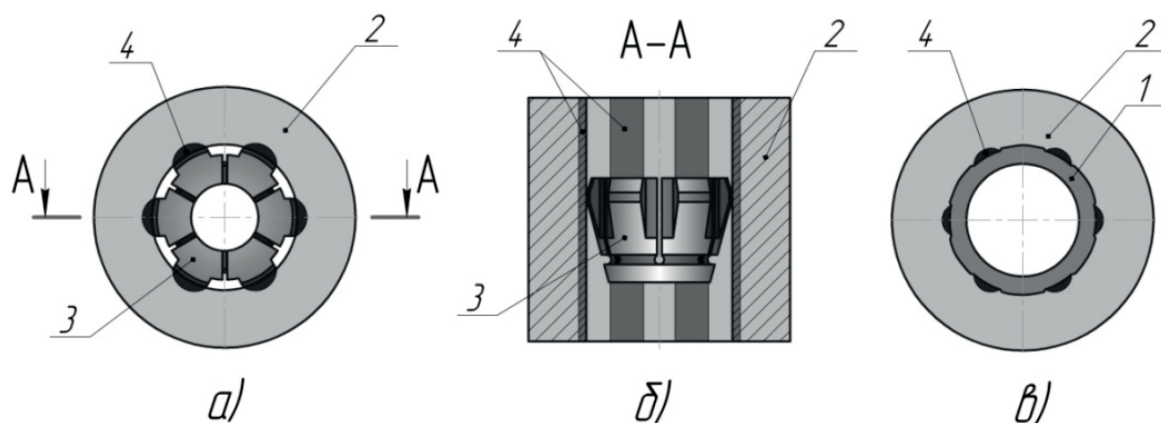
ханической закалки (ЭМЗ) [1, 2, 3] поверхности отверстия, охватывающей детали (рис. 1).

Сущность данного способа заключается в создании с помощью ЭМЗ на поверхности отверстия охватывающей детали закаленных участков в виде сегментов. При поперечном методе сборки соединения с натягом в зоне контакта деталей происходит неравномерная деформация поверхностей вследствие неоднородной микротвердости. Это увеличивает площадь контакта и как следствие – повышает сдвигоустойчивость соединения [4, 5].

Рациональное чередование закаленных и незакаленных участков обеспечивает наилучшую сдвигоустойчивость прессового соединения.

Как было установлено ранее [1], твердость, глубина и ширина закаленных участков существенно влияют на сдвигоустойчивость соединения, полученного предложенным способом.

В свою очередь на указанные характеристики закаленных участков в большей степени оказывают влияние такие параметры, как геометрия обрабатываемого инстру-



а) расположение закаленных участков поверхности отверстия охватываемой детали; б) разрез охватываемой детали по А-А; в) схема деформаций сопрягаемых поверхностей втулки и охватываемой детали в результате поперечной сборки: 1 – втулка; 2 – охватываемая деталь (корпус); 3 – фасонный упрочняющий инструмент; 4 – закаленные сегменты

Рис. 1 – Соединение «втулка – корпус» со сквозными закаленными участками на внутренней поверхности охватываемой детали

мента [6, 7, 8] и режимы обработки (сила тока I , скорость перемещения инструмента v).

В связи с этим исследование влияния геометрии обрабатывающего инструмента, силы тока и скорости перемещения инструмента относительно обрабатываемой поверхности на повышение твердость и оптимизацию размеров закаленных сегментов позволит существенно повысить сдвигустойчивость прессовых соединений, что является актуальной задачей ремонтного производства.

Объекты и методы исследований

С целью выявления рациональных параметров геометрии упрочняющего инструмента и режимов обработки выполнены экспериментальные исследования, для которых были подготовлены образцы деталей из стали 45 и чугуна СЧ 20 с диаметром отверстия $d = 30$ мм.

Схема обработки сегментной ЭМЗ и компоновка экспериментальной установки представлены на рис. 2.

Для сегментной ЭМЗ отверстий образцов применяли инструменты, включающие 6 сегментов, отличающиеся друг от друга длиной линии контакта. Углы, образующие сегменты, были выбраны следующие: $\alpha_1 = 20^\circ$, $\alpha_2 = 25^\circ$, $\alpha_3 = 30^\circ$, что соответствовало линиям контакта $l_1 = 5,2$ мм, $l_2 = 6,5$ мм,

$l_3 = 7,8$ мм.

На основании ранее проведенных исследований [1] были выбраны следующие режимы обработки: сила тока – 3500 А, 4000 А, 4500 А; скорость перемещения инструмента – 100 мм/мин., 150 мм/мин., 200 мм/мин.

Из полученных образцов были изготовлены микрошлифы для металлографических исследований, которые проводили на микроскопе МИМ-7, а замеры микротвердости – на приборе для измерения микротвердости ПМТ-3.

С целью определения эффективности данной технологии были проведены исследования модифицированных соединений с натягом на усилие распрессовывания.

Для сравнения со стандартной технологией были подготовлены образцы соединений из стали 45, собранные посредством тепловой сборки с натягами 0,05 мм, 0,1 мм и 0,15 мм. На поверхностях охватывающих деталей были сформированы 6 закаленных сегментов, средняя глубина которых составляла 3,5 мм.

Исследования на определение усилия распрессовывания проводили на разрывной машине Р-10. Результаты измерений усилия получали с помощью тензодатчика MLA-2.5t, подключенного к источнику питания. Сигнал датчика через усилитель и ана-

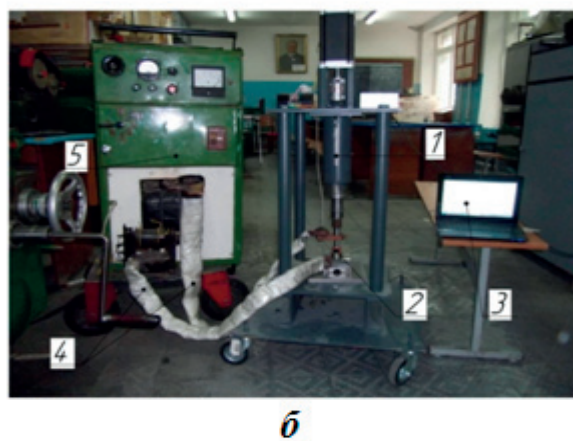
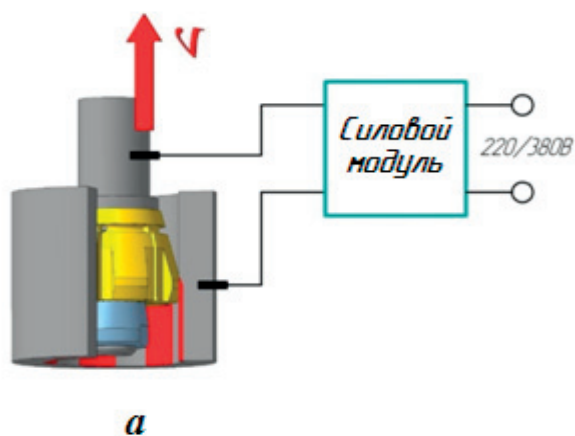


Рис. 2 – Схема обработки сегментной ЭМЗ (а) и компоновка экспериментальной установки (б): 1 – установка с инструментом для сегментной ЭМЗ; 2 – обрабатываемая деталь; 3 - персональный компьютер; 4 - токоподводящие кабели; 5 – силовой модуль

логово-цифровой преобразователь обрабатывали с помощью компьютера, оснащенного программой ZET lab 27.01.

На рис. 3 представлена функциональная схема измерений усилия распрессовывания.

Оснастка представляла собой ступенчатый вал с направляющей и гнездом для датчика и осуществляла функцию посредника (передающего звена), участвующего в передаче и ориентации усилия.

Предварительно датчик веса тарировали на машине для испытания винтовых пружин МИП 100-2, с постепенным увеличением давления с шагом в 50 Н. В результате тарировки была получена линия тренда и функция зависимости, на основании которой была составлена программа для регистрации и отображения данных.

Результаты исследований

Измерения микротвердости по глубине зоны термического влияния показало, что в зоне упрочнения при всех режимах обработки происходит существенное увеличение микротвердости по сравнению с исходной структурой. При сегментной ЭМЗ на поверхности детали из стали 45 образуются две зоны, отличающиеся друг от друга степенью полноты фазовых превращений (рис. 4).

Первая зона представляет собой мартенситную структуру с фрагментами троостита. Микротвердость зоны составляет 6200... 7800 МПа. Вторая зона характерна

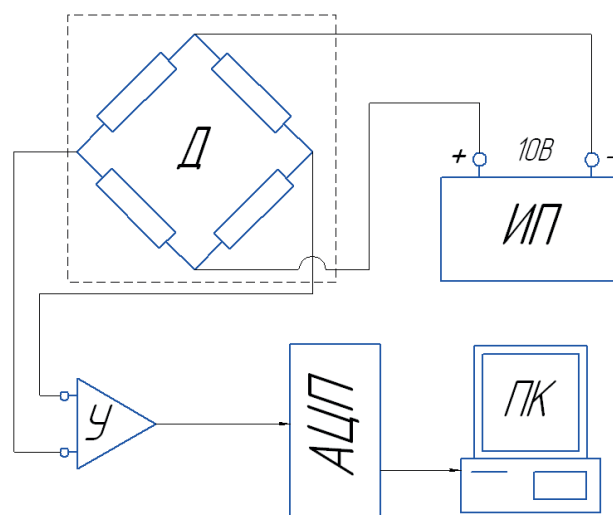


Рис. 3 – Функциональная схема измерения усилия распрессовывания: Д - тензометрический датчик веса; ИП – источник питания; У – усилитель сигнала; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; ПК – персональный компьютер

для участков, нагретых ниже критических температур, где наблюдается повышенная неоднородность структуры. В ней, наряду с мартенситом, содержащим менее 1 % углерода, образуется троостоферритная сетка, которая на границе с исходной структурой переходит в ферритную. При этом микротвердость снижается до 2250 МПа (рис. 5).

При ЭМЗ чугуна, в свою очередь, происходят аналогичные фазовые превращения, что и при закалке стали. Однако ввиду большего электрического сопротивления

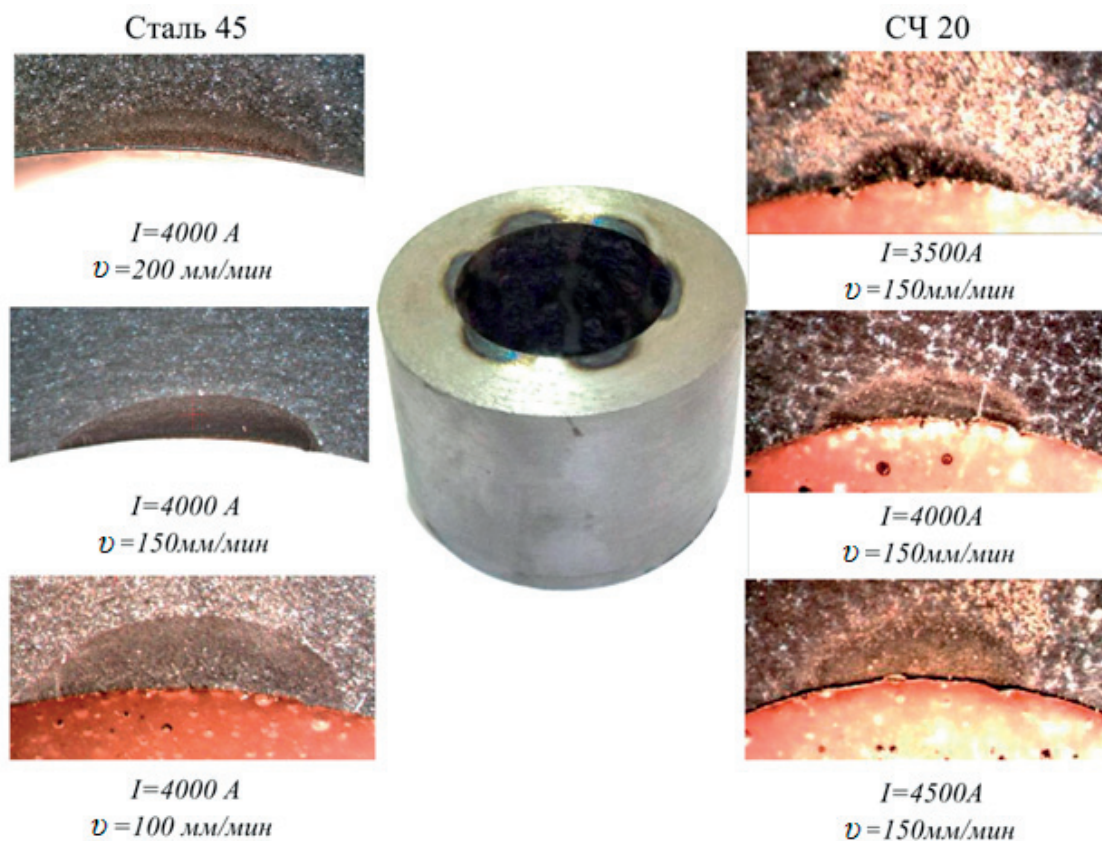


Рис. 4 – Форма закаленных участков, полученных при разных режимах обработки

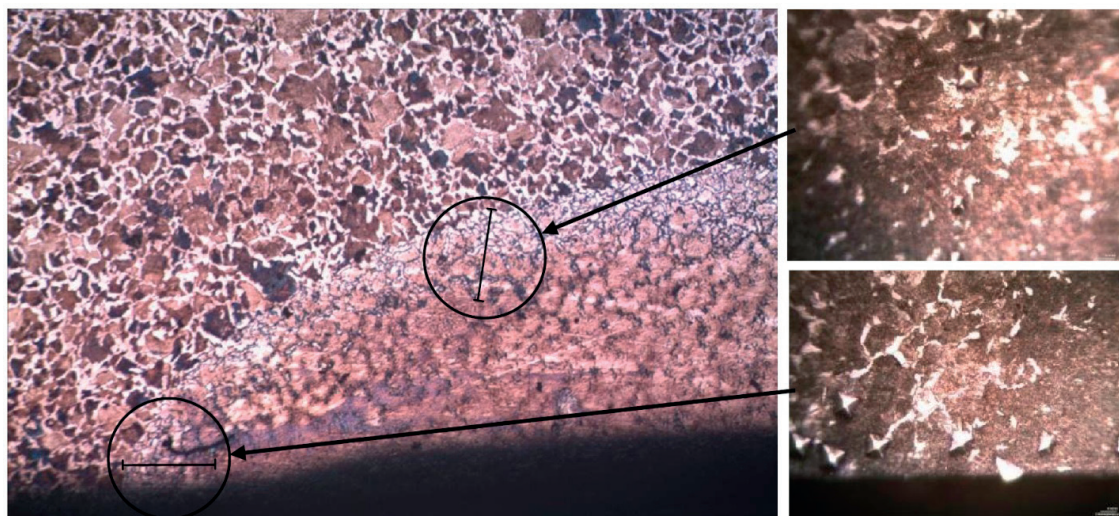


Рис. 5 – Микроструктура упрочненного участка втулки (сталь 45) с замерах микро- твердости в переходных зонах

нагрев поверхности чугуна происходит интенсивнее. За счет этого при одних и тех же режимах обработки чугун прокаливается на большую глубину. При этом упрочненный слой чугуна представляет собой мелко-гольчатый мартенсит, твердость которого достигает 8600...8900 МПа.

Таким образом, в результате проведенных исследований были получены гра-

фики, отражающие зависимость глубины упрочненных участков, полученных в результате сегментной электромеханической обработки, от геометрии инструмента и режимов обработки (рис. 6).

Анализ полученных зависимостей показал, что с увеличением силы тока I и снижением скорости перемещения инструмента относительно обрабатываемой поверх-

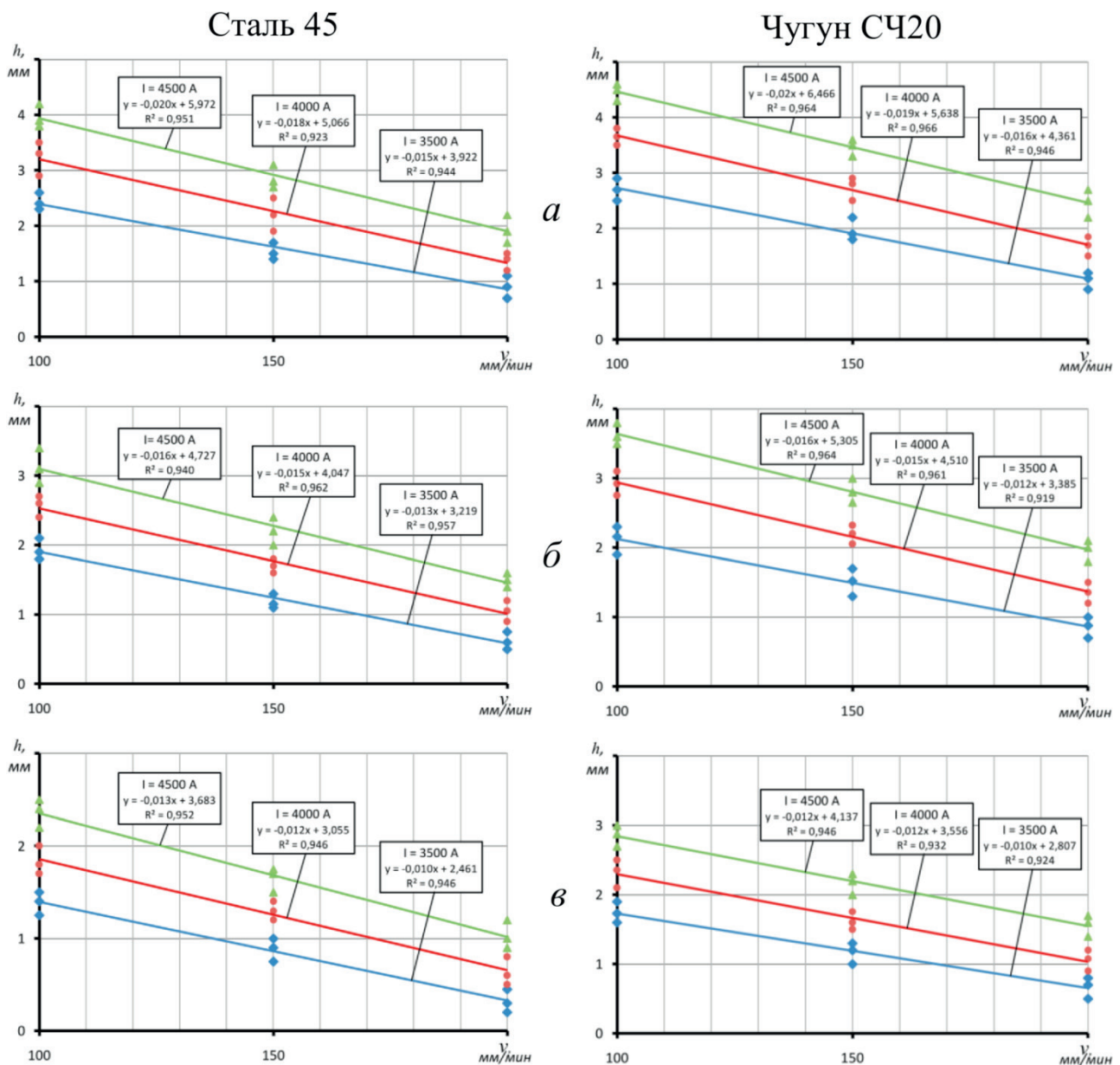


Рис. 6 – Зависимости глубины упрочненного сегмента h стали 45 и чугуна СЧ20 от скорости перемещения инструмента v (для сегментов с линиями контакта: а) $l_1 = 5,2$ мм, б) $l_2 = 6,5$ мм, в) $l_3 = 7,8$

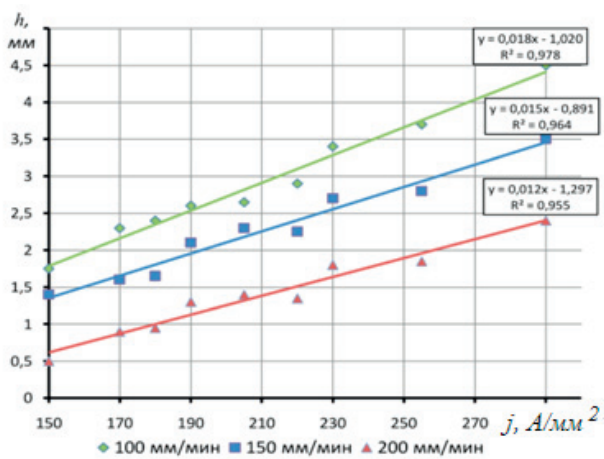
ности v глубина упрочненных сегментов h , как у стального образца, так и у чугунного увеличивается. Сегменты с наибольшей глубиной закаленного слоя образуются при $I = 4500$ А и $v = 100$ мм/мин.

На основании данных зависимостей и учитывая площадь контакта инструмента с обрабатываемой деталью, можно привести полученные экспериментальные данные к более обобщенному виду, задавшись плотностью тока (рис. 7).

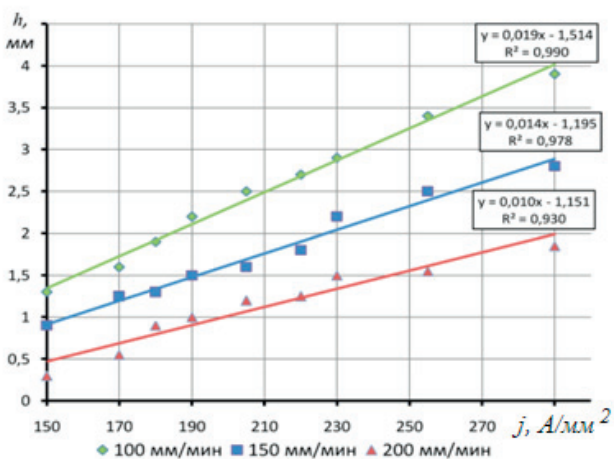
На основании проведенных исследований было установлено, что ширина за-

каленного участка превышает длину линии контакта l сегмента с поверхностью обрабатываемой детали на величину Δl . Это обусловлено рассеиванием теплового потока при ЭМЗ вследствие того, что ширина закаленного участка, как и глубина закаленного участка h , зависит от режимов обработки. Следовательно, на основании экспериментальных данных можно считать, что $\Delta l = (0,3... 0,35)h$ (рис. 8).

Задавшись необходимой глубиной h закаленного сегмента, по графикам определяют необходимую плотность тока j А/мм² и



а



б

Рис. 7 – Зависимость глубины закаленных участков h от плотности тока j и скорости обработки v отверстия образца: а - из стали 45; б - из чугуна СЧ20

скорость обработки v , мм/мин. Ширина закаленного сегмента

$$b = pd/(2n),$$

где d – диаметр отверстия в детали, мм; n – количество упрочненных сегментов.

Длина линии контакта упрочняющего элемента

$$l = b - \Delta l.$$

Далее можно определить силу тока I , А, которую необходимо подать на обрабатываемый инструмент:

$$I = jnl a,$$

где a – ширина контакта упрочняющего элемента, мм.

Таким образом, на основании выполненных исследований, можно определить рациональные параметры геометрии рабочего инструмента и режимы сегментной ЭМЗ поверхностей отверстий охватываемой детали.

В результате исследования образцов на осевую сдвигоустойчивость были получены зависимости усилия распрессовывания от натяга соединений, выполненных по стандартной технологии (без формирования участков регулярной микротвердости на поверхности охватываемой детали), и соединений, полученных с применением сегментной электро-механической закалки поверхности охватываемой детали. Результаты приведены на сравнительной диаграмме (рис. 9).

Повышение осевой сдвигоустойчивости по предлагаемой технологии объясняется увеличением площади соприкасающихся поверхностей вследствие неравномерной

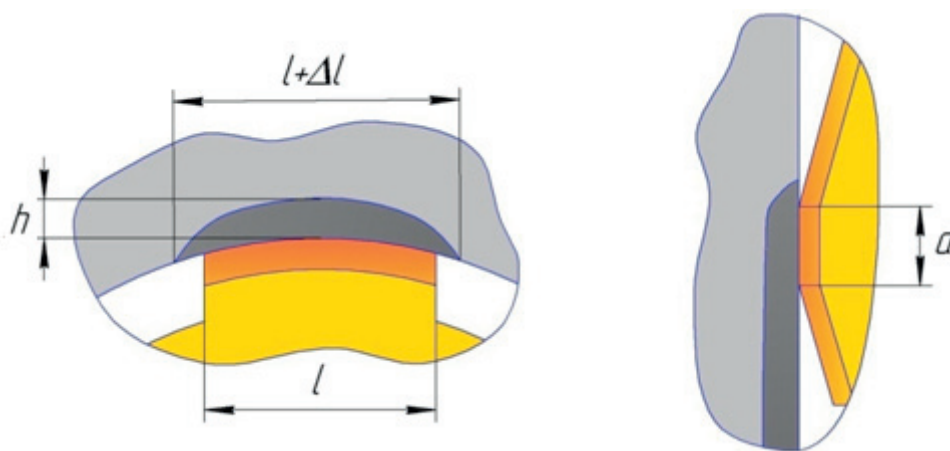


Рис. 8 – Геометрические параметры упрочненного сегмента и поверхности контакта инструмента: h – глубина закаленного участка; a – ширина контакта упрочняющего элемента; l – длина линии контакта сегмента с поверхностью обрабатываемой детали

деформации поверхностей контакта при сборке.

Выводы

В результате исследований влияния режимов сегментной ЭМЗ на формирование участков регулярной микротвердости выявлено, что микротвердость закаленных участков для стали 45 составила 6200...7800 МПа, а для чугуна СЧ 20 – 8600...8900 МПа. Это позволяет увеличить осевую сдвигоустойчивость прессового соединения, выполненного по предлагаемой технологии, на 15...20 % по сравнению со стандартной технологией сборки соединений с натягом.

При проектировании обрабатывающего инструмента следует учитывать, что ширина закаленного участка больше длины линии контакта упрочняющего инструмента с обрабатываемой деталью на величину $\Delta l = (0,3...0,35)h$, где h – глубина закаленного сегмента.

Библиографический список

1. Повышение качества неподвижных соединений типа «корпус-втулка» применением сегментной электромеханической закалки / А.В. Морозов, Н.И. Шамуков, Н.Н. Горев, А.Н. Рахимов // Международный научный журнал. 2013. - № 4. - С 83-87.

2. Морозов, А.В. Повышение нагрузочной способности соединений с натягом типа «втулка - корпус» объемным электромеханическим дорнованием / А.В. Морозов, Г.Д. Федотов, А.Е. Абрамов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. - № 3. – С. 125-133.

3. Морозов, А.В. Разработка классификации процессов электромеханической обработки отверстий движущимся высокотемпературным полосовым источником / А.В. Морозов, Г.Д. Федотов // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2015. - № 3. - С. 44-50.

4. Пат. 2501636 Российская Федерация, В23Р11/02, В23Р25/00. Способ сборки деталей с натягом / А.В. Морозов, Н.Н. Горев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина».- Заявл. 26.09.2012;

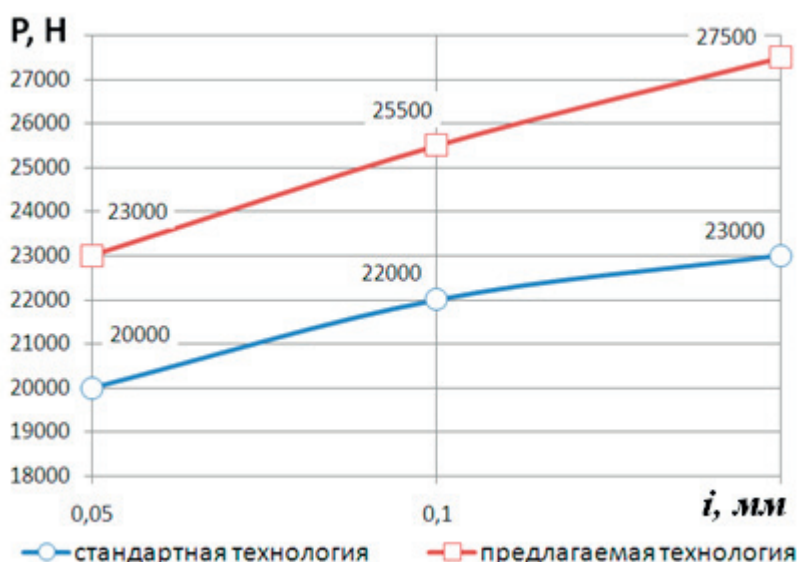


Рис. 9 – Сравнительная диаграмма усилия распрессовывания P соединений в зависимости от натяга i

опубл. 20.12.2013 г. Бюл. № 35.

5. Пат. 2508974 Российская Федерация, В23Р11/02, В23Р25/00. Способ сборки деталей с натягом / А.В. Морозов, Н.Н. Горев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина».- Заявл. 26.09.2012; опубл. 10.03.2014 г. Бюл. № 7.

6. Пат. 123368 Российская Федерация, В29D30/12. Дорн для выборочной электромеханической закалки цилиндрических отверстий деталей / А.В. Морозов, Н.Н. Горев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина».- Заявл. 11.07.2012; опубл. 27.12.2012 г. Бюл. № 36.

7. Пат. 123719 Российская Федерация, В29D30/12. Дорн для выборочной электромеханической закалки цилиндрических отверстий деталей / А.В. Морозов, Н.Н. Горев, А.Н. Рахимов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина».- Заявл. 18.07.2012; опубл.10.01.2013 г. Бюл. № 1.

8. Пат. 2501614 Российская Федерация, МПК В21В25/00, В29D30/12. Дорн для выборочной электромеханической закалки цилиндрических отверстий деталей / А.В. Морозов, Н.Н. Горев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина».- Заявл. 11.07.2012; опубл. 20.12.2013 г. Бюл. № 7.