

Баринов С.В., Куканова Н.А., Зайцев А.А.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, Муром. Владимирская область, ул. Орловская, 23
box64@rambler.ru*

Исследование коррозионной стойкости после деформационного упрочнения

Проблема повышения коррозионной стойкости играет важную роль для различных отраслей: промышленности, сельского хозяйства, атомной энергетики, медицины и т.д. В данных отраслях достаточно часто изделия испытывают необходимость в одновременном повышении, как коррозионной стойкости, так и прочности, твердости, ударной вязкости, контактной выносливости, циклической прочности, измельчении зерна и т.д. Зачастую повышение такого комплекса физико-механических свойств достигается за счет последовательной реализации нескольких дополнительных технологических операций.

Исследованию влияния пластического деформирования на коррозионную стойкость обрабатываемых материалов посвящено много работ [1-3]. Их анализ показал, что нет однозначного мнения о влиянии создаваемой пластической деформации на коррозионную стойкость материалов и их сварных швов. В одних группах работ считается, что наличие в поверхностном слое пластического деформирования приводит к снижению коррозионной стойкости. В других группах работ авторы пришли к выводу, что определенная степень пластической деформации в материале, в сварных швах способствует повышению коррозионной стойкости. Существуют примеры, где схожие условия и технологии обработки поверхностей дают противоречивые данные о получаемой коррозионной стойкости.

Способ поверхностного пластического деформирования - волновое деформационное упрочнения (ВДУ) - разработан относительно недавно [4]. При ВДУ волны деформаций, генерируемые в ударной системе боек-волновод, за счет формирования мгновенных волновых картин из совокупности взаимодействующих прямых и отраженных от участков с различной акустической жесткостью волн деформации, позволяют формировать в обрабатываемом материале гетерогенно упрочненные области в виде чередующихся твердо-вязких участков [5]. В зависимости от режимов ВДУ упрочнение может формироваться как на контактной обрабатываемой поверхности, так и на опорной (противоположной обрабатываемой) поверхности. В материале после обработки ВДУ можно одновременно: добиться формирования высокой степени (до 150%) и глубины (более 6-10 мм) упрочнения; повысить сопротивление контактному выкрашиванию в 3-6 раз; создавать локальное измельчение зерен до ультрамелкозернистых и наноразмерных значений; ликвидировать имеющуюся технологическую наследственность в упрочняемом материале; повысить усталостную прочность сварных швов в 1,3-2,9 раза. В силу относительно небольшого возраста технологии ВДУ, малоизученности её возможностей, исследования влияния волны деформации на коррозионную стойкость обрабатываемых материалов и сварных швов не проводились и будут являться задачей дальнейших исследований.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 24-29-00666.

Литература

1. Федонин, О. Н. Технологическое обеспечение коррозионной стойкости деталей из конструкционных сталей в условиях электрохимической коррозии: специальность 05.02.08 "Технология машиностроения" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Федонин Олег Николаевич. – Брянск, 2004. – 320 с.
2. Покрyтия и обработка поверхности для защиты от коррозии и износа: Сб. ст.: Пер. с англ. /Под ред. С.Н. Страффорда.- М.: Металлургия, 1991.

3. Lee, H.-S.; Kim, D.-S.; Jung, J.-S.; Pyoun, Y.-S.; Shin, K. Influence of peening on the corrosion properties of AISI 304 stainless steel. *Corros. Sci.* **2009**, *51*, 2826–2830.
4. Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Лазуткин А.Г. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием: Библиотека технолога – М.: Машиностроение, 2004. – 288 с.
5. Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Баринов С.В. Повышение контактной выносливости деталей машин гетерогенным деформационным упрочнением статико-импульсной обработкой // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2008. № 7. С. 9.

Борисова Е.А.
 Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного
 образовательного учреждения высшего образования
 «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и
 Николая Григорьевича Столетовых»
 602264, Муром, Владимирская область, ул. Орловская, 23
 armitp@yandex.ru

Влияние магнитного поля на перенос легирующих элементов в контактной паре «ролик-проволока»

Анализ условий работы подающих роликов показал, что контактирование микронеровностей поверхностей ролика с проволокой в условиях подачи проволоки сопровождается большими контактными давлениями и пластической деформацией сдвига. В результате чего микроучастки поверхностных слоев сопряженных кристаллических решеток контактирующих материалов образуют промежуточное тело, оказывающееся в структурно неустойчивом состоянии. Образуется открытая термодинамическая система, в которой происходит перенос вещества и энергии с образованием вторичных структур [1]. Атомы легирующих элементов материала ролика на фоне перехода в более выгодные энергетические состояния способны оказаться в кристаллической решетке проволоки с усиленными химическими связями. Данные вторичные структуры в виде твердых дисперсных частиц могут оказывать абразивное воздействие на поверхность ролика [2]. Перспективным методом предотвращения образования таких структур можно считать метод, связанный с полевым энергетическим воздействием на взаимодействие атомов в междоузельном пространстве. Выявление фактического переноса легирующих элементов из поверхностного слоя ролика в поверхностный слой проволоки проводилось путем сравнения поверхностной концентрации химических элементов в поверхностном слое образца, имитирующего проволоку после трибоиспытаний с немагнитным и магнитным образцами, имитирующих ролик. Оценка элементного состава проводилась на оптико-эмиссионном спектрометре Q4 TASMAR по электронным спектрам. Определение концентраций проводилось на образцах, предназначенных для трибоиспытаний с немагнитным и магнитным образцами. В случае испытания с базовым образцом установлено, что увеличение поверхностной концентрации в результате трения произошло по всем карбидообразующим элементам. Причем в отдельных очагах схватывания поверхностная концентрация W возросла в среднем в 49 раз, содержание Cr увеличилось в 2,93, Mn в 2,71, Mo в 2,11 раза. Для испытания с магнитным образцом установлено, что увеличение поверхностной концентрации произошло также по всем карбидообразующим элементам, но в меньшей степени. Так в среднем увеличение для Mn , Cr , W и Mo составило, соответственно, 1,51; 1,7; 9,67 и 1,3 раза [3]. Таким образом, доказано, что намагничивание существенно снижает образование вторичных твердых структур.

Литература

1. Гершман И.С. Описание процесса схватывания методами неравновесной термодинамики и теории самоорганизации / Трение и смазка в машинах и механизмах. 2009. – №4. – С. 3–5.
2. Зелинский, В.В. Повышение износостойкости исполнительных органов машин, образующих трибосистему «сталь-сталь» [Текст] / В.В. Зелинский, Ю.С. Степанов, Е.А. Борисова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2018. – №1 (327). – С. 43-52.

Борисова Е.А., Зелинский В.В.
*Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и
Николая Григорьевича Столетовых»
602264, Муром, Владимирская область, ул. Орловская, 23
armitp@yandex.ru*

Установление причин отказов подающих роликов

В пружинонавивочных автоматах в механизме подачи проволоки два подающих ролика сжимают проволоку, образуя с ней высшую кинематическую пару, работающую по принципу фрикционной передачи. Для поддержания надежного фрикционного контакта в зоне соприкосновения роликов с проволокой возникают аномально высокие контактные напряжения сжатия, созданные внешней силой прижатия, которая превышает усилие подачи проволоки в 15 и более раз.

Проведенная расчетная оценка контактных напряжений и размеров пятна контакта подающих роликов с проволокой по методике [1] показала, что значение контактного напряжения составляет более 2100 МПа и оказывается на уровне предела текучести материала проволоки, что приводит к неизбежным явлениям схватывания с материалом ролика на локальных участках с проскальзыванием.

На работу подающих роликов негативное влияние оказывает наличие двух видов скольжения: буксования и упругого скольжения, свойственных фрикционной передаче.

Буксование, как правило, возникает в результате перегрузок из-за временных увеличений сопротивлений в поступательном перемещении проволоки и реализуется при повторяющихся в нагруженном состоянии циклов «остановка – выстой – пуск» роликов, необходимых для отрезки пружины. Упругое скольжение вызвано наличием местных тангенциальных деформаций подающих роликов и проволоки.

Изучение характера разрушений рабочих поверхностей роликов в виде канавок позволило установить наличие адгезионного и абразивного видов воздействий. Микроскопическим изучением микроповреждений на рабочих поверхностях роликов установлено наличие микроцарапин, микрорисок и микровырывов. Характер данных повреждений указывает на сдвиговые воздействия твердыми микровыступами вторичного происхождения, расположенными на поверхности проволоки, а также срастания субзерен кристаллических решеток ролика и проволоки с последующим сдвигом [2].

Проведенный анализ особенностей конструкции механизма подачи, условий его работы и характера повреждений показал, что долговечность роликов определяется прочностью их поверхностного слоя и непосредственно связана с конструкционной прочностью применяемого материала изделия, показатели которой формируются под влиянием специфических условий эксплуатации в рассматриваемой контактной паре «ролик – проволока». Поэтому одним из путей повышения долговечности подающих роликов может оказаться воздействие, например, энергетическое на атомно-электронные структуры поверхностного слоя.

Литература

1. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, 2. А.П. Яковлев, В.В. Матвеев // Издательство «Наукова Думка». Киев. – 1975. – 703 с.

Борисова Е.А. Установление причин отказов подающих роликов пружинонавивочных автоматов / Е.А. Борисова, В.В. Зелинский // *Машиностроение и безопасность жизнедеятельности*. - 2022. - № 2 (44). - С.54-58.

Волченков А.В.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
armitr@yandex.ru*

Характеристики прочности дисперсных сплавов группы Al-Si-C

Примеси тяжелых металлов в низких концентрациях могут вызывать значительные изменения механических свойств алюминиевых сплавов. Эти примеси могут попадать в металл в ходе процессов переработки лома, или в результате диффузионных процессов, которые могут ускоряться при повышенных температурах, например, охрупчивание жидкого металла. Иногда они добавляются целенаправленно. Именно так обстоит дело с алюминиевым сплавом АК8. Состав сплава очень похож на состав более известного сплава АД33, т.е. высокие концентрации магния и кремния, которые образуют упрочняющий осадок Mg_2Si . Основное отличие – наличие свинца и висмута, которые добавляются для повышения обрабатываемости сплава. Химический состав сплава: 1,14 % Mg, 0,78 % Si, 0,30 % Fe, 0,13 % Cu, 0,06 % Mn, 0,06 % Cr, 0,08 % Pb, 0,07 % Bi и 97,38 % Al. Поскольку большинство этих примесей тяжелых металлов имеют очень низкую растворимость в алюминии, они имеют тенденцию к сегрегации по границам зерен, свободным поверхностям или границам раздела фаз. Там они могут вызвать изменение сопротивления сплава разрушению различными способами.

Доминирующим механизмом разрушения в АД33 является трансгранулярное слияние микропор. После обширной деформации вблизи интерметаллидных частиц возникают небольшие пустоты либо из-за декогезии на границе раздела частица/матрица, либо из-за разрушения самих хрупких частиц. Эти пустоты растут в результате обширной пластической деформации, пока не сливаются. Однако из-за присутствия свинца и висмута в АК8 другие механизмы могут контролировать процесс разрушения. Висмут реагирует с магнием с образованием Bi_2Mg_3 , стабильного в широком диапазоне температур. В результате считается, что висмут не оказывает сильного влияния на поведение разрушения. Поэтому основное внимание будет уделяться влиянию свинца, который присутствует вокруг интерметаллических частиц, а также в небольших выделениях на границах зерен. При температурах выше температуры плавления свинца $T_{\text{п}}$ (327 °С) может возникнуть охрупчивание жидкого металла. Выше этой температуры на границах зерен присутствуют жидкие капли свинца.

Поскольку с ростом температуры σ_{SL} убывает быстрее, чем σ_{GB} , существует температура, при которой θ становится равным нулю. Эта температура обозначается как T_{C} , температура смачивающего перехода, и относится к температуре, при которой граница заменяется слоем жидкой фазы, то есть происходит полное смачивание. Специальные границы имеют более низкую энергию и, следовательно, имеют более высокие значения T_{C} , чем случайные границы. Для системы Al–Pb заявленные значения составляют 560 °С для 7 границ и 535 °С для случайной границы. Ниже T_{C} граница зерна не смачивается полностью, но жидкий свинец очень подвижен и под действием приложенного напряжения может способствовать образованию трещин. Для объяснения охрупчивания жидкого металла были предложены различные модели. Наиболее общепринятой является модель снижения когезии, вызванная адсорбцией. Когда атом жидкого металла адсорбируется на вершине трещины, электронная перегруппировка приводит к уменьшению прочности первой связи на вершине трещины. После разрыва связи охрупчивающий атом адсорбируется на следующей связи, и процесс повторяется. Поскольку в этом процессе практически не задействована пластичность, в результате образуются микроскопически плоские поверхности излома. Другой популярной моделью является так называемая модель усиленной эмиссии дислокаций, в которой влияние атомов жидкого металла не снижает прочность сцепления при растяжении, а скорее уменьшает прочность связей на сдвиг. Это приводит к усиленному зарождению дислокаций в вершине трещины, а разрушение происходит из-за локализованной пластичности, роста пустот и слияния непосредственно перед вершиной трещины.

Каменский М.Н., Голубина Е.Н.
Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева
301665, Тульская область, г. Новомосковск, ул. Дружбы, 8
MKamensky@yandex.ru

Разработка энергосберегающей конструкции экономайзера в системе автоматизированного проектирования

Экономайзер – элемент котлоагрегата, теплообменный аппарат, в котором питательная вода перед подачей в котел подогревается уходящими газами. Для работы при давлении до 2,3 МПа и температуре питательной воды ниже температуры точки росы дымовых газов экономайзер изготавливают из гладких или ребристых чугунных труб [1]. Однако ребристая поверхность более чувствительна к внешнему загрязнению.

В стальных гладкотрубных экономайзерах, поверхность нагрева выполняют из параллельно включенных змеевиков, с небольшим внутренним диаметром, расположенных в шахматном порядке. Входные и выходные концы змеевиков объединяют в коллекторы, находящиеся на стенках конвективного газохода.

Наиболее частыми повреждениями стальных экономайзеров являются наружная и внутренняя коррозия, а также свищи в сварных стыках. В чугунных экономайзерах чаще всего возникает пробивание прокладок в соединительных фланцах, разрывы отдельных соединительных калачей и труб, а также обрывы фланцев при чрезмерной затяжке болтов фланцевого соединения калача, что приводит к трудностям во время технического обслуживания и ремонта.

В связи с перечисленными выше причинами выхода из строя элементов экономайзера требуется качественное выполнение проектов оборудования с рациональным выбором конструкционных материалов для повышения эффективности ремонтнопригодности.

Чтобы упростить этот процесс, наиболее рационально применить систему автоматизированного проектирования, именуемую далее как САПР, предназначенную для автоматизации процесса разработки конструкции оборудования [2, 3].

С использованием САПР были разработаны модели обечайки, внутреннего каркаса (рис. 1), труб, днищ, крепежных элементов экономайзера, а также подобраны конструкционные материалы применительно к условиям эксплуатации.

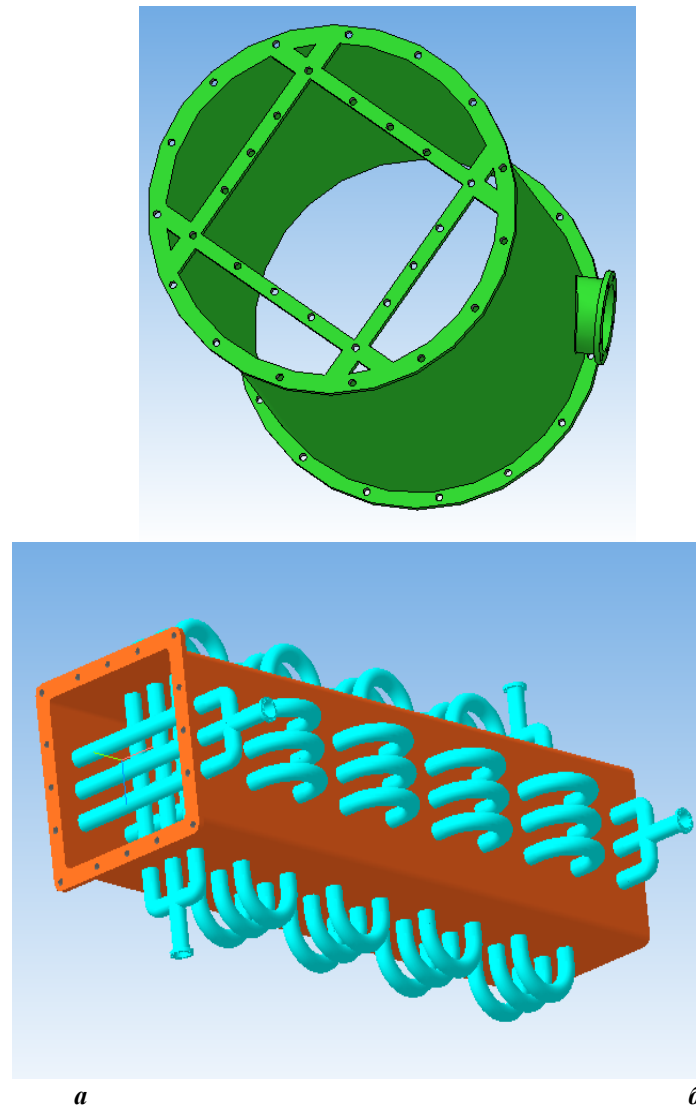


Рис. 1. Модель обечайки *a* и внутреннего каркаса *б* экономайзера

В связи с тем, что количество деталей экономайзера значительное, разработка конструкции проводилась на компьютере с высокими характеристиками оперативной памяти.

Проектирование деталей и сборок в трехмерном пространстве позволило оценить все основные особенности конструкции, а в случае необходимости вносить соответствующие изменения.

После разработки трехмерных моделей всех элементов, произведена их сборка в системе автоматизированного проектирования с использованием функций сопряжений, в результате чего разработана конструкция экономайзера (рис. 2).

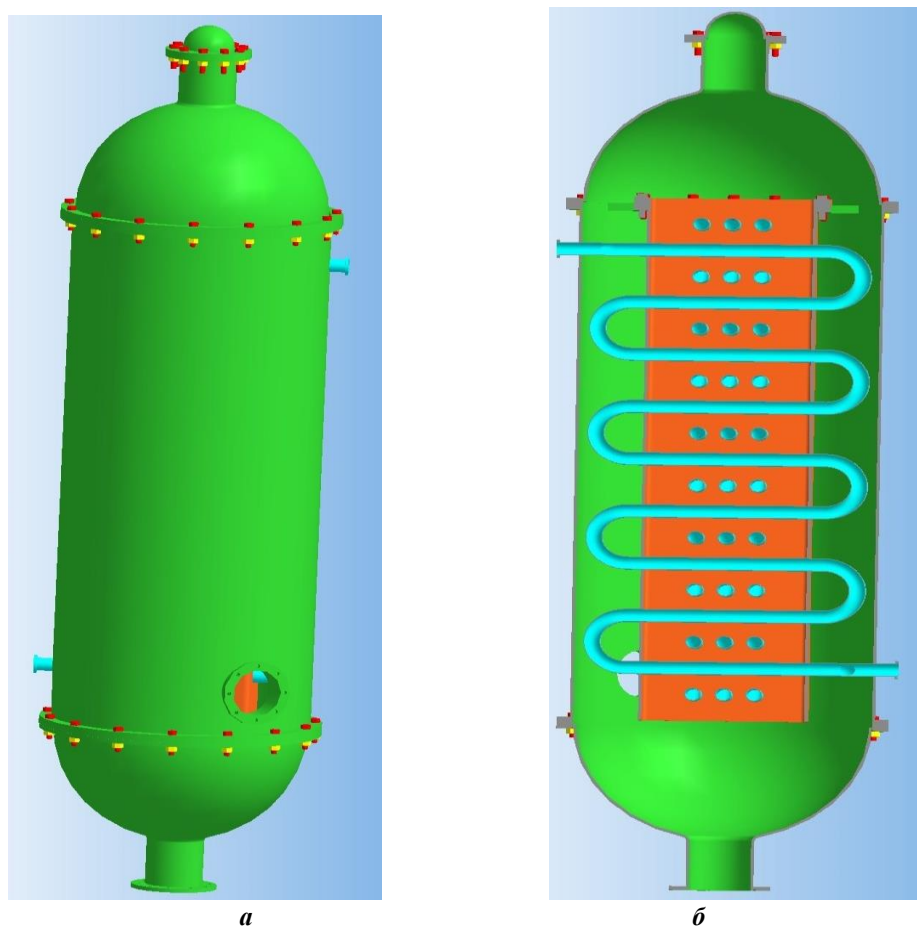


Рис. 2. Разработанная конструкция экономайзера:
а – общий вид, *б* – вид в разрезе

Таким образом, применение системы автоматизированного проектирования позволило создать трехмерные модели отдельных деталей экономайзера и разработать его конструкцию с целью устранения существующих проблем аналогов оборудования и повышения эффективности технического обслуживания и ремонта.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства Тульской области в сфере науки и техники ДС/104 от 27.09.2023 г.

Литература

1. Поникаров И.И., Гайнуллин М.Г. Машины и аппараты химических производств и нефтегазопереработки. М: Альфа-М, 2006. 608 с.
2. Машины и аппараты химических производств / под ред. А.С. Тимонина. Калуга: Изд-во Н.Ф. Бочкаревой, 2008. 872 с.
3. Основы проектирования химических производств / под ред. А.И. Михайличенко. М.: ИКЦ «Академкнига», 2010. 373 с.

Карпов А.В., Низамова А.Д.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
krash75@mail.ru*

О результатах апробации технологических способов улучшения поверхностного слоя режущей части метчиков

В условиях механообрабатывающих цехов промышленных предприятий, в которых выполняется значительный объём обработки заготовок лезвийными режущими инструментами, одним из ключевых факторов эффективности является повышение стойкости инструментов при заданной производительности стружкообразования и основном времени перехода. Один из эффективных путей повышения стойкости состоит в проведении окончательной термической или химико-термической обработки контактных поверхностей лезвия инструмента.

Такая обработка целесообразна для инструментов, сохраняющих улучшенный слой после переточки полностью (резьбовые и червячные фрезы, долбяки, протяжки, фасонные резцы, метчики и др.) или частично (свёрла, зенкеры, а также штампы, пресс-формы). Не рекомендуется применять обработку для повышения твёрдости поверхностного слоя инструментов небольшого диаметра (до 5 мм) или с очень тонкой кромкой, чтобы не вызвать избыточной хрупкости инструментального материала.

Улучшение свойств поверхностного слоя достигается химико-термической обработкой и позволяет повысить стойкость инструментов в 1,5-3 раза при следующих условиях: 1) слой, созданный обработкой, прочно связан с основным металлом и имеет большую твердость, теплостойкость или стойкость против коррозии, чем нижележащие слои; 2) учитывается характер износа, переточки, форма и площадь поперечного сечения инструмента.

Наиболее известные способы химико-термической обработки были апробированы службой инструментального хозяйства ПАО "РКК "Энергия" им. С.П. Королёва" (г. Королёв, Московской области) применительно к метчикам, поскольку операции резьбонарезания отверстий в корпусных заготовках составляют весомую часть производственной программы предприятия. Оказалось, что наиболее универсальными и пригодными для всех инструментальных сталей являются низкотемпературное цианирование, азотирование или нитроцементация (желательно с последующим оксидированием). Влияние их на свойства и стойкость метчиков примерно одинаково. На поверхности инструмента в результате выполнения этих обработок создается слой высокой твёрдости, износостойкости и теплостойкости, возникают полезные сжимающие напряжения, повышается предел выносливости, снижается налипание стружки. Остальные свойства слоя определяются твёрдостью сердцевины [1].

Если твёрдость сердцевины высокая ($HRC > 58-60$), что соблюдается для быстрорежущих и полутеплостойких штамповых сталей для холодного деформирования, то выполнение любой из указанных обработок повышает также сопротивление пластической деформации и, следовательно, смятию рабочей кромки при повышенных напряжениях.

Цементация и высокотемпературное цианирование в меньшей степени повышают твёрдость и не изменяют теплостойкость, но создают упрочнённый слой большей толщины. Борирование и диффузионное хромирование обеспечивают наиболее высокую износостойкость, в том числе при абразивном изнашивании и при нагреве, но из-за небольшой толщины образующегося поверхностного слоя высокой твёрдости, эти способы пригодны, главным образом, для условий работы при меньших силовых нагрузках на резьбонарезные витки метчика.

Литература

1. Низамова А.Д., Карпов А.В. Способы улучшения поверхностного слоя инструмента // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. – 2023. – № 2 (46). – С. 50-56.

Карпов А.В.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
krash75@mail.ru*

Минимизация удельных энергозатрат при осуществлении двух последовательных рабочих ходов инструмента

К силовым и энергетическим показателям, характеризующим процесс стружкообразования при обработке резанием, можно отнести:

- а) тангенциальную составляющую силы резания P_Z , Н;
- б) эффективную мощность резания N , Вт;
- в) полную работу режущего клина $A_{рез}$, Дж;
- г) удельную работу режущего клина (удельные энергозатраты резания) e , Дж/м³.

При этом [1]:

$$e = \frac{A_{рез}}{V} = \frac{N}{\Pi} = \frac{P_Z \cdot v}{\Pi}, \quad (1)$$

где $\Pi = V/\tau_0$ – производительность, м³/с; V – объем материала, м³, снятого в виде стружки в течение основного времени перехода τ_0 , с; v – скорость резания, м/с. Преимуществом показателя e является независимость от длины обрабатываемой заготовки, что позволяет применять его в качестве критерия оптимизации процесса резания по условию $e \rightarrow \min$ [4].

Ранее [2, 3] нами были получены теоретико-эмпирические выражения для расчёта удельных энергозатрат при обработке различных конструкционных материалов точением, сверлением, фрезерованием и шлифованием. Эти выражения нашли применение в методиках параметрической оптимизации указанных технологических процессов на иерархическом уровне «рабочих ходов», т.е. при условии, что глубина резания t задана и постоянна в течение времени каждого воздействия режущего инструмента на заготовку.

С целью повышения производительности и сокращения потерь энергии на вспомогательные ходы следует удалять предварительный припуск t за один рабочий ход.

Если это затруднительно ввиду недостаточной жёсткости технологической системы, прочности инструмента или мощности оборудования, приходится осуществлять несколько последовательных рабочих ходов (обычно два: черновой и получистовой).

При этом возникает задача такого распределения припусков $\frac{t_1}{t_2}$ между рабочими ходами инструмента 1 и 2, при котором суммарные удельные энергетические затраты двух последовательных рабочих ходов $e_{1,2} = e_1 + e_2$ были бы минимальны.

Решение задачи энергетически экономичного распределения припуска между рабочими ходами 1, 2 вытекает из следующих условий:

$$\frac{\partial e_{1,2}}{\partial t_1} = 0 \quad \text{и} \quad \frac{\partial^2 e_{1,2}(t_1)}{\partial t_1^2} > 0. \quad (2)$$

Первое выражение соответствует условию существования экстремума функции $e_{1,2} = f(t_1)$, а второе - условию того, что этот экстремум будет являться минимумом.

На примере фрезерования заготовок из углеродистых сталей группы ISO-P решением дифференциальных уравнений стали новые формулы для выбора оптимальной глубины резания t_1 первого рабочего хода. При использовании фрез с режущей частью из быстрорежущей стали и твёрдого сплава (сменные пластины, вставные ножи, либо цельные фрезы) эти формулы имеют вид (соответственно):

$$t_1 = \frac{t}{1 + \left(\frac{v_2 \cdot s_{M1}}{v_1 \cdot s_{M2}} \right)^{0,25}} \quad \text{и} \quad t_1 = \frac{t}{1 + \left(\frac{v_2 \cdot s_{M1}}{v_1 \cdot s_{M2}} \right)^{0,22}}, \quad (3)$$

где $\frac{v_2}{v_1}$, $\frac{s_{m1}}{s_{m2}}$ – отношения скоростей резания и минутных подач рабочих ходов 1 и 2.

Значения v_1 , v_2 , s_{m1} , s_{m2} можно назначать, пользуясь традиционными технологическими методиками или рекомендациями производителей инструмента, – из условия обеспечения требуемого периода стойкости фрезы, качества обработанной поверхности и (или) устойчивого стружкодробления, а минимизацию суммарных удельных энергозатрат учитывать распределением припуска в соответствии с выражением (3).

Глубина резания для второго рабочего хода составит: $t_2 = t - t_1$. В общем случае $v_1 \neq v_2$, $s_{m1} \neq s_{m2}$, и рабочие ходы 1, 2 представляют собой два последовательных перехода одной технологической операции.

Если общий припуск t удаляется за два прохода в пределах одного технологического перехода, то $v_1 = v_2$, $s_{m1} = s_{m2}$ и $t_1 = t_2 = t/2$.

Литература

1. Карпов А.В. Модель параметрической оптимизации операций обработки резанием по критерию наибольшей энергетической эффективности // Современные наукоемкие технологии. – 2020. – № 6-1. – С. 50-55; URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=38070> (дата обращения: 30.12.2023).

2. Карпов А.В. Расчёт показателя энергетической эффективности стружкообразования при точении и фрезеровании // Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России. XII Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез. докл. Всероссийской межвузовской научной конференции. Муром, 7 февр. 2020 г.– Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2020.– С. 141-142.– [Электронный ресурс]: 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

3. Карпов А.В. Энергетический критерий оптимизации технологических процессов обработки резанием // Современные наукоемкие технологии. – 2020. – № 5. – С. 50-55; URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=38031> (дата обращения: 30.12.2023).

Карпов А.В.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
krash75@mail.ru*

Особенности построения системы ограничений при оптимизации процесса обработки материалов мелкозубым лезвийным инструментом

Поскольку энергоёмкость является одним из признанных показателей технологичности конструкции изделия, то повышение эффективности обработки резанием путём минимизации энергозатрат на единицу съёма стружки является актуальной технологической задачей. Технологическая операция, технологический переход, рабочий ход инструмента есть процесс образования новых поверхностей в материале заготовки под действием энергии, сообщаемой объёму срезаемого слоя режущим инструментом, в основе которого лежит лезвие - деформирующий клин.

Обработка клином, с позиций оценки энергоёмкости процесса в абсолютных величинах (в Джоулях энергии), - крайне неэффективна: за время рабочего хода до 98% совершённой работы резания $A_{рез}$ превращается в тепло Q , и только незначительная её часть запасается в виде внутренней энергии ΔU контактирующих поверхностных слоёв детали, инструмента и стружки, тогда как именно она является ответственной за формирование свойств новой поверхности:

$$A_{рез} = Q + \Delta U. \quad (1)$$

Поэтому, лишь режим резания, выбранный по условию минимума удельной энергоёмкости, способен обеспечить стружкообразование с максимально возможным "энергетическим КПД" [1, 2].

Интерес к вопросу оптимизации по критерию минимальных энергозатрат наблюдался и ранее, но практически все исследователи ограничивались рассмотрением операции наружного точения цилиндрического вала. Между тем, обработка острозаточенными мелкозубыми фрезами (дисковыми, прорезными, отрезными) имеет ряд существенных особенностей, которые необходимо учитывать при формировании целевой функции и системы ограничений. Известно, что при работе фрез имеет место так называемая "неравномерность фрезерования", а тангенциальная сила резания P_z , приведённая к одному зубу фрезы, есть величина переменная между точками входа и выхода этого зуба в контакт с заготовкой. Она увеличивается прямо пропорционально росту мгновенной площади срезаемого слоя.

При обработке паза дисковая фреза находится в тяжёлых условиях несвободного резания. Стружка, срезаемая каждым зубом, завивается, уплотняется и размещается в пространстве (впадине) между зубьями фрезы. Эксперимент показал, что при работе мелкозубых фрез (особенно с пластичными, вязкими материалами) в определенной области режимов резания получен экстремум (минимум) функции удельной энергоёмкости, при прохождении за который энергозатраты начинают расти, в то время как соответствующий график аналитической функции монотонно убывает по мере интенсификации режимов резания (подачи на зуб s_z , глубины резания t , ширины фрезерования B , в меньшей степени - скорости резания v).

Ключевым ограничивающим фактором являются показатели качества обработанной поверхности детали (требуемая шероховатость). Также необходимо учитывать технологические возможности оборудования, прочность и жёсткость инструмента, жёсткость заготовки и прочие технические ограничения [1, 3]. Наряду с упомянутыми ограничениями, при фрезеровании вязких заготовок (из материалов групп ISO-P, ISO-M) нами предложен дополнительный ограничивающий фактор: интенсивность заполнения срезаемой стружкой пространства между зубьями фрезы:

$$V_{зан} \geq K_{нор} \cdot V_{стр}, \quad (2)$$

где $V_{зан}$ – объём стружечной канавки, определяемый геометрическими размерами фрезы; $V_{стр}$ - объём стружки, срезаемой одним зубом ($V_{стр} = B \cdot t \cdot s_z$), т.е. объём фигуры, ограниченной в

плане двумя участками трахоидальных траекторий результирующего движения любых двух соседних зубьев фрезы, а по обрабатываемой поверхности - отрезком, равным величине подачи на зуб s_z); $K_{пор}$ – коэффициент пористости (уплотнения) стружки в стружечной канавке (впадине между любыми двумя соседними зубьями фрезы).

Значение коэффициента $K_{пор}$ определено экспериментально для различных групп обрабатываемых материалов: $K_{пор} = 1,8-2,4$ - для низкоуглеродистых неотожженных сталей и цветных сплавов, $K_{пор} = 1,2-1,7$ - для хрупких и квазихрупких обрабатываемых материалов.

Литература

1. Карпов А.В. Модель параметрической оптимизации операций обработки резанием по критерию наибольшей энергетической эффективности // Современные наукоёмкие технологии. – 2020. – № 6-1. – С. 50-55; URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=38070> (дата обращения: 30.12.2023).

2. Карпов А.В. Расчёт показателя энергетической эффективности стружкообразования при точении и фрезеровании // Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России. XII Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез. докл. Всероссийской межвузовской научной конференции. Муром, 7 февр. 2020 г.– Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2020.– С. 141-142.– [Электронный ресурс]: 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

3. Карпов А.В. Энергетический критерий оптимизации технологических процессов обработки резанием // Современные наукоёмкие технологии. – 2020. – № 5. – С. 50-55; URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=38031> (дата обращения: 30.12.2023).

Никитина Л.Г.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
nikitina-nlg@yandex.ru*

Исследование электромагнитных опор для высокоскоростных шпиндельных узлов

Повышение быстроходности шпинделей при шлифовании вызывает необходимость создания опор с окружной скоростью на шейке вала ротора 150—200 м/с и более. Высоким скоростным фактором обладают воздушные и магнитные опоры.

Перспективным является применение электромагнитных опор (ЭМО) с системой авторегулирования [1]. Действие ЭМО основано на принципе электромагнитной стабилизации положения ферромагнитного тела установленного с зазором между диаметрально расположенными электромагнитами, каждый из которых притягивает тело к себе.

В Псковском филиале ЛПИ им. М. И. Калинина разработана и испытана модель высокоскоростного электрошпинделя с ЭМО (рис.1) (выполненная на базе внутришлифовального электрошпинделя ЭШ-120/0,4) с встроенным асинхронным электродвигателем мощностью 0,4 кВт и номинальной частотой вращения 120000 об/мин. Шарикоподшипниковые опоры базового электрошпинделя заменены электромагнитными[2].

Система электромагнитной подвески ротора состоит из двух радиальных электромагнитных подшипников (ЭМП). Для упрощения конструкции в разработанной модели нет упорного подшипника, и ротор удерживается в осевом направлении благодаря эффекту электромагнитного центрирования. Основными частями ЭМП являются: механическая, воспринимающая нагрузки (расположена непосредственно в корпусе шпинделя; регулятор тока электромагнитов (находится в блоке управления).

Механическая часть ЭМП состоит из корпуса 6, статора 8, цапфы 9, насаженной на вал 11, индуктивного датчика 2 перемещений и аварийных подшипников 1. Статор набран из листов электротехнической стали Э44 толщиной 0,35 мм, в которых выполнено восемь полюсов. В пазах статора уложены обмотки 7 электромагнитов. В обмотках из провода ПЭВ-2 - 032 мм содержится по 150 витков на полюс. Попарно соединенные между собой обмотки и полюса образуют четыре электромагнита, которые удерживают цапфу в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Цапфа набрана из той же стали в форме колец. Индуктивный датчик перемещений цапфы представляет собой статор из пакета листов, отличающийся от статора электромагнитов только меньшей толщиной материала. Обмотки 3 датчика, выполненные из провода ПЭЛ 0.12 мм, содержат по 200 витков на полюс. Аварийные подшипники (выполненные в виде подшипников скольжения с бронзографитовыми вкладышами) удерживают ротор при работе в аварийном режиме, когда по какой-либо причине не функционируют несущие электромагниты, а также при полностью отключенном шпинделе.

Привод шпинделя осуществляется от асинхронного электродвигателя, включающего статор 5 с обмотками 4 и коротко-замкнутый ротор 10. Напряжение питания трехфазной (157 В, 2000 Гц).

Стендовые испытания модели электрошпинделя показали следующее:

1. ЭМП допускают сравнительно большие радиальные зазоры между цапфой и статором и мало чувствительны к их изменению. Увеличение зазоров от номинального значения 0,24 мм до 0,52 мм после соответствующей настройки регулятора привело лишь к некоторому снижению несущей способности и жесткости ЭМП. Благодаря этому не требуется особо высокая точность обработки деталей;

2. Несущая способность радиального ЭМП составляет 25 Н на 1 см площади продольного диаметрального сечения цапфы. Несущую способность можно повысить до 50 Н/см², если в качестве ферромагнитного материала использовать кобальтовое железо;

3. Статическая жесткость ЭМП, составляющая в исследуемой модели (при зазоре 0,24 мм) 2,2 Н/мкм, сравнима с жесткостью подшипников качения и легко регулируется;

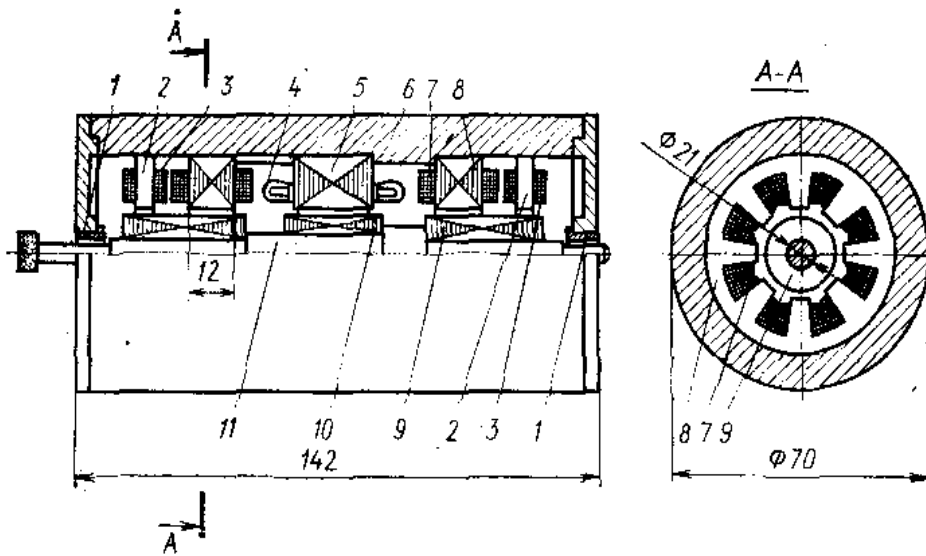


Рис.1. Конструкция модели электрошпинделя

4. Потери на трение в ЭМП обусловлены потерями на вихревые токи и на перемагничивание в пакете листов цапфы. Для исследуемого ЭМП при $n = 120000$ об/мин эти потери составляют 10,5 Вт, что примерно на порядок меньше потерь на трение в подшипниках качения базового электрошпинделя. Цапфы при работе практически не нагреваются;

5. Электронная схема модели потребляет из сети активную мощность 15,3 Вт, что значительно меньше мощности, потребляемой на трение и образование масляного тумана в базовом электрошпинделе;

6. ЭМП позволяют работать при очень высоких окружных скоростях. Допускаемая окружная скорость в зазоре определяется механической прочностью электротехнической стали и равна 200 м/с/;

7. При использовании ЭМП не требуется тщательная балансировка ротора, как в случае применения подшипников качения. Достигнув частоты 50000 об/мин, ротор начинает вращаться вокруг своей главной оси инерции, т.е. самоцентрируется. Система регулирования хорошо демпфирует колебания ротора, что позволяет легко проходить критические частоты вращения.

Таким образом, по результатам экспериментального исследования можно сделать вывод о том, что электромагнитные подшипники обладают высоким скоростным фактором, достаточно высокой несущей способностью и жесткостью, не требуют больших затрат энергии и высокой точности обработки деталей. Однако вопросы их использования в шпиндельных узлах станков и обеспечения высокой эксплуатационной надежности требуют дальнейших теоретических и экспериментальных исследований.

Литература

1. Журавлев Ю.Н. Экспериментальный электромагнитный подшипник. — В кн.: Материалы конференции «Наука на службе повышения качества и надежности». Псков: НТО Машпром. 1979, с. 72—78.

2. Бушуев В.В., Чернусь Г.В. Экспериментальное исследование электромагнитных опор для высокоскоростных роторов. «Станки и инструмент», 1993, №2. с.26-28.

Силантьев А.С., Галанин С.С.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
ppdsio@yandex.ru*

Возможности наплавки высоко-углеродистых сталей ответственных деталей машин аустенитным присадочным материалом в среде инертных газов

При длительной эксплуатации автомобилей возникает износ деталей, что приводит к ухудшению их работы. Качество производимых изделий и выполняемых работ также страдает от этого. Часто требуется полная замена изношенных рабочих поверхностей деталей, что увеличивает себестоимость производства из-за высоких амортизационных отчислений. В ряде случаев использование износостойкой легированной стали для изготовления деталей целиком не является рациональным решением из-за сложностей обработки и высокой стоимости материала.

Для решения проблемы улучшения эксплуатационных характеристик и продления срока службы деталей в машинах применяются различные методы поверхностного упрочнения, включая наплавку. Наплавка нашла широкое применение в производстве разнообразных изделий, начиная от крупногабаритных, таких как валки прокатных станов в металлургии, и заканчивая мелкими деталями, такими как седла и клапаны двигателей внутреннего сгорания. Этот метод позволяет улучшить эксплуатационные характеристики деталей и увеличить их срок службы.

Возможности наплавки высокоуглеродистых сталей ответственных деталей машин аустенитным присадочным материалом в среде инертных газов являются широко применяемым методом в области металлообработки. Этот метод предоставляет возможность восстановления поврежденных деталей или укрепления существующей конструкции, обеспечивая высокую прочность и стойкость к износу.

Аустенитные присадочные материалы, такие как нержавеющая сталь или сплавы на основе железа, обладают высокой коррозионной стойкостью и хорошей свариваемостью. Они способны придать восстановленным или укрепленным деталям необходимые свойства, такие как повышенная твердость, прочность и стойкость к износу.

Для проведения наплавки в среде инертных газов используется инертная атмосфера, которая предотвращает окисление и неблагоприятное воздействие атмосферных компонентов на сварочный шов. Обычно применяются такие инертные газы, как аргон или гелий, которые не взаимодействуют с расплавленным металлом и создают стабильную среду для сварочного процесса.

Эффективная наплавка высокоуглеродистых сталей аустенитным присадочным материалом в среде инертных газов требует тщательной подготовки поверхности детали, правильной настройки сварочного оборудования и контроля температуры во время сварки. Кроме того, необходимо учесть металлургические особенности высокоуглеродистых сталей и выбрать присадочный материал, обеспечивающий необходимые свойства и структуру сварного соединения.

Соловьев Д.Л., Богатырев И.Б., Федько С.С.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
oid@mivlgu.ru*

Повышение прочности деталей зубчатых передач

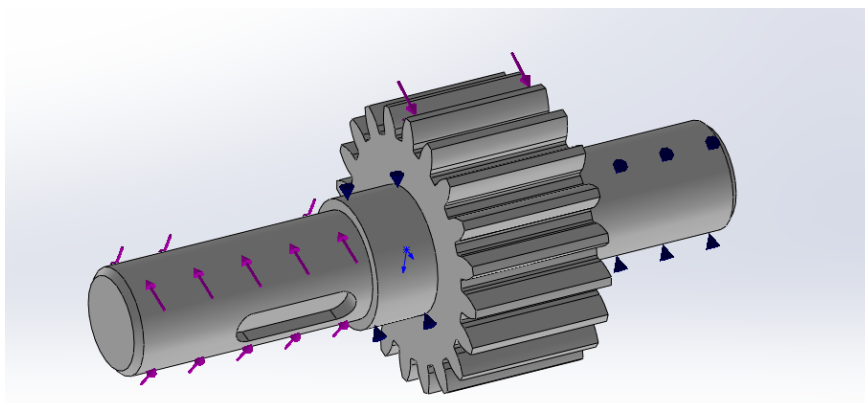
Для передачи движения вращения в технике широко применяются зубчатые зацепления, деталями которых являются валы-шестерни. Особенностью таких деталей является сложная схема их нагружения во время работы зубчатого механизма, поскольку нагрузку испытывают одновременно поверхности зубьев, посадочные места под подшипники и места под посадку зубчатых колес, шкивов и др. Как правило, для изготовления таких деталей используются высокопрочные стали и различные способы упрочняющей обработки, которые позволяют повысить их ресурс. Одними из наиболее распространенных способов упрочнения деталей зубчатых передач являются термическая обработка (ТО) (закалка с последующим отпуском) и химико-термическая обработка (ХТО), в частности цементация, которая заключается в поверхностном диффузионном насыщении стали углеродом при температуре 850-950 °С в течении нескольких часов и последующей ТО [1-4].

Используя систему прочностного анализа Solidworks Simulation, были проведены исследования на прочность детали «Вал шестерня» после упрочнения ТО и ХТО.

Система Solidworks Simulation – это полнофункциональное решение для инженерных расчетов и анализа, полностью интегрированное в рабочую среду SOLIDWORKS. Оно помогает быстрее выводить изделия на рынок, экономить средства и поддерживать высокое качество продукции. С SOLIDWORKS Simulation могут работать не только специалисты по расчетам, но и конструкторы. С помощью Solidworks Simulation можно прогнозировать поведение изделия в реальной эксплуатации. Для этого цифровая САПР-модель анализируется методом конечных элементов (МКЭ). Можно проводить линейный статический, нелинейный статический и динамический анализ [5].

Исходными данными для расчета прочности являются напряженно-деформированные состояния, возникающие при эксплуатации детали «Вал-шестерня».

В результате установлено, что наиболее опасным участком такой детали будет место перехода от вала к шестерне, а также участок со шпоночным пазом под посадку зубчатых колес или шкивов.



а)

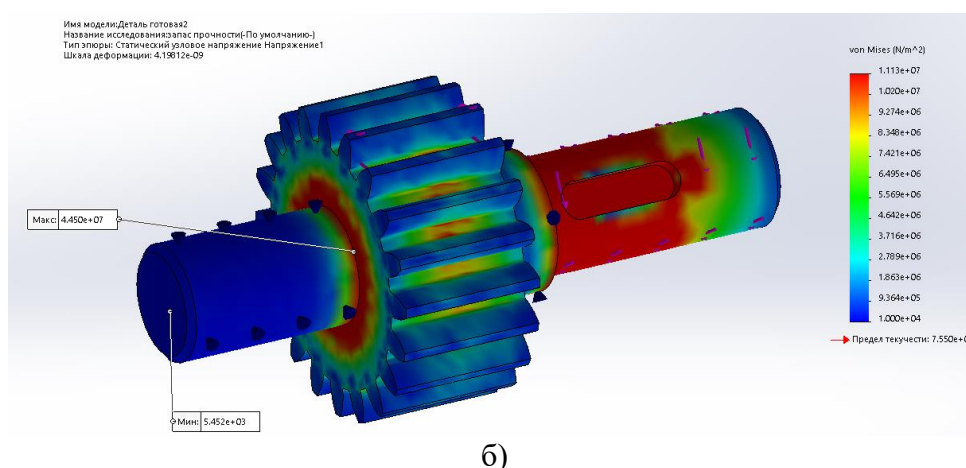


Рис. 1. Результаты расчета на прочность:
а – схема асположения скользящих опор и нагрузок
б – эпюра напряжений

В результате проведенных исследований установлено, что после упрочнения ТО минимальный запас прочности детали «Вал-шестерня» составляет 1,3, а при упрочнении ХТО – 1,7. следовательно, применение ХТО позволяет повысить прочность относительно ТО на 24%.

Литература

1. Козловский, А.Э. Термическая обработка углеродистых сталей: учебное пособие / А.Э. Козловский, М.Ю. Колобов; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2017. – 144 с.
2. Теория и практика термической обработки металлов: учебно-методическое пособие к мультимедийному изданию / О.В. Чудина, Г.В. Гладова, А.В. Остроух. – М.: МАДИ, 2013. – 64 с.
3. Румянцева, К.Е. Термическая и химико-термическая обработка: учеб. пособие / К.Е. Румянцева; Иван. гос. хим. – технол. ун-т. – Иваново, 2015. – 103 с.
4. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник. Борисенок Г.В., Васильев Л.А, Ворошнин Л.Г и др. М.: Металлургия, 1981. 242 с.
5. <https://www.solidworks.com/ru/product/solidworks-simulation> [Электронный ресурс] // (Дата обращения: 29.12.2023)

А.В. Яшин

*Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
armitr@yandex.ru*

Повышение эксплуатационных характеристик стали при комбинированном упрочнении

Реальный ресурс работы машин и механизмов в значительной степени определяется долговечностью наиболее нагруженных ответственных деталей, при изготовлении которых необходимо особое внимание уделять упрочняющей обработке.

На сегодня термическая обработка (ТО), являясь основным способом упрочнения сталей, позволяет в значительной степени повышать их исходную твердость, при этом технологический ресурс ТО может быть значительно увеличен при использовании дополнительных упрочняющих воздействий. Опираясь на опыт применения предварительной термомеханической обработки (ПТМО) – известного способа упрочнения, использующего комбинированное воздействие предварительным объемным пластическим деформированием (волочение, прокатка и др.) и последующей ТО [1, 2], разработан новый способ комбинированной обработки, при котором сначала производится упрочнение поверхностным пластическим деформированием (ППД), а затем ТО.

Технология комбинированного упрочнения заключается в следующем. Предварительно упрочняемую поверхность заготовки подвергают волновому деформационному упрочнению (ВДУ), формируя наклепанный поверхностный слой. Затем заготовку подвергают закалке с последующим отпуском.

В результате проведенных экспериментальных исследований, установлены взаимосвязи между технологическими режимами обработки ВДУ + ТО, физико-механическими характеристиками и эксплуатационными характеристиками упрочненных сталей.

Установлено, что комбинированная обработка волновым деформационным упрочнением и термообработкой позволяет повысить абразивную износостойкость относительно упрочнения только термообработкой. Так, дополнительное применение предварительного ВДУ перед упрочняющей ТО позволило увеличить абразивную износостойкость образцов из стали 65Г на 15,3 %, а из стали 30ХГСА на 16,1 %. Наилучшие результаты по износостойкости были достигнуты, когда упрочненный поверхностный слой имеет достаточно равномерную структуру, полученной при режимах ВДУ с коэффициентом перекрытия пластических отпечатков 0,8. Образцы из сталей 10ХСНД, 20Х13 и 20ХНМ на исследуемых режимах комбинированной обработки не показали значительного повышения абразивной износостойкости относительно упрочнения только ТО. Однако с учетом того, что на практике детали из стали 10ХСНД не подвергаются упрочняющей обработке, установлено повышение износостойкости образцов на стали 10ХСНД после упрочнения ТО или ВДУ+ТО на 6,3-7,9%.

Литература

1. Бернштейн М.Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов (в 2-х томах) – М.: Металлургия, 1968. – 1172 с.
2. Ивашко В.С., Буйкус К.В., Саранцев В.В. Современные технологии при восстановлении узлов и деталей автомобилей – Минск: Изобретатель, 2011. – 279 с.

Яшин А.В., Лупанов А.В.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
armitp@yandex.ru*

Методика восстановления и упрочнения рабочих поверхностей подшипников

Методы восстановления подшипников имеют свои плюсы и минусы, которые необходимо учитывать при выборе наиболее подходящего метода для конкретной ситуации. Например, метод наплавки и метод сварки требуют высокой квалификации рабочих, а метод напыления и метод химического осаждения требуют специального оборудования.

Однако, все методы восстановления позволяют значительно увеличить срок службы посадок под подшипники и снизить затраты на ремонт и обслуживание оборудования. При правильном выборе метода и его качественном выполнении можно добиться высокой прочности и долговечности восстановленных посадок.

Таким образом, выбор метода восстановления подшипников зависит от многих факторов, таких как тип повреждения, материал детали, требования к прочности и долговечности восстановленных посадок, доступность оборудования и квалификация рабочих. При правильном выборе метода и его качественном выполнении можно значительно увеличить срок службы оборудования и снизить затраты на его ремонт и обслуживание.

Для построения теоретической модели выделены следующие параметры:

- тип повреждения посадки под подшипник;
- материал детали;
- требования к прочности и долговечности восстановленных посадок;
- доступность оборудования и квалификация рабочих.

На основе выделенных свойств разработана модель предмета исследования в виде системы параметров, которая включает следующие зависимые и независимые переменные:

- тип повреждения посадки под подшипник (независимая переменная);
- материал детали (независимая переменная);
- требования к прочности и долговечности восстановленных посадок (независимая переменная);
- метод восстановления подшипника (зависимая переменная);
- эффективность восстановления подшипника (зависимая переменная).

Для выбора наиболее эффективных методов восстановления подшипников был проведен анализ существующих методов, который позволил выявить их плюсы и минусы. На основе этого анализа были выбраны наиболее эффективные методы восстановления подшипников, которые были применены на практике для восстановления поврежденных посадок.

Оценка эффективности выбранных методов восстановления подшипников была проведена на примере конкретных случаев. Для этого были выбраны различные детали с поврежденными посадками под подшипники, которые были восстановлены выбранными методами. После восстановления была проведена оценка прочности и долговечности восстановленных посадок, которая показала высокую эффективность выбранных методов.

Результаты эксперимента показывают, что определенные методы упрочнения значительно снижают скорость износа посадок под подшипники. Эти данные коррелируют с теоретическими положениями о влиянии механических и термических свойств материалов на износостойкость. Эксперимент также косвенно подтвердил, что регулярное обновление смазки и контроль рабочих параметров способны значительно продлить срок службы посадочных мест.

В рамках эксперимента проводилось непрерывное наблюдение за процессом износа с помощью специализированных датчиков и камер, что позволило получить дополнительную статистическую информацию и выявить нелинейную динамику процесса износа, связанную с

изменением состояния материала в процессе эксплуатации. Результаты эксперимента показали, что предпочтительным является метод лазерного напыления.

Экономическое обоснование в пользу лазерного напыления включает в себя не только стоимость услуг, но также экономию на замене всего подшипника и возможность продления срока службы оборудования без необходимости полной замены всех деталей.

Яшков В.А.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
Zirjd@mail.ru*

Обратный инжиниринг в современных условиях

Обратный инжиниринг - это процесс анализа и воссоздания существующей системы, продукта или компонента с целью понять принципы его работы, обнаружить недостатки или даже создать улучшенную версию. В современных условиях обратный инжиниринг приобретает все большую актуальность по следующим причинам:

1. Защита интеллектуальной собственности: Обратный инжиниринг позволяет обнаружить и проанализировать технологии, использованные при создании продукта, что может быть полезным для защиты интеллектуальной собственности.

2. Усовершенствование технологий: Обратно-инжиниринговые проекты могут быть использованы для улучшения существующих технологий, выявления потенциальных недостатков и устранения их до того, как продукт попадет на рынок.

3. Понимание инноваций: Исследование принципов работы инновационных продуктов может помочь компаниям лучше понимать и использовать новые технологии, а также предсказывать будущие тенденции и возможности.

4. Противодействие контрафактной продукции: Обратный инжиниринг также может быть использован для борьбы с контрафактными товарами, позволяя выявлять поддельные продукты и определять способы их производства.

5. Импортозамещение: В условиях экономических санкций или ограничений, обратный инжиниринг может стать ключевым инструментом для создания аналогов зарубежных продуктов и технологий.

Однако стоит отметить, что обратный инжиниринг требует профессиональных навыков, а также этических и правовых стандартов.

Обратный инжиниринг является важным инструментом для импортозамещения, поскольку он позволяет изучить и воспроизвести зарубежные продукты и технологии, чтобы заменить их отечественными аналогами. Это особенно актуально, когда доступ к иностранным технологиям и компонентам может быть затруднен или невозможен.

Тем не менее, обратный инжиниринг не является легким процессом и требует значительных ресурсов, включая квалифицированный персонал, оборудование и доступ к исходным данным.

Рассмотрим применение обратного инжиниринга на примере воздуховода котельной установки рисунок 1.



Рис. 1 Воздуховод котельной установки

Как видно на рисунке в ходе эксплуатации происходит сильное разрушение правой части воздуховода. Приобретение новых деталей из-за секционных ограничений невозможно. Было принято решение используя компас 3D, методы обратного инжиниринга и аддитивные технологии воссоздать данную запасную деталь.

В CAD системе компас 3D используя метод сечений была построена 3D модель разрушенной части изделия рисунок 2.

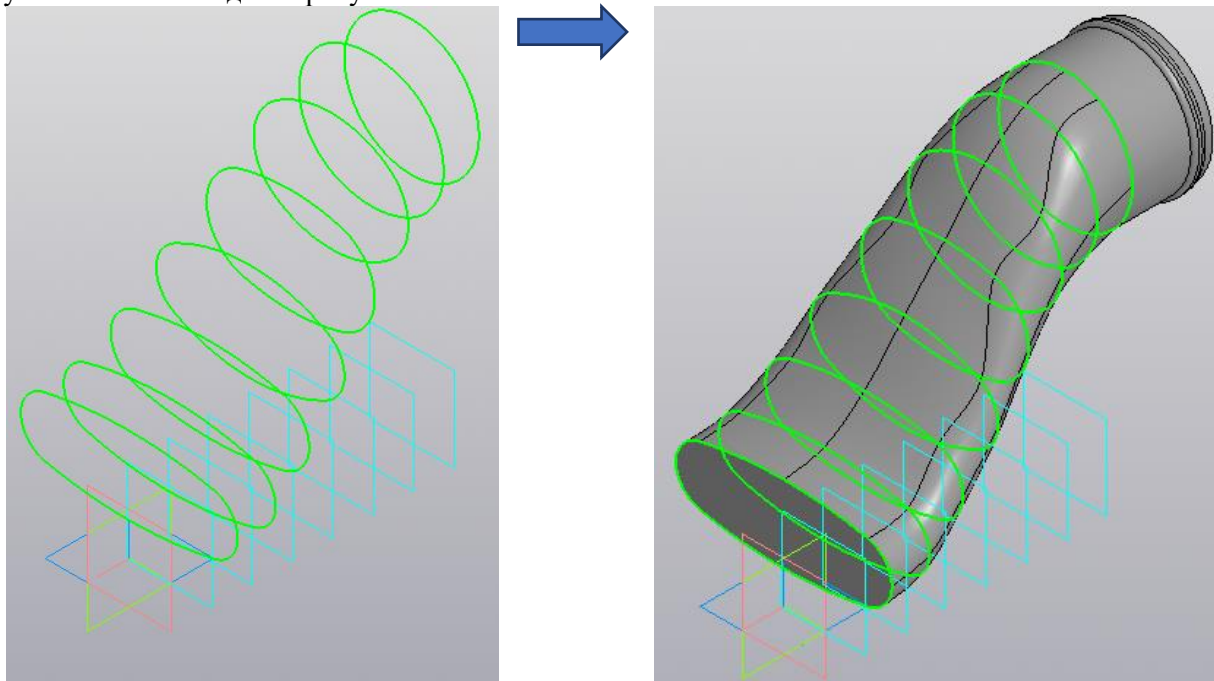


Рис. 2 Метод сечений для построения 3D модели разрушенной части изделия

С помощью аддитивных технологий на 3D принтере была напечатана построенная модель рисунок 3.





Рис. 3 Напечатанная 3D модель

Таким образом, инструменты обратного инжиниринга и аддитивные технологии являются важным компонентом для импортозамещения и, позволяют создавать точные копии существующих продуктов. Одним из примеров их использования является создание аналогов зарубежных деталей и компонентов для различных отраслей промышленности и народного хозяйства.

Литература

1. Донсков, А. С. Основы инженерного творчества : учебное пособие / А. С. Донсков. — 2-е изд. — Пермь : Пермский государственный технический университет, 2009. — 225 с. — ISBN 978-5-88151-755-7. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/105494.html>
2. Малышевская, Л. Г. Основы моделирования в среде автоматизированной системы проектирования «КОМПАС 3D» : учебное пособие / Л. Г. Малышевская. — Железногорск : Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. — 72 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/66916.html>