УДК 621.789

ПОВЫШЕНИЕ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ ТИПА «ВТУЛКА - КОРПУС» ОБЪЕМНЫМ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ ДОРНОВАНИЕМ

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

Федотов Геннадий Дмитриевич, *кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническая механика»*

Абрамов Александр Евгеньевич, *старший преподаватель кафедры «Материаловедение и технология машиностроения»*

ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина»

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

e-mail: alvi.mor@mail.ru

Ключевые слова: *сборка с натягом, объемное электромеханическое дорнование, тонкостенные стальные втулки, шероховатость, усилие выпрессовывания, момент проворачивания.*

Проанализированы существующие способы получения соединений с натягом типа «втулка - корпус», выявлены факторы, влияющие на качество данных соединений. На основании анализа, с целью повышения качества соединений с натягом типа «втулка - корпус», предложен способ объемного электромеханического дорнования. Выполнены экспериментальные исследования, на основании которых получены зависимости усилия выпрессовывания и момента проворачивания от шероховатости охватывающей поверхности и натяга объемного электромеханического дорнования, а также установлено влияние схемы обработки объемным электромеханическим дорнованием на качественные характеристики соединений с натягом.

Введение

В настоящее время в машиностроительном и ремонтном производстве при сборке узлов различных устройств, машин и механизмов, а также при восстановлении посадочных поверхностей дорогостоящих корпусных деталей широкое распространение получили прессовые соединения типа «втулка - корпус». Они характеризуются простотой конструкции и технологии сборки, не требуют при монтаже применения сложного оборудования, больших затрат на изготовление и в основном применяются в узлах подшипников скольжения, а также как направляющие.

В основе сборки соединений с натягом (прессовых соединений), в том числе типа «втулка - корпус», лежит процесс взаимной продольной ориентации двух деталей, сопровождающийся упругой, упругопластической или пластической деформацией, как шероховатостей обеих деталей, так и матричных материалов. При этом на сопряженных поверхностях возникают контактные давления и силы трения, препятствующие сдвигу данных деталей и определяющие неподвижность относительно друг друга деталей соединения.

В настоящее время различают три основных метода сборки соединений с натягом: продольный (прессовый), поперечный и продольно-поперечный (рис. 1). К продольному методу сборки относят соединения, выполняемые с приложением осевой силы к торцу охватываемой детали. Напряженно-деформированное состояние в этом случае создается с момента начала запрессовки. К поперечному методу относят соединения, выполняемые созданием начального гарантированного зазора между сопрягаемыми деталями, необходимого для сборки. Неподвижность соединения при этом достигается нагреванием охватывающей детали (тепловой метод), охлаж-

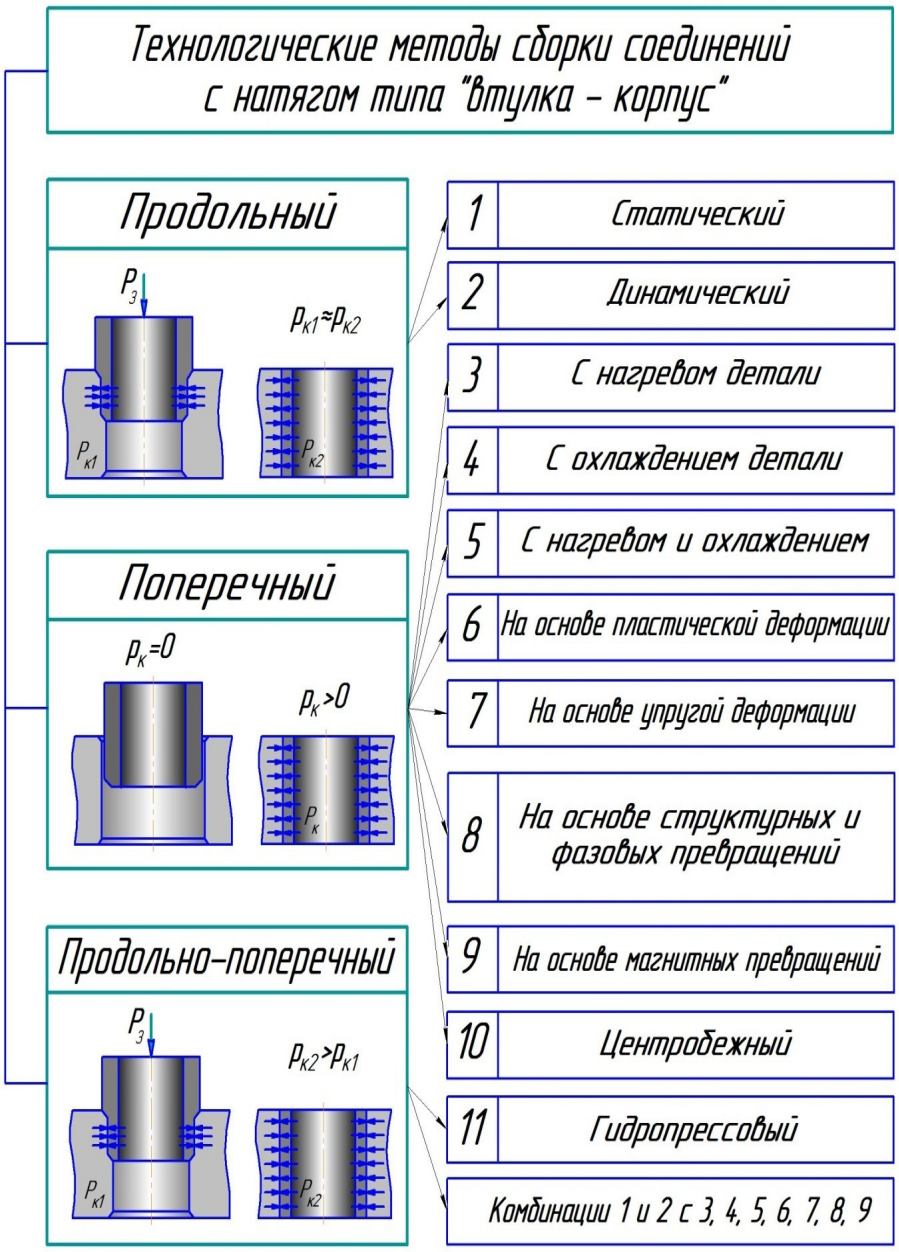


Рис. 1 - Технологические методы сборки соединений с натягом типа «втулка - корпус»: *$P_з$ – усилие запрессовывания; $p_{к1}$ – давление поверхности корпуса на поверхность втулки; $p_{к2}$ – давление поверхности втулки на поверхность корпуса*

дением охватываемой детали (криогенный метод), путем упругой или пластической деформации и т.д. Продольно-поперечный метод сборки соединений с натягом является комбинацией двух вышерассмотренных методов.

Продольный метод является простейшим, доступным, высокопроизводительным, не требует больших затрат на оборудование, обеспечивает прочность соединения и возможность контроля качества сборки измерением усилия запрессовки с использованием манометра и других специальных средств. К недостаткам этого метода следует отнести повреждение сопрягаемых поверхностей и деформации тонкостенных втулок при отсутствии смазки или при больших натягах запрессовки, а также значительное снижение прочности соединения при повторной запрессовке этих же деталей.

Для получения качественного соединения с натягом применяют поперечный и продольно-поперечный методы сборки. Тепловой метод - один из самых распространенных методов поперечной сборки. Его применяют, когда запрессовка другими методами невозможна, например, при запрессовке длинных тонкостенных втулок в корпус. Охватывающую деталь нагревают ниже температуры отпуска, после чего в нее устанавливают охватываемую. Недостатки данного метода - возникновение окалины на сопрягаемых поверхностях, значительный расход электрической или тепловой энергии для нагрева деталей. При этом деформации, вызванные нагревом, способствуют возникновению микротрещин, являющихся концентраторами напряжений.

Криогенный, или метод с применением глубокого холода (до -196 °С) основан на

получении при сборке необходимого зазора охлаждением охватываемой детали. Метод применяют для сборки небольших деталей, например, тонкостенных втулок или стержней с крупногабаритными корпусами, и он обеспечивает высокую прочность соединения. Недостатками метода являются ограниченная область применения и возникновение коррозии на сопрягаемых поверхностях, которая образуется из-за конденсации на них влаги при переносе деталей из охлаждающей среды.

Использование гидропрессового метода, заключающегося в создании масляного слоя между сопрягаемыми поверхностями, позволяет снизить усилие запрессовки в несколько раз за счет уменьшения коэффициента трения. Масляный слой создается в результате нагнетания масла гидравлическими насосами под высоким давлением через специальные каналы, предусмотренные в конструкции узлов. Метод дает возможность сборки-разборки прессовых соединений без повреждения сопрягаемых деталей, но его не применяют для запрессовки тонкостенных деталей типа втулок вследствие их возможной деформации.

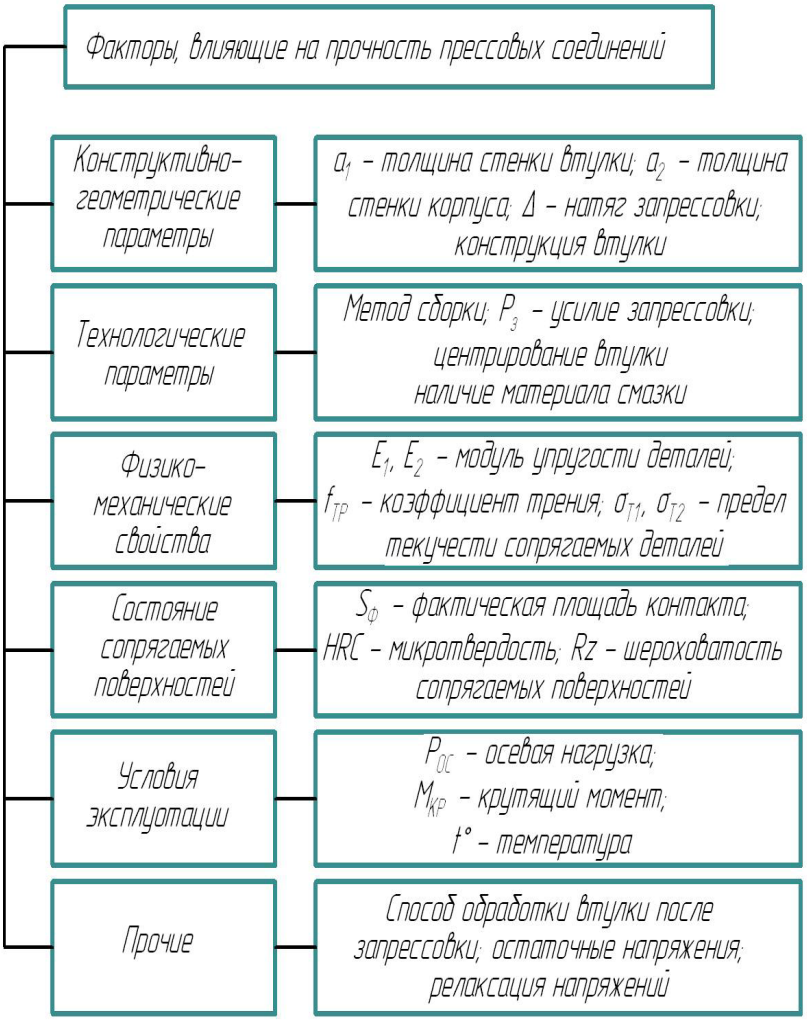


Рис. 2 - Факторы, влияющие на качество прессовых соединений

Прочность прессовых соединений типа «втулка-корпус» и узлов подшипников скольжения зависит от большого количество факторов (рис. 2).

Основными показателями качества прессовых соединений типа «втулка - корпус» и узлов подшипников скольжения являются: прочность и жесткость сопрягаемых деталей, износостойкость, геометрическая точность, и низкая шероховатость поверхностей отверстий втулок.

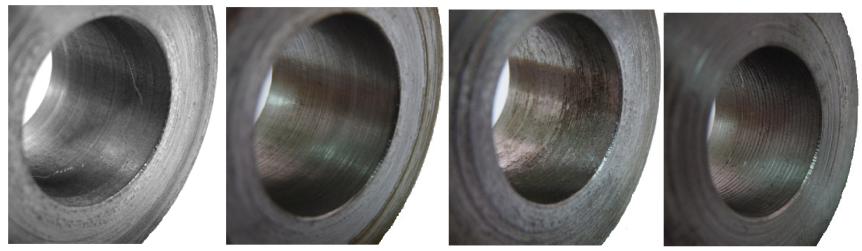
При проектировании прессовых соединений необходимо учитывать влияние каждого из факторов отдельно.

От конструктивно-геометрических параметров зависят габаритные размеры деталей, их масса, контурная и фактическая площади касания сопрягаемых поверхностей и контактные давления на них.

При выборе способа сборки следует отдавать предпочтение высокопроизводительным методам, позволяющим одновременно решать несколько технологических задач.

Объемное электромеханическое дорнование (ОЭМД) отверстий втулок, установ-

а



№1 *№2* *№3* *№4*

б

Рис. 3 – Обоймы: *а – внешний вид обойм; б – внутренние поверхности обойм*

а

б

Рис. 4 – Тонкостенные стальные втулки: *а – с буртиком; б – без буртика*

ленных в корпуса с натягом или с зазором, является перспективным методом получения качественного соединения с натягом при небольшом усилии электромеханического дорнования. При реализации данного метода одновременно существенно повышается микротвердость (за счет фазовых превращений) и износостойкость поверхностей отверстий втулок, уменьшается высота микронеровностей. [1, 2, 3, 4, 5]

Результаты применения ОЭМД с целью получения соединений с натягом были ранее отражены в работах [1, 3, 5].

Данная статья посвящена исследованию влияния шероховатости охватывающей поверхности на качество неразъемного соединения, полученного применением ОЭМД.

Объекты и методы исследований

Для исследований были изготовлены образцы из стали 40Х, представляющие собой обоймы с различной шероховатостью внутренней поверхности (рис. 3) и тонкостенные втулки толщиной S = 2 мм с диаметром отверстий 29,7 мм, 29,6 мм, 29,5 мм и шероховатостью наружной поверхности R_z = 3,2 … 3,6 мкм (рис. 4).

Для исследования влияния схемы ОЭМД на качество полученного соединения с натягом втулки изготавливали с буртиком, для осуществления ОЭМД по схеме растяжения (рис. 4, а) и без буртика для осуществления ОЭМД по схеме сжатия (рис. 4, б) [1].

Замеры поперечной шероховатости образцов до сборки выполняли на профилометре модели 130.0.01-ПС. Снятие кру-

Таблица 1

Параметры шероховатости поверхности отверстия в зависимости от вида и режимов обработки

№ обоймы	Вид обработки	Режим обработки		Шероховатость, Rz, мкм	
		υ, м/мин	S, мм/об	Поперечная	Продольная
1	Черновое растачивание	315	0,13	3,8	2,4
2	Черновое растачивание	200	0,14	10,2	4,6
3	Черновое растачивание	200	0,26	41,7	8,7
4	Нарезание внутренней резьбы	160	Шаг 1,25	400	7,2

глограмм отверстий обойм, с целью определения продольной шероховатости осуществляли на кругломере модели 290 типа КД, класс точности 2, ГОСТ 17355-71.

Результаты замеров поперечной и продольной шероховатостей поверхностей отверстий обойм приведены в табл. 1.

Втулки устанавливали в обоймы с зазором H11/h11, после чего осуществляли ОЭМД на вертикально-фрезерном станке 6В11 твердосплавным инструментом – дорном (ВК8) диаметром D = 30 мм на следующих режимах: сила тока I = 5200 А, скорость перемещения инструмента относительно обрабатываемой поверхности υ = 66 мм/мин.

Исследования на определение усилия осевого смещения втулки относительно обоймы проводили на разрывной машине Р-20 ГОСТ 1497, 12004.

Оснастка представляла собой ступенчатый вал с направляющей частью и торцевым упором и осуществляла функцию посредника (передающего звена), участвующего в передаче и ориентации направления усилия.

Момент проворачивания втулки в обойме измеряли при помощи динамометрического ключа с пределом измерения 1000 Н·м ГОСТ Р 51254-99. Обойму с запрессованной втулкой фиксировали в трехкулачковом патроне токарно-винторезного станка 16К20. В предварительно изготовленную в торцевой поверхности втулки прорезь устанавливали пластину, которую с противоположной стороны вставляли в аналогичную прорезь головки динамометрического ключа. Рукоятку динамометрического ключа закрепляли в резцедержателе станка.

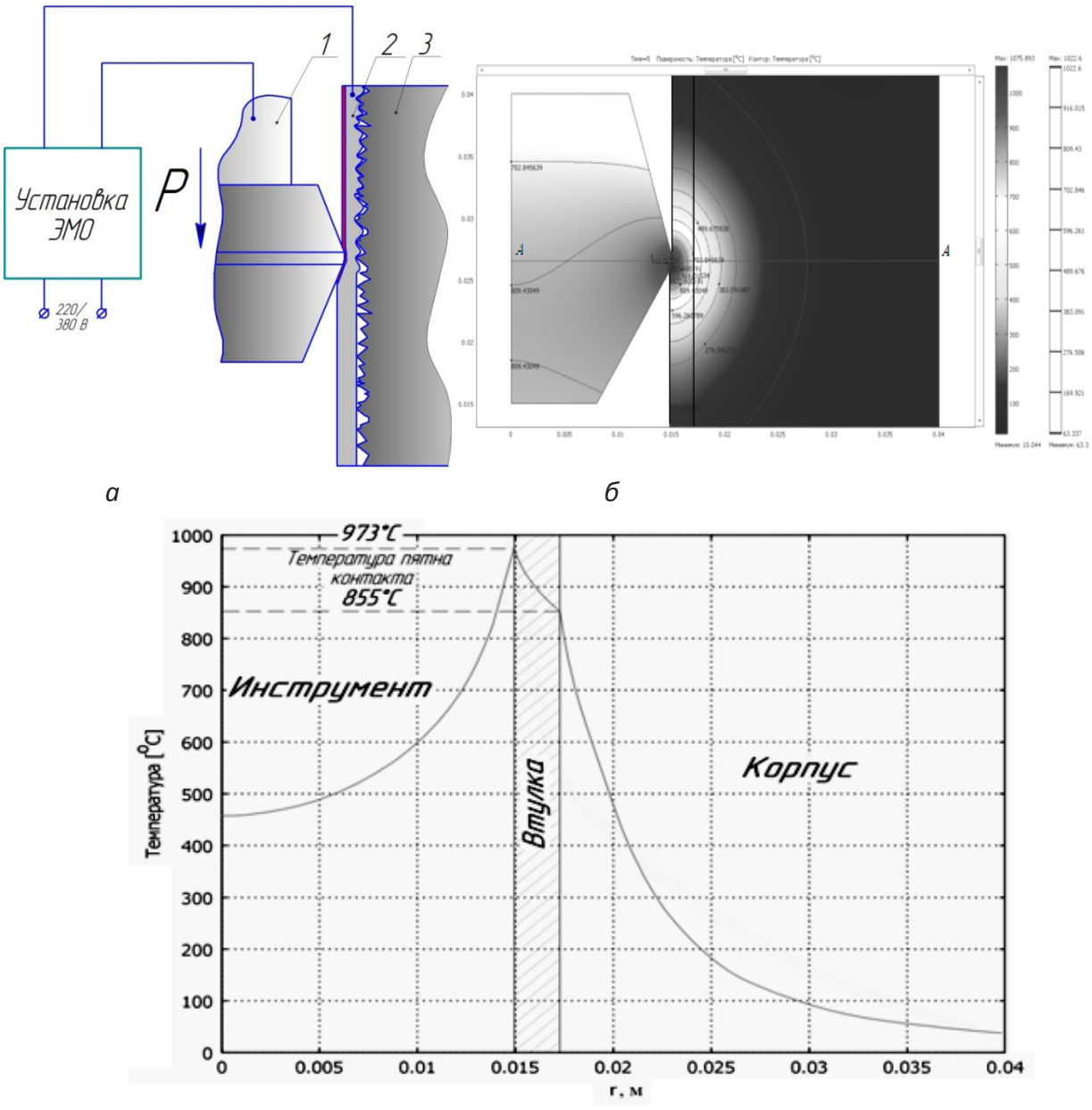
При повороте шпинделя стрелка ключа отклонялась, и, при проворачивании втулки в обойме, фиксировался момент проворачивания.

Результаты исследований

С целью прогнозирования поведения контактирующих поверхностей втулки и обоймы в процессе ОЭМД с учетом распределения температур от источника было выполнено моделирование данного процесса (рисунок 5, а) методом конечных элементов [6] в среде математического моделирования COMSOL Multiphysics v3.5 [7]. В результате получена модель распределения тепловых потоков в процессе ОЭМД тонкостенной стальной втулки в обойме (рис. 5, б) и построен график распределения температуры в месте пятна контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью втулки в перпендикулярном направлении обработки (по сечению А-А) (рис. 5, в).

В случае получения соединения с натягом типа «втулка - корпус» методом ОЭМД по всей длине соединения наблюдается очень плотный контакт с ярко выраженным механическим зацеплением (рис. 6).

Особенность контактирования по-



а *б*

в

Рис. 5 – Результаты моделирования: а – схема взаимодействия сопрягаемых поверхностей при ОЭМД: *1 – инструмент (дорн); 2 – тонкостенная втулка; 3 – корпус; б – модель распределения тепловых потоков в процессе ОЭМД тонкостенной стальной втулки в обойме; в – распределение температуры деталей по сечению А – А в направлении от пятна контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью втулки*

верхностей стальных деталей, соединяемых ОЭМД, состоит в том, что более твердые микронеровности обоймы внедряются в более пластичную вследствие нагрева высокотемпературным источником, охватываемую поверхность втулки (рисунок 5, в), заполняя впадины микропрофиля охватывающей детали и существенно увеличивая фактическую площадь касания (рисунок 6). В этом случае относительное смещение сопрягаемых поверхностей возможно только при срезании микронеровностей контактируемых деталей, поэтому прочность соединения повышается.

У соединений, образованных ОЭМД, в материале обоймы преобладают упругие деформации, а в более нагретой втулке - упругопластические. С увеличением шеро-

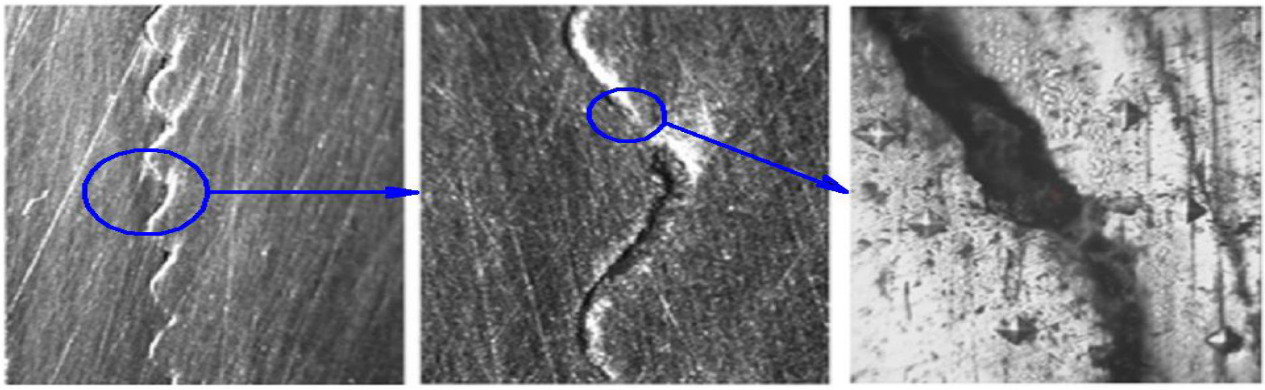
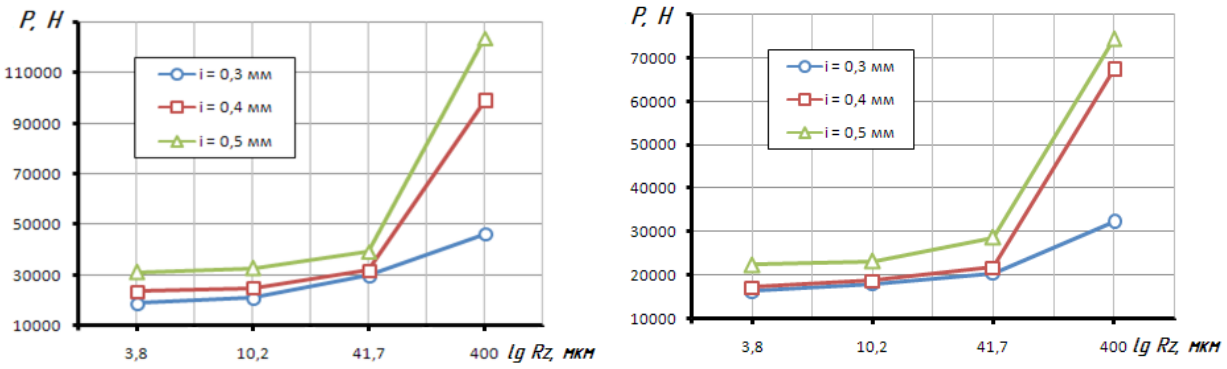


Рис. 6 - Типичные участки зоны контакта тонкостенной стальной втулки с обоймой № 4 после ОЭМД



а *б*

Рис. 7 – Зависимость усилия выпрессовывания от поперечной шероховатости R_z и натяга i при ОЭМД: *а – ОЭМД по схеме сжатия; б – ОЭМД по схеме растяжения*

ховатости осевое усилие выпрессовывания возрастает (рис. 7). Наибольшее усилие выпрессовывания как по схеме сжатия, так и по схеме растяжения было зафиксировано при шероховатости отверстия обоймы R_z = 400 мкм и натяге 0,5 мм (рисунок 7).

Увеличение усилия выпрессовывания при увеличении шероховатостей объясняется внедрением более твердых выступающих частей поверхности охватывающей детали в менее твердую поверхность охватываемой детали и увеличением площади контакта.

Аналогичная картина наблюдается при исследовании влияния продольной шероховатости (рис. 8) на момент проворачивания втулки в обойме (рис. 9).

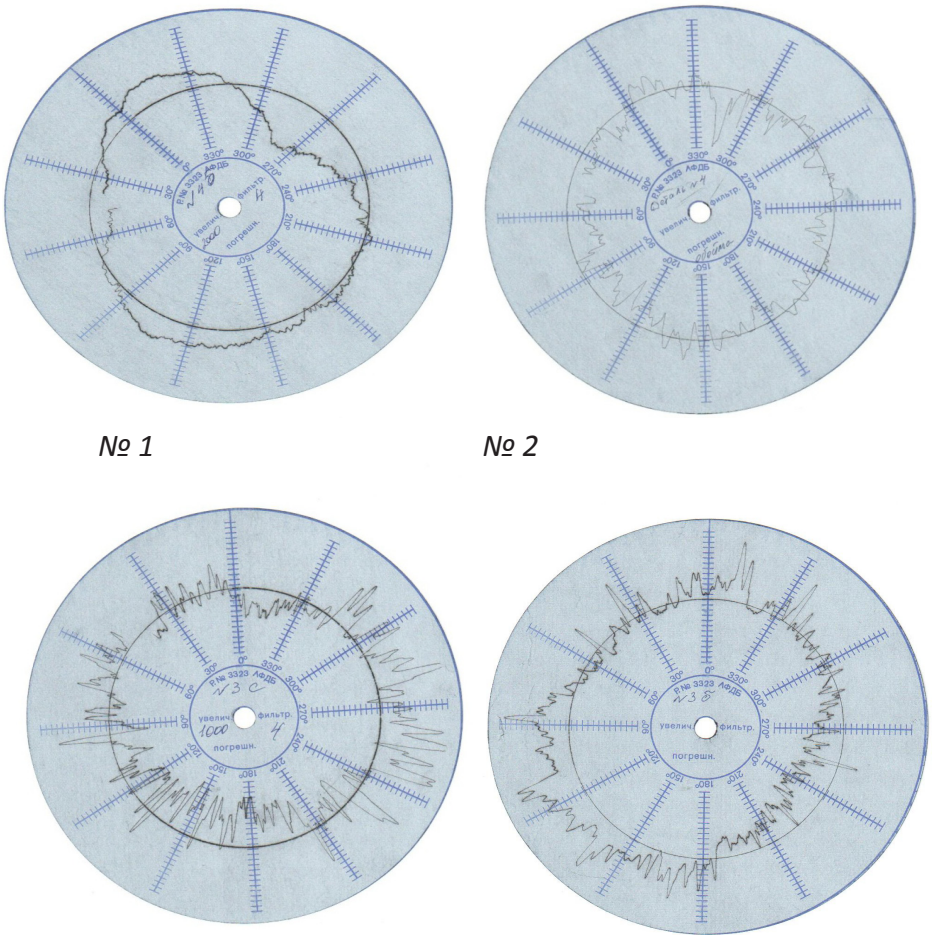
Существенное увеличение момента проворачивания при продольной шероховатости R_z = 7,2 мкм, как по схеме сжатия, так и по схеме растяжения, объясняется и значительной величиной поперечной шероховатости (R_z = 400 мкм) данной обоймы (см. таблицу) и большими радиусами вершин микронеровностей, что приводит к увеличению фактической площади касания (рисунки 6, 8) [8].

Выводы

Увеличение R_z в поперечном направлении с 5,8 мкм до 400 мкм приводит к увеличению усилия на выпрессовывание в 2,5…3,5 раза для обеих схем проведения ОЭМД и всех величин натягов.

При одинаковых параметрах микрогеометрии и натягах при ОЭМД по схеме сжатия усилие на выпрессовывание больше в 1,4…1,5 раза, чем при ОЭМД по схеме растяжения.

Увеличение шероховатости R_z в продольном направлении с 2,4 мкм до 8,7 мкм



№ 1 № 2

№ 3 № 4

Рис. 8 - Круглограммы внутренних поверхностей обойм

приводит к увеличению момента на проворачивание $M_{пр}$ в 1,3…1,8 раза для обеих схем проведения ОЭМД и всех величин натягов

При одинаковых параметрах микрогеометрии и натягах при ОЭМД по схеме сжатия момент на проворачивание больше в 1,15…1,4 раза, чем при ОЭМД по схеме растяжения.

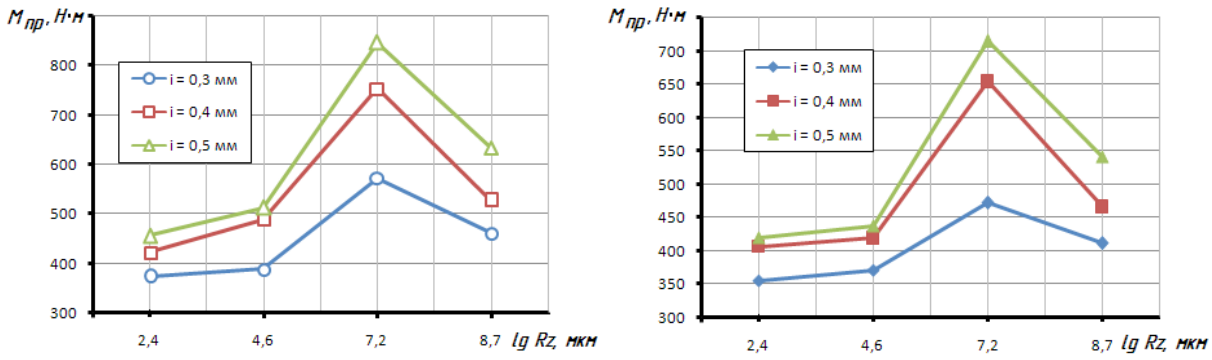
Увеличение натяга с 0,3 мм до 0,5 мм приводит к увеличению усилия на выпрессовывание в 2,1…2,5 раза и увеличению момента на проворачивание в 1,3…1,5 раза для обеих схем проведения ОЭМД и одинаковых параметрах микрогеометрии.

Библиографический список

1. Морозов, А.В. Объемное электромеханическое дорнование тонкостенных стальных втулок: монография / А.В. Морозов. – Ульяновск: УГСХА им. П.А. Столыпина, 2013. - 193 с.

2. Морозов, А.В. Повышение износостойкости тонкостенных втулок при объемном электромеханическом дорновании / А.В. Морозов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. –2012. - № 2. – С. 87-90.

3. Морозов, А.В. Качество прессового соединения, полученного объемным элек-



а *б*

Рис. 9 – Влияние продольной шероховатости R_z и натяга i при ОЭМД на момент проворачивания втулки в обойме $M_{пр}$: *а – ОЭМД по схеме сжатия; б – ОЭМД по схеме растяжения*

тромеханическим дорнованием бронзовых втулок в замкнутом объеме / А.В. Морозов, А.Е. Абрамов, А.В. Байгулов // Научное обозрение. –2013. №1. – С. 91-97.

4. Морозов, А.В.Влияние режимов объемного электромеханического дорнования на износостойкость бронзовых втулок / А.В. Морозов, А.В. Байгулов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии.- 2013. №1. – С. 155-160.

5. Пат. 2305028 РФ, МПК B23P 11/02, B23P 19/02, B24B 39/02. Способ сборки деталей с натягом / Федоров С.К., Морозов А.В. - Опубл. 27.08.2007. - Бюл. № 24. – 4 с.

6. Зенкевич О.С. Метод конечных элементов в технике / О.С.Зенкевич . – М.: Мир, 1975. - 541 с.

7. Егоров, В.И. Применение ЭВМ для решения задач теплопроводности / В.И. Егоров. – СПб: СПб ГУ ИТМО, 2006. - 77 с.

8. Федотов, Г.Д. Формирование свойств поверхности при отделочно-упрочняющей электромеханической обработке среднеуглеродистых сталей / Г.Д. Федотов, А.В. Морозов // Известия ТГУ. Технические науки. – 2013. – № 7-2. - С. 395 - 405.

УДК 631.363

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЯСОРЫБНЫХ ОТХОДОВ И ОТЖИМА ИЗ НИХ ВЛАГИ

Новиков Владимир Васильевич, *кандидат технических наук, профессор кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства»*

Грецов Алексей Сергеевич, *аспирант кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».*

446442, Самарская обл., п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная. 8а;
тел.: 8(84663) 46-3-46; e-mail: grecov_as@ mail.ru.

Ключевые слова: *отжим, влажность, отходы, рыба, нож, обороты.*

В статье представлена конструктивно-технологическая схема устройства для измельчения мясорыбных отходов и отжима из них влаги, а также результаты экспериментальных исследований данного устройства.

Введение

Основная проблема при применении экструзионной переработки мясо-рыбных отходов - их высокая влажность (до 85 % и более) [1, 2, 3]. Для экструзионной переработки рыбных отходов в Самарской ГСХА разработано устройство для измельчения мясорыбных отходов и отжима из них влаги, новизна технического решения которого подтверждена патентом РФ [4].

Устройство работает следующим образом. Исходный материал, подлежащий переработке, из загрузочного бункера *4* поступает в рабочую зону устройства, срезается и захватывается подвижными ножами *7*, а затем, попадая в пространство между подвижным ножом *7* и неподвижным криволинейным ножом *6*, начинает перемещаться к стенке корпуса (за счет действия окружной силы). Одновременно с этим измельченная масса, оказавшись между подвижным ножом *7* и неподвижным криволинейным ножом *6*, подвергается сжатию, что приводит к оттоку (выжиманию) жидкой фракции, составляющей основу продукта. Обезвоженная масса через выгрузное окно *3* и лоток *2*