

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОВЫШЕННОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НЕПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТИПА «КОРПУС – ВТУЛКА»

И.С. Буканова, Е.Ю. Татаркин, И.И. Ятло

Повышение прочности неподвижного соединения осуществляется нанесением частично-регулярного микрорельефа на внутреннюю поверхность корпуса с последующим дорнованием втулки. Параметры микропрофиля, геометрия дорна, натяг и режимы дорнования обуславливаются уровнем напряжений и деформаций, определяемых моделированием пластического течения материала втулки.

The rise of durability of unfixed joint is carried out with application of part-regular microshape on the inside surface of frame following by burnishing of bush. Features of microshape, geometry of burnishing are caused by the level of tension and deformation, defined by modeling of plastic flow of bush.

Современная техника требует решения ряда задач повышения прочности и работоспособности деталей машин и конструкций, в том числе неподвижных соединений. Для этого требуется более тщательный анализ влияния на прочность соединений геометрических факторов, макро- и микрорельефа сопрягаемых поверхностей, физико-механических свойств материалов деталей при различных условиях сборки.

Теоретические и прикладные исследования в области повышения эксплуатационной надежности неподвижных соединений выявили перспективные пути решения этой проблемы, такие как использование специальных методов создания натяга, повышение коэффициента трения, контактного давления, фактической площади контакта в сопряжении и использования как шпоночного эффекта, так и других видов искусственного микрорельефа в стыке. Существующие основы конструкторско-технологического обеспечения прочности и надежности неподвижных соединений предусматривают определение причинно-следственных связей факторов исходного состояния сопрягаемых элементов и признаков, характеризующих прочность соединения.

С точки зрения повышения прочности перспективными являются составные конструкции, в которых дополнительная прочность обеспечивается внутренними упругими силами. Не менее перспективным направлением является разработка и совершенствование технологий изготовления неподвижных со-

единений типа «корпус - втулка» методами совместного деформирования элементов.

Среди методов обеспечения качества неподвижных соединений можно выделить четыре основных направления:

- изменение величины контактного давления в соединении;
- изменение размеров сопрягаемых деталей (номинальной площади контакта);
- применение дополнительных креплений и стопорений;
- управление контактным взаимодействием элементов соединения (без увеличения габаритов узла).

Проведенный анализ показал, что в машиностроении в основном используются три первых направления. Но при этом, управление несущей способностью соединения только за счет изменения контактного давления (например, натяга), конструктивного исполнения узла за счет введения дополнительных креплений или изменения размеров элементов соединения приводит к повышению материалоемкости конструкции и в ряде случаев не обеспечивает необходимых эксплуатационных характеристик неподвижных соединений.

В последнее время интенсивно развивается прогрессивное четвертое направление по выявлению, разработке и использованию эффективных методов управления параметрами контакта сопряженных элементов соединений, что является наиболее эффективным путем рационального обеспечения

функциональных характеристик качества неподвижных соединений.

Несущая способность неподвижного соединения определяется его способностью сопротивляться действию крутящего момента $M_{кр}$ (момента проворота) и (или) осевой сдвигающей силы $P_{ос}$ (усилия выпрессовки). Качество неподвижных соединений в значительной мере определяется геометрией контактирующих поверхностей сопряжения и значительно повышается с нанесением на одну из них регулярного (РМР) или частично-регулярного микрорельефа (ЧРМР) [1]. С увеличением радиуса закругления выступов и однородности неровностей регулярного микрорельефа появляется возможность осуществления значительно больших, чем обычно натягов, так как резко снижается режущая способность заостренных микровыступов. Наибольшей прочностью при прочих равных условиях обладает соединение с одинаковой

высотой и формой неровностей на одной из контактирующих поверхностей и с одинаковым (или кратным) их шагом. В большинстве опубликованных исследований [1-4] регуляризацию микрорельефа предлагается осуществлять вибрационным накатыванием или созданием двухуровневого микрорельефа. Наиболее существенными недостатками данных методов является сложность инструмента для нанесения микрорельефа, трудности при обеспечении точной ориентации впадин и выступов микрорельефа и сравнительно низкая производительность процесса.

Для регуляризации микрорельефа охватываемой детали (корпуса) неподвижного соединения в данной работе используется один из способов отделочно-упрочняющей обработки ППД с полужесткой связью деформирующих тел с источником движения – центробежно-инерционное накатывание (рисунок 1).

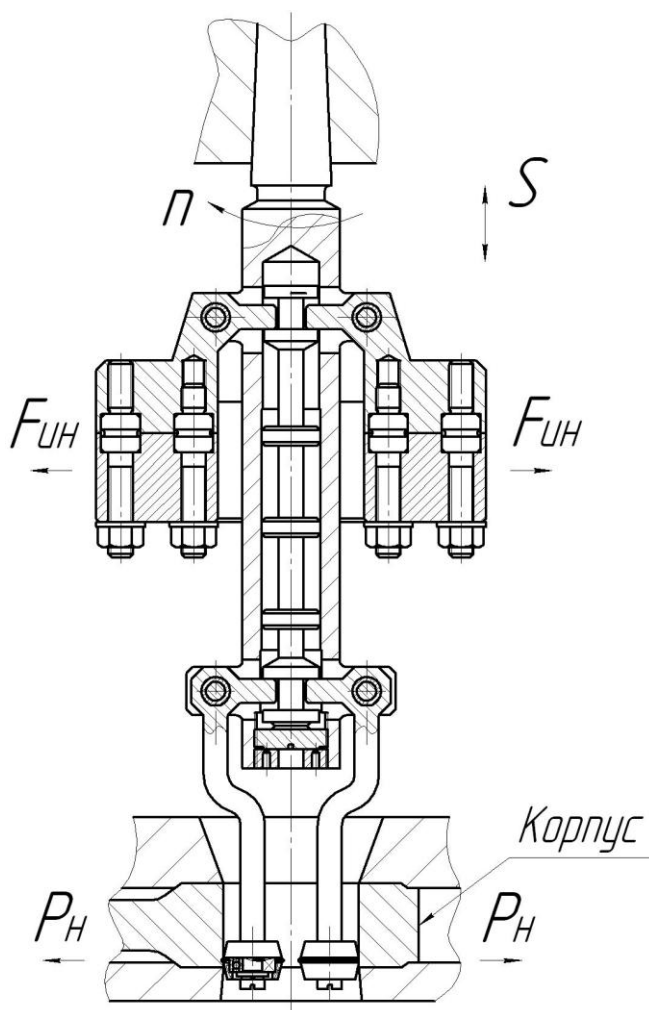


Рисунок 1 – Схема нанесения микрорельефа центробежно-инерционным накатыванием

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОВЫШЕННОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НЕПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТИПА «КОРПУС – ВТУЛКА»

Данный метод нанесения частично-регулярного микрорельефа свободен от вышеперечисленных недостатков и позволяет получать поверхность с дискретными регу-

лярными микронеровностями шахматного расположения (ДРМР) по ГОСТ 24773 – 81 (рисунок 2).

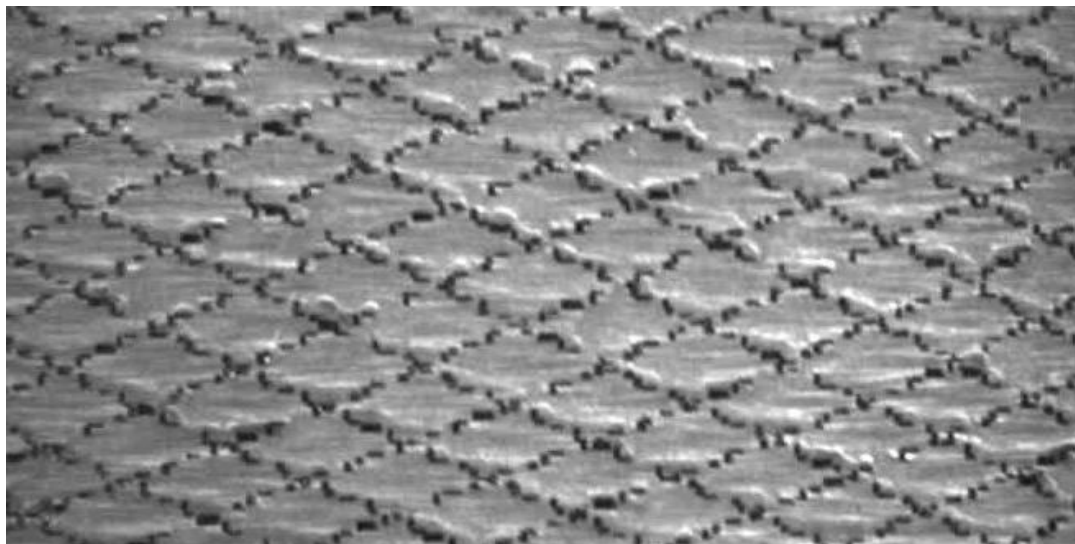


Рисунок 2 – ЧРМР с дискретными регулярными микронеровностями шахматного расположения

Параметры ЧРМР: θ – угол направления неровностей, S_0 – осевой шаг и S_k – круговой шаг неровностей определяются геометрией деформирующего элемента (ролика) накатника и продольной подачи. Другие параметры: h – глубина неровностей и F_n – относительная площадь, занимаемая регулярными неровностями, зависят от частоты вращения накатника, механических свойств охватываемой детали и определяются необходимыми значениями показателей прочности соединения.

Сборка неподвижного соединения осуществляется установкой тонкостенной втулки в корпус с зазором и последующим дорнованием, в процессе которого материал втулки, пластически деформируясь, заполняет рельеф сопрягаемой поверхности охватываемой детали. Наибольшая прочность соединения при прочих равных условиях достигается в случае полного заполнения профиля. В большинстве опубликованных исследований степень заполнения профиля, влияющая на величину расчетного натяга дорнования, оценивается по эмпирическим зависимостям [5, 6].

В процессе дорнования отверстия втулки, установленной в корпус с зазором, втулка поджимается к корпусу и далее оба элемента деформируются упруго-пластически. После прохождения дорна полученное соединение

деформируется только упруго, при этом качество стыка соединения определяется в зависимости от соотношения размеров элементов соединения, величины натяга дорнования и образующихся в стенках корпуса и втулки остаточных напряжений (в основном окружных). Между втулкой и корпусом образуются силовые связи, качественно подобные тем, которые имеют место в результате запрессовки. Силовые связи между элементами соединения поддерживаются благодаря напряжениям, возникающим при деформировании, а полученный в соединении натяг является следствием перераспределения внутренних напряжений в процессе упруго-пластической деформации. Величина образующегося натяга в этом случае не зависит от исходной точности элементов соединения, поэтому образующийся натяг в сущности является не геометрическим, определяемым как разность размеров предварительно подготовленных под запрессовку сопрягаемых поверхностей, а деформационным. На величину деформационного натяга наибольшее влияние оказывают физико-механические свойства составляющих элементов (пластичность, прочность), режимы дорнования (схема дорнования, общий натяг и его распределение по отдельным деформирующим элементам), соотношение толщин стенок поперечных сечений втулки и корпуса.

В отличие от монолитных деталей деформирование составного цилиндра, каковым является соединение типа «корпус - втулка», происходит на совершенно иных принципах. Во-первых, между элементами соединения нет жесткой связи в продольном направлении, и они могут деформироваться независимо друг от друга. Во-вторых, давление на поверхности контакта элементов соединения существенно меньше, чем на поверхности контакта втулки с дорном, поэтому корпус в большинстве случаев получает довольно незначительные пластические деформации. Внешний элемент соединения испытывает окружное растяжение по всему сечению, радиальное сжатие плавно изменяется от некоторого максимального напряжения на поверхности отверстия до нуля на наружной, поэтому после снятия нагрузки диаметральные размеры корпуса уменьшаются. Стенка втулки, испытывая всестороннее сжатие, после снятия нагрузки расширяется в обе стороны от нейтрального слоя деформации, проходящего примерно по среднему диаметру поперечного сечения, при этом

происходит увеличение наружного и уменьшение внутреннего диаметров. Общим в процессах деформирования элементов является то, что контактирующие поверхности получают одинаковые радиальные смещения.

В данной работе производилось моделирование пластического течения материала втулки с использованием процедур нелинейного анализа Cosmos Works Advanced Professional. В качестве модели пластического течения принята модель Мизеса с изотропным упрочнением и использованием кривых упрочнения материала втулки при холодной деформации. По результатам моделирования (рисунок 3) определялись эквивалентные напряжения и деформации в сопряжении, при которых происходило полное заполнение профиля ЧРМР охватывающей детали. Уровень этих напряжений и деформаций позволяет определить оптимальный (минимальный) натяг дорнования, при котором наступает полное заполнение профиля микрорельефа и обеспечивается требуемая прочность соединения.

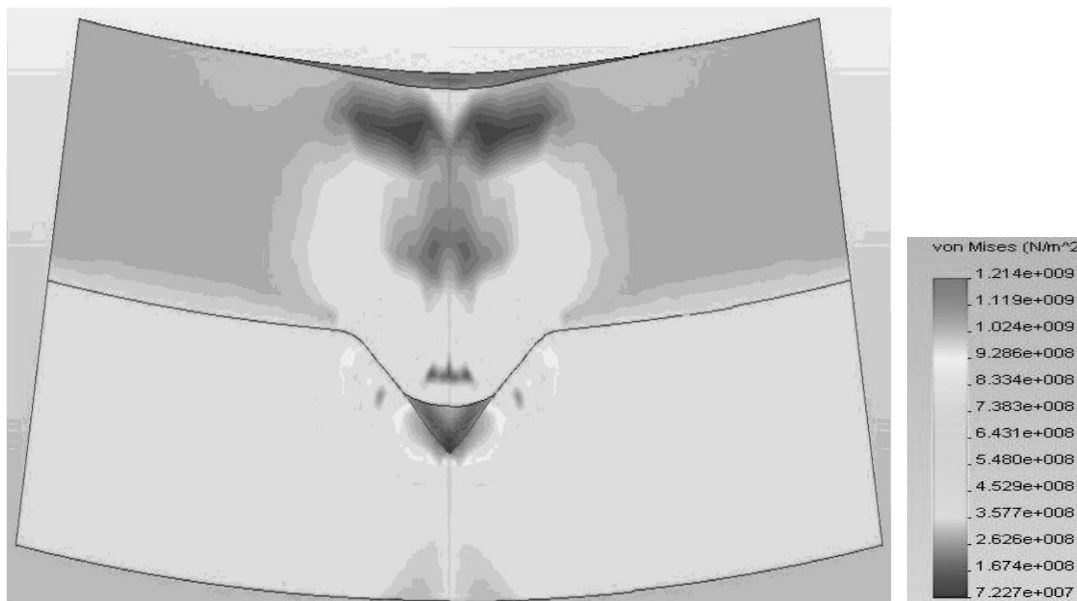


Рисунок 3 – Моделирование пластического течения материала втулки при дорновании

Проектирование технологической операции сборки неподвижного соединения типа «корпус - втулка» сводится к следующему (рисунок 4).

1. Исходя из требуемой прочности соединения (P_{oc} и $M_{кр}$) определяется наименьший начальный натяг δ соединения, получаемый дорнованием установленной с зазо-

ром втулки [2]. Далее проверяется прочность соединяемых деталей путем определения давления q_{max} исходя из величины полного сближения в контакте и, если давление q_{max} больше допустимого $q_{доп}$, то решается обратная задача и определяется значение $M'_{кр}$ и P'_{oc} , соответствующие допустимым давлениям в контакте $q'_{доп}$.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОВЫШЕННОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НЕПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТИПА «КОРПУС – ВТУЛКА»

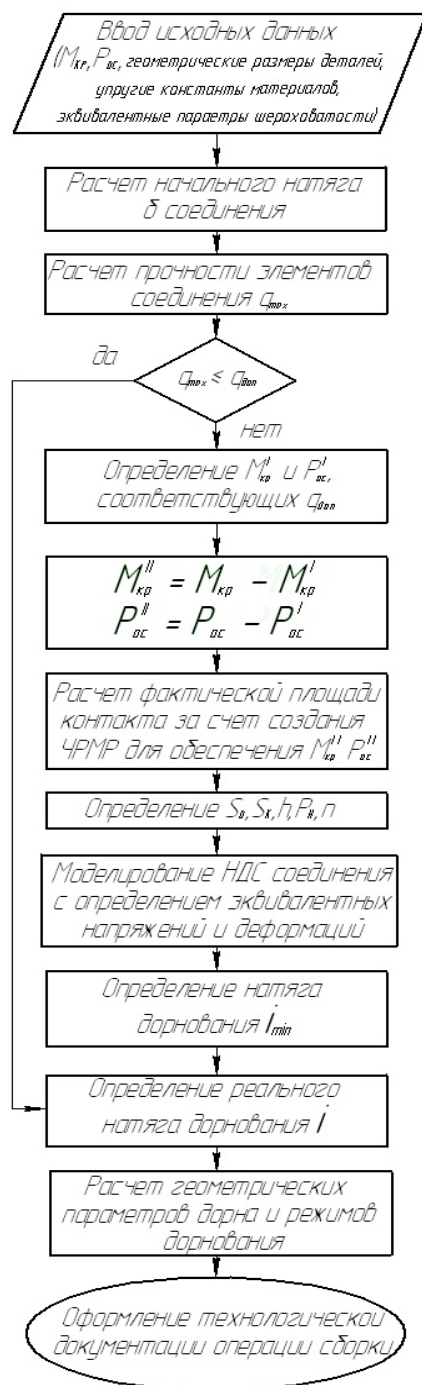


Рисунок 4 – Алгоритм проектирования операции сборки неподвижных соединений с повышенной несущей способностью

2. Определяются величины $M''_{кр}$ и $P''_{ос}$, которые необходимо обеспечить путем введения микрогеометрических изменений во внутреннюю поверхность охватываемой детали.

3. Далее рассчитывается фактическая площадь контакта частично-регулярного мик-

рорельефа, обеспечивающая требуемую величину $M''_{кр}$ и $P''_{ос}$ и определяются параметры частично-регулярного микрорельефа S_0 , S_k , h , F_H .

4. По результатам моделирования пластического течения материала втулки определяется минимальный расчетный натяг дорнования.

5. Реальный натяг дорнования определяется с учетом микронеровностей сопрягаемых поверхностей, монтажного зазора и величины упругого восстановления материала втулки после прохождения дорна.

6. Определяются геометрические параметры дорна, размеры втулки и режимы дорнования.

Применение этой методики проектирования операции сборки позволяет исключить обработку снятием стружки, упростить технологический процесс изготовления узла и сборки соединения, исключив ряд трудоёмких операций, уменьшить расход материала втулки, снизить трудоёмкость операции и получить соединение с повышенной несущей способностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шнейдер, Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей машин с регулярным микрорельефом – Л.: машиностроение, 1982. – 248 с.
2. Бородин, А. В. Несущая способность прессового соединения с криволинейными канавками в стыке / А.В. Бородин, И.А. Рязанцева // Вестник машиностроения. – 2000. – №5.
3. Горохов, В. А. Двухуровневая регуляризация микрогеометрических характеристик поверхностей и её обеспечение / В.А. Горохов // Вестник машиностроения. – 1994. – №5. – С. 29-32.
4. Григорьева, О. А. Технологическое обеспечение прочности профильных неподвижных соединений упругопластическим деформированием элементов соединения: автореферат диссертации / О.А. Григорьева. – Омск, 2004. – 20 с.
5. Киричек, Н. А. Способ получения неподвижного соединения / Н.А. Киричек // Машиностроитель. – 1991. – №10. – С. 10.
6. Чистосердов, И. С. Повышение качества прессового соединения / И.С. Чистосердов, Ю.В. Андреев // Вестник машиностроения. – 1987. – №4. – С. 28-29.
7. Воячек, И. И. Расчет прочности соединений с натягом, собранных поперечным методом / И.И. Воячек // Изв. вузов. Машиностроение. – 1996. – С. 15-25.
8. Шнейдер, Ю.Г. Прочность неподвижных соединений с регулярным микрорельефом / Ю.Г. Шнейдер, В.А. Забродин // Вестник машиностроения. – 1976. – №6. – С. 42-44.