

Баринов С.В., Шестопапов Д.М., Павлушин А.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
box64@rambler.ru*

Влияние волнового деформационного упрочнения на коррозионную стойкость конструкционных сталей и их сварных соединений

Волновое деформационное упрочнение (ВДУ) является перспективным методом поверхностного пластического деформирования, позволяющим управлять свойствами поверхностного слоя металлов. Однако его влияние на коррозионное поведение, особенно сварных соединений, изучено недостаточно. Целью работы являлось исследование влияния ВДУ на коррозионную стойкость конструкционных сталей (45, 10ХСНД, 09Г2С) и их сварных швов, а также определение оптимальных параметров обработки.

Исследование проводилось на образцах из листового проката, включая сварные соединения, выполненные полуавтоматической сваркой. ВДУ осуществлялось с двумя коэффициентами перекрытия отпечатков: $K=0,3$ и $K=0,6$. Коррозионные испытания проводились в соляном тумане с оценкой потери массы. Микроструктура анализировалась с помощью оптической микроскопии и программного комплекса Thixomet Pro, микротвердость измерялась методом Виккерса.

Результаты показали, что влияние ВДУ на коррозионную стойкость существенно зависит от химического состава стали и наличия сварного шва. Для низколегированной стали 09Г2С в основном металле упрочнение со степенью 21% ($K=0,3$ и $K=0,6$) привело к незначительному снижению коррозионных потерь на 1,4–2,7% за счет измельчения зерна. В сварных соединениях этой стали оптимальный эффект (снижение потерь на 28%) достигнут при степени упрочнения 45% ($K=0,3$), тогда как увеличение степени до 52% ($K=0,6$) вызвало рост потерь на 12% из-за структурных нарушений.

Для углеродистой стали 45 даже умеренное упрочнение ($K=0,3$, степень 7%) в основном металле привело к росту коррозионных потерь на 55,6%. В сварных швах негативный эффект был выражен сильнее: при степени упрочнения 30% ($K=0,3$) потери возросли, а при 72% ($K=0,6$) – увеличились на 35% относительно исходного уровня, что связано с высокой чувствительностью столбчатой структуры шва к деформации.

Наибольшую устойчивость продемонстрировала низколегированная хромсодержащая сталь 10ХСНД. В основном металле упрочнение с $K=0,6$ (степень 35%) снизило коррозионные потери на 22%. В сварных соединениях оптимальным оказался режим с $K=0,3$ (степень упрочнения 45%), обеспечивший снижение потерь на 38%. Превышение степени упрочнения до 56% ($K=0,6$) привело к частичному ухудшению результата.

Проведенные исследования позволили установить, что ключевым фактором, определяющим эффективность ВДУ для повышения коррозионной стойкости, является химический состав стали, в частности наличие легирующих элементов, таких как хром. Полученные данные свидетельствуют о необходимости дифференцированного подхода к выбору параметров упрочнения не только для разных марок сталей, но и для основного металла и сварных соединений в рамках одной марки. Для сварных швов критические степени деформации, превышение которых ведет к ухудшению свойств, оказываются ниже, чем для основного металла.

Таким образом, волновое деформационное упрочнение может быть рекомендовано для повышения коррозионной стойкости легированных конструкционных сталей. Однако для достижения положительного эффекта необходим строгий контроль технологических параметров с учетом состава материала и особенностей его структуры (сплошной металл или сварное соединение).

Литература

1. Повышение энергетической эффективности волнового деформационного упрочнения поверхностного слоя деталей моделированием напряженно-деформированного состояния элементов ударной системы и очага деформации / А. В. Киричек, С. В. Баринов, А. В. Яшин // Справочник по процессам поверхностного пластического деформирования / под ред. С. А. Зайдеса. – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2022. – С. 30–50.
2. Киричек А.В., Баринов С.В., Григорьева Н.А. [и др.] Коррозионное поведение конструкционных сталей и их сварных швов после волнового деформационного упрочнения // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2025. – Т. 21, № 10(250). – С. 439-445.
3. Revie R.W., Uhlig H.H. Corrosion and corrosion control. 4th ed. Hoboken: Wiley, 2008. 493 p.
4. Malaki M., Ding H. A review of ultrasonic peening treatment // Journal of Materials Science. 2015. Vol. 50, № 7. P. 2233-2246

Борисова Е.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
armitp@yandex.ru*

Механика контактного разрушения подающих роликов

Одну из групп технологических машин представляют пружинонавивочные автоматы с высоконагруженным локальным контактом в месте соприкосновения подающих роликов с проволокой. Применение таких автоматов показало недостаточную долговечность контактной поверхности роликов.

Микроскопическим исследованием поверхностных повреждений на роликах выявлено наличие микрорисок и следов сдвига, образованных исключительно в результате пластической деформации от сжимающего и сдвигового воздействия особо твердыми микровыступами, образовавшимися на поверхности проволоки в момент взаимодействия ролика с проволокой. В процессе работы, нагруженные поверхностные слои ролика и проволоки в зоне контакта испытывают комбинированную деформацию за пределами упругости материалов.

Моделирование контакта осуществлялось для геометрических и прочностных условий контакта единичного среднестатистического микровыступа на проволоке с материалом ролика. Контакт микровыступа на проволоке с роликом моделировали контактом жесткого тела правильной формы с изотропным жесткопластическим полупространством.

При рассмотрении напряженно-деформированного состояния полупространства использовалось условие плоского деформированного состояния. В расчетах применялся метод баланса работ пластической деформации при проскальзывании.

Решение уравнения баланса работ с использованием выражений работы деформации материала, и работы удельной силы трения, математических преобразований с использованием условия постоянства объема при пластической деформации, закона Зибеля и условия пластичности Треска позволило получить уравнение в начале пластического течения в условиях комбинированного нагружения нормальным и касательным напряжениями. Преобразования уравнения равновесия с учетом соотношений между параметрами контакта и напряжения сжатия позволило получить выражение для давления начала текучести, объединяющей ряд изменяемых контактных параметров, таких как показатель силы трения, угол контакта, глубина внедрения микровыступа, а также глубина расположения пластической зоны, т.е. $q_T = f(\mu, \alpha, a, h)$.

Полученное решение дает возможность проектирования по критерию работоспособности, прогнозирования долговечности контактных пар скольжения, кроме того позволяет дать оценку конструктивных и эксплуатационных параметров. Результаты расчетов оказались идентичны результатам лабораторных экспериментов, проведенных на изнашивание, а также испытаниям в производственных условиях.

Литература

1 Зелинский В.В. О механике контактного разрушения подающих роликов пружинонавивочных автоматов / В.В. Зелинский, Е.А. Борисова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2023.- Т. 25, № 2.- С. 69-77.

Волченков А.В.

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

Влияние улучшения качества поверхности на срок службы зубчатых колес

Покрытия и процессы финишной обработки - это технологии для повышения несущей способности закаленных зубчатых колес. С помощью стандартных испытаний обычно изучается влияние различных покрытий и процессов финишной обработки на долговечность и устойчивость к износу, задирам, микро- и макрорывкрашиванию. В данной работе проводятся исследования зубчатых колес с покрытием в различных механических передачах. Зубчатые колеса с покрытием использовались для устранения поверхностных дефектов зубчатых колес. Будущее применение таких технологий, видимо, будет зависеть от подтвержденных подобных испытаний и будет выбрано, если эти технологии будут надежными и экономически эффективными.

Развитие трансмиссий транспортных средств характеризуется постоянным повышением крутящего момента и мощности, облегчением конструкций, увеличением долговечности, повышением эффективности и ужесточением требований к уровню шума. За последнее время возможности, предоставляемые традиционными технологиями для их совершенствования, были использованы в полной мере. Будущие технологии для повышения нагрузочной способности рабочих поверхностей зубчатых колес зависят от покрытий и/или процессов финишной обработки. Однако эти технологии все еще недостаточно изучены. Чтобы оценить их потенциал для оптимизации с точки зрения грузоподъемности и долговечности зубчатых передач, нами проводятся ряд исследований.

Состояние смазки боковых поверхностей зубчатых колес, находящихся в зацеплении, характеризуется смешанным трением и гидродинамической смазкой. На это в значительной степени влияют условия эксплуатации, смазочный материал, геометрия зубчатого колеса и характеристики поверхности. При низкой скорости вращения возникает смешанное трение, а при более высокой скорости вращения может образовываться эластогидродинамическая пленка смазки.

Нанесение покрытия на поверхность не меняет контур поверхности. Трение происходит на некоторых участках шероховатости как на поверхностях без покрытия, так и на покрытых пленкой. Покрытие представляет собой специально нанесенный слой для защиты поверхности и получения благоприятных характеристик трения и приработки. Обработанные поверхности разделены смазочной пленкой и при трении в основном происходит ее сдвиг. Во всех этих случаях наиболее существенным является характеристика поверхностного слоя, реагирующего на трение. Форма этого слоя зависит от смазочного материала, состояния поверхности и химических реакций. Это также влияет на характеристики трения. Установлено, что с увеличением трения максимальное подповерхностное напряжение перемещается ближе к поверхности и, следовательно, способствует возникновению поверхностных усталостных повреждений, таких как микро- и макрорывкрашивание.

Несущая способность боковой поверхности зубчатого колеса определяется рядом факторов. В дополнение к механической обработке материалов, термообработке, корректировке геометрии зубчатого колеса и смазке, они включают процедуры обработки поверхности, такие как нанесение покрытий и чистовая обработка. Обычно, покрытия для зубчатых колес представляют собой слои, используемые для улучшения ходовых качеств и повышения стойкости к истиранию. В первую очередь это касалось фосфатирования. Для окончательной обработки зубчатых колес и шлицев применяются различные виды шлифования, хонингования и суперфиниширования. Полученные результаты исследований, в основном посвящены нанесению PVD-покрытий и химически ускоренной суперфинишной обработке.

Карпов А.В., Зайцев А.А.

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

Удельная энергоёмкость стружкообразования как критерий адаптивного управления процессом резания на станках с ЧПУ

В современных условиях автоматизированной обработки резанием заготовок из конструкционных сталей на металлорежущих станках с ЧПУ актуальной задачей является повышение точности, производительности и энергоэффективности технологических процессов. Большинство применяемых на практике систем ЧПУ не позволяет в течение рабочего хода отслеживать и компенсировать колебания фактических технологических условий, таких как изменение припуска, неоднородность материала, затупление инструмента. Это приводит к необходимости периодической ручной коррекции управляющей программы, увеличению штучного времени, простоя оборудования. Известные подходы к адаптивному управлению процессом резания, основанные на контроле силы резания, мощности или вибраций, часто носят локальный характер и не учитывают комплексную взаимосвязь энергетических, геометрических и динамических параметров системы резания.

В качестве интегрального физического критерия адаптивного управления предлагается показатель удельной энергоёмкости стружкообразования (удельной работы резания) e . Данный показатель представляет собой количество энергии, затрачиваемой на пластическое деформирование и отделение в виде стружки единицы объёма обрабатываемого материала. Его преимущество заключается в наличии устойчивых корреляционных связей с широким спектром факторов, характеризующих обработку в реальном времени:

- фактическими значениями физико-механических свойств обрабатываемого материала;
- номинальными параметрами и фактическим состоянием режущего инструмента;
- фактическими параметрами срезаемого слоя и элементами режима резания;
- фактическим минутным съёмом стружки;
- мгновенной мощностью резания, её нестабильностью в течение рабочего хода.

Минимизация показателя e соответствует режиму, при котором достигается максимальная энергетическая эффективность обработки — минимальные затраты энергии на единицу стружки [1].

Эксперименты, проведённые для различных марок сталей группы ISO-P, подтвердили высокую информативность этого показателя. Установлено, что величина e устойчиво связана с коэффициентом обрабатываемости $K_{обр}$, который может быть рассчитан как отношение удельной работы резания $e_{эт}$ эталонного материала (например, стали 45) к удельной работе резания e соответствующего материала. Это позволяет оперативно, без проведения трудоёмких длительных стойкостных испытаний, оценивать обрабатываемость конкретной партии стальных заготовок с учётом возможного разброса их свойств.

Полученные теоретико-эмпирические выражения для обобщённого показателя e , учитывающего геометрию операции (продольное или поперечное точение), подтверждают комплексную зависимость удельной энергоёмкости от всех перечисленных факторов. Эти выражения служат аналитической основой для построения математических моделей в системах адаптивного управления процессом резания на станках с ЧПУ.

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). [iew?id=38031](http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=38031) (дата обращения: 03.01.2026).

Карпов А.В., Зайцев А.А.

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

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ НА ОСНОВЕ ФИЗИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ И АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Повышение энергетической эффективности обработки материалов резанием представляет одну из ключевых задач современного машиностроения, прямо влияющую на себестоимость продукции и конкурентоспособность предприятий. В условиях растущих требований к ресурсосбережению традиционные экономические критерии оптимизации, подверженные конъюнктурным колебаниям, оказываются недостаточно объективными. В качестве альтернативы предлагается физически обоснованный подход, основанный на энергетических закономерностях процесса резания, который позволяет перейти к созданию ресурсосберегающих технологий на принципиально новой основе.

Ядром предлагаемой методологии является критерий энергетической эффективности стружкообразования, представляющий собой отношение удельной энергоёмкости обрабатываемого материала к удельной работе резания [1]. Этот безразмерный показатель, по своей сути являющийся «энергетическим КПД» процесса, связывает полезную энергию, необходимую для разрушения единицы объёма материала, с фактическими удельными энергозатратами. Его стремление к максимуму одновременно соответствует и условию минимума обобщённых стоимостных затрат, и требованию максимальной производительности обработки, что обеспечивает комплексный технико-экономический эффект.

Удельная энергоёмкость материала определяется в зависимости от преобладающего механизма его разрушения (пластическое течение, хрупкий отрыв) и типа стружки. Для пластичных материалов она рассчитывается через работу касательных напряжений сдвига, для хрупких – через работу нормальных напряжений отрыва, а для высокоскоростных и чистовых переходов обработки может быть выражена через энтальпию плавления. Удельная работа резания, в свою очередь, определяется как отношение мощности, затрачиваемой в зоне резания, к производительности процесса, причём учёт циклического характера изменения мощности во времени существенно повышает точность оценки [2].

Процедура оптимизации сводится к поиску такого сочетания управляемых технологических параметров (геометрии и материала инструмента, глубины резания, подачи и скорости), при котором критерий энергетической эффективности достигает максимального значения при обязательном выполнении всей системы технических ограничений. К последним относятся требования по точности и шероховатости поверхности, стойкости инструмента, мощности привода станка, а также прочностные и деформационные ограничения для инструмента [3].

Для практической реализации этого поиска разработан алгоритм, воплощённый в виде специализированного программного комплекса. Программа производит расчёт для множества комбинаций параметров инструмента и режимов резания, отбирая варианты, удовлетворяющие ограничениям, и определяя среди них оптимальный по критерию наибольшей энергоэффективности. Внедрение алгоритма показало возможность снижения энергозатрат на 18–22% для типовых операций точения, фрезерования и отрезки заготовок из конструкционных сталей при сохранении качества обработанной поверхности и производительности.

Для поддержания высокой эффективности в условиях реального производства, характеризующегося разбросом свойств материала и износом инструмента, предложена концепция адаптивного управления процессом обработки конструкционных материалов на станках с ЧПУ. Её ключевым параметром выступает удельная работа резания, которая может контролироваться в режиме реального времени через измерение мощности на шпинделе и

подсчёт мгновенного значения минутного съёма материала. Система сравнивает текущее значение с оптимальным эталонным и вносит корректировки в управляющие воздействия (например, в скорость резания, подачу, толщину стружки, активную длину режущей кромки, а в перспективе - в геометрические параметры режущей части инструмента), стремясь стабилизировать процесс стружкообразования в наиболее энерго-экономичном состоянии. Такой подход позволяет существенно повысить стабильность обработки и отказаться от избыточных запасов по режимам.

Дополнительным практическим преимуществом является использование показателя удельной работы резания для экспресс-оценки обрабатываемости материалов. Метод даёт результаты, хорошо согласующиеся с данными классических стойкостных испытаний, но при этом требует значительно меньше времени и средств, что особенно актуально в условиях серийного производства деталей из номинально однотипных заготовок.

Предложенный комплексный подход, включающий новый физический критерий оптимизации, алгоритм параметрического поиска и принципы адаптивного управления, формирует научно-техническую основу для существенного снижения ресурсоёмкости процессов механической обработки. Перспективы его развития связаны с распространением на новые высокопроизводительные способы резания, интеграцией в системы цифрового проектирования технологических процессов и созданием интеллектуальных систем управления станками, способных самостоятельно поддерживать режим максимальной энергетической эффективности стружкообразования.

Литература

1. 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: 06.01.2026).

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. 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: 06.01.2026).

Никитина Л.Г.

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

Опоры скольжения шпиндельных узлов станков

В качестве опор шпинделей токарных станков все чаще используются гидростатические подшипники (ГСП). ГСП обеспечивают высокую точность вращения, обладают высокой демпфирующей способностью, имеют практически неограниченную долговечность, высокую нагрузочную способность при любой частоте вращения.

Принцип действия гидростатического подшипника основан на том, что при прокачивании масла под давлением от внешнего источника через зазоры между сопряженными поверхностями в зазоре образуется несущий масляный слой. Потоки масла, увлекаемые валом при его вращении, влияют на нагрузочные характеристики ГСП. Это влияние объясняется тем, что при эксцентричном расположении вала во втулке от действующих сил, изменяется давление в несущих карманах из-за разности потоков, вовлекаемых в карманы и выкачиваемых из них.

Вышеназванные особенности работы ГПС оказывают максимальное влияние на работу шпиндельного узла. Так, например, при экспериментальных исследованиях шпиндельной бабки горизонтально-расточного станка, установлено, что при скорости вращения равной

17 м/с ненагруженного шпинделя диаметром 240 мм, падение давления в карманах опоры достигло 70% от номинального. При этом несущая способность масляного слоя в опоре понижается настолько, что шпиндельный узел оказывается практически неработоспособным[1]. В данном случае определяющее влияние на величину давления в карманах оказывает насосный эффект. Особенность его проявления заключается в том, что в зависимости от направления вращения давление уменьшается (или увеличивается) на одинаковую величину в противоположных карманах опоры.

Для обеспечения стабильности эксплуатационных параметров опор независимо от насосного эффекта наиболее эффективным является использование адаптивного управления системой питания АУСП ГСП, основанного на принципе обратной связи по среднему давлению в каждой паре противоположных карманов с независимой регулировкой сопротивлений дросселей в этих потоках.

Использование АУСП ГСП шпиндельных узлов позволяет:

- обеспечить возможность применения дросселей с турбулентным режимом истечения масла, имеющих меньшие габариты и повышенные нагрузочные характеристики;
- улучшить условия теплоотвода за счет увеличения расхода масла через опору(или прокачки охлажденного масла);
- увеличить технологические допуски на изготовление деталей гидростатического подшипника, т.к. установление оптимального давления в карманах не зависит от зазора в опоре;
- увеличить несущую способность масляного слоя опор в среднем на 15% по сравнению с традиционной дроссельной системой питания.
- увеличить жесткость масляного слоя опор до 30% в диапазоне рабочих эксцентриситетов ($\varepsilon < 0.5$);
- снизить температуру нагрева опоры, а тем самым повысить максимальную частоту вращения шпинделя в заданном диапазоне температур.

Литература

1. Пикалов Я.Ю., Шатохин С.Н. – Адаптивные гидростатические шпиндельные опоры с плавающим регулятором - СТИН, 2005 г, №5.

Силантьев С.А.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
ppdsio@yandex.ru*

Особенности упрочнения деталей из легких сплавов методом статико-импульсного упрочнения

В условиях ужесточения требований к ресурсу и надежности конструкций из легких сплавов актуальным становится развитие комбинированных методов упрочнения, позволяющих преодолеть ограничения традиционных технологий. Статико-импульсное упрочнение представляет собой метод, заключающийся в синхронном приложении к обрабатываемой поверхности статического давления и кратковременного импульсного воздействия высокой энергии.

Предварительное статическое давление создает в материале начальное поле напряжений и определенную плотность дислокаций, переводя поверхностный слой в состояние, близкое к пределу текучести. Последующее импульсное воздействие вызывает высокоскоростную пластическую деформацию в этом предварительно подготовленном объеме.

Ключевой особенностью является изменение порога и характера развития пластического течения. В легких сплавах это выражается в формировании не хаотичной сетки дислокаций, а предельно насыщенной, но упорядоченной ячеистой структуры с размерами субзерен, приближающимися к нанометрическому уровню. Статическая составляющая препятствует релаксации дефектов структуры, генерируемых импульсом, и способствует образованию стабильной градиентной структуры с плавным изменением свойств от поверхности вглубь материала.

Эффективность метода для легких сплавов обусловлена возможностью тонкой настройки параметров под их специфические свойства – низкий модуль упругости, высокую скорость диссипации энергии и склонность к адгезии. При обработке алюминиевых сплавов статическое давление позволяет подавить образование грубых сдвигов и задигов, которые могут возникать при чисто ударном воздействии, обеспечивая высокое качество поверхности. Для титановых сплавов, обладающих высоким сопротивлением деформации, предварительное статическое нагружение облегчает инициирование и распространение пластической деформации от импульса, позволяя достигать значительной глубины упрочненного слоя без риска возникновения микротрещин.

Важнейшей технологической особенностью является возможность раздельного пространственного управления параметрами. Статическая нагрузка может быть приложена к большой площади, в то время как импульсное воздействие осуществляется локально, сканируя поверхность. Контролируя соотношение статического и импульсного компонентов, можно целенаправленно формировать профиль остаточных напряжений, смещая его максимум в заданную подповерхностную зону, наиболее критичную с точки зрения усталостного разрушения конкретной детали.

Усталостная прочность деталей, особенно в условиях низкоциклового нагружения, повышается на 70-120% за счет эффективного блокирования зарождения трещин в упрочненном подповерхностном слое, где располагаются максимальные касательные напряжения. Износостойкость возрастает в результате значительного роста поверхностной твердости при сохранении вязкой сердцевины, что важно для пар трения. Также наблюдается существенное повышение сопротивления коррозионному растрескиванию под напряжением, так как благоприятный профиль сжимающих напряжений затрудняет раскрытие трещин и доступ агрессивной среды к их вершине.

Тутынин А.В.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Корнеев В.А.

*Общество с ограниченной ответственностью «ОК «Сибшахтострой»,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет»
654007, Кемеровская область - Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, зд. 42.
alex_ytut@mail.ru*

Практические подходы организации системы контроля качества на машиностроительных предприятиях

Система контроля качества машиностроительного предприятия – это комплексная система мер по предотвращению выпуска продукции, не соответствующей требованиям технических условий (ТУ), конструкторской документации (КД), условиям контрактов с потребителями. Наличие данной системы способствует сокращению брака, снижению издержек и повышению удовлетворенности потребителей.

Как правило, система контроля качества на машиностроительном предприятии включает в себя:

- входной контроль (верификация) закупаемых комплектующих изделий и материалов;
- контроль качества в процессе производства (операционный контроль);
- контроль качества готовой продукции.

В качестве методов контроля используются:

- визуальный осмотр – проверка внешнего вида, целостности, маркировки;
- измерительный контроль – проверка геометрических размеров с помощью средств измерения;
- испытания – ультразвуковой контроль металла и сварных швов.

В целях функционирования системы контроля качества на машиностроительных предприятиях формируют отдел технического контроля и лабораторию неразрушающего контроля, не зависящие от производственных подразделений.

Входной контроль (верификацию) осуществляют в сроки, по параметрам (требованиям) и методам, установленным в нормативно-технической документации (ГОСТ, ТУ, КД и др.) на контролируемую закупленную продукцию, условиях договора с поставщиком о приемке продукции.

Входной контроль проводят согласно перечню продукции, подлежащей верификации (входному контролю), разрабатываемому на основе требований ГОСТ на контролируемую продукцию, КД, технологической документации (ТД). К входному контролю допускается закупленная продукция вместе с сопроводительной документацией (паспорт, сертификат качества, сертификат соответствия, декларация о соответствии), удостоверяющей качество и комплектность продукции.

При наличии требований ГОСТ, КД, дополнительно осуществляется оборот проб металла для проведения лабораторных испытаний. Лаборатория должна быть аккредитована либо аттестована на право проведения испытаний в соответствии с требованиями законодательства Российской Федерации.

Результаты входного контроля фиксируются в журнале верификации закупленной продукции, проверенная продукция идентифицируется ярлыками в соответствии с ГОСТ 24279-2013.

Контроль качества в процессе производства (операционный контроль) на машиностроительных предприятиях проводится на следующих технологических операциях:

- выполнение заготовительных операций;
- сборка конструкций;
- сварка конструкций;
- подготовка к окраске;
- проведение окрасочных работ.

Для проведения операционного контроля целесообразно разработать планы качества по каждой из указанных выше технологических операций, включающие указания по: объему продукции, подлежащей контролю; контролируемым параметрам и размерам; применяемым средствам измерения; критериям оценки качества продукции; ведению необходимых записей (журналы, акты, маршрутные карты, паспорта и т.д.).

При операционном контроле проверяются: производимые полуфабрикаты, соблюдение технологических процессов, состояние оборудования и оснастки, измерительного инструмента, наличие КД и ТД на рабочих местах.

Все измерения, проводимые при операционном контроле, выполняются поверенными либо калиброванными средствами измерений.

При контроле качества готовой продукции проверяются: общие габаритные размеры, наличие и соответствие количества монтажных деталей чертежу, наличие и соответствие маркировки ТУ и чертежу.

С целью повышения качества изготовления продукции рекомендуется проводить *контроль соблюдения технологической дисциплины* в производственных подразделениях, при котором проверяют:

- наличие на рабочем (или в специально отведенном, доступном для исполнителя) месте ТД и КД (или утвержденных выписок, фрагментов из ТД и КД), регламентирующих порядок и способы приемки и контроля продукции с предыдущей операции, порядок и способы выполнения технологических и контрольных операций, порядок регистрации результатов выполненных операций и передачи продукции на последующие операции;
- физическое состояние, комплектность и актуальность вышеуказанных документов;
- состояние и соответствие оборудования и оснастки требованиям, указанным в ТД;
- соответствие применяемых материалов, сырья и комплектующих требованиям технологического процесса (наличие бирок, сертификатов и других сопроводительных документов) и правильность их хранения;
- соответствие фактической последовательности выполнения операций и переходов – последовательности, обусловленной технологическим процессом;
- соответствие фактически выполняемых методов, приемов и режимов работы – методам, приемам и режимам, установленным технологическим процессом;
- обеспечение рабочих мест средствами измерения в соответствии с требованиями технологического процесса;
- правильность выполнения операционного контроля;
- соответствие укладки (упаковки) деталей и сборочных единиц установленным требованиям.

Для оценки эффективности существующей на предприятии системы контроля качества можно использовать показатели:

- уровень брака: отношение дефектных изделий к общему объему изготовленных изделий;
- количество рекламаций потребителей: процент продукции, возвращенной потребителями;
- затраты на качество: расходы на устранение несоответствий продукции и др.

Литература

1. **Белый, Е. М.** Управление качеством : учебное пособие / Е. М. Белый, И.Б. Романова – Ульяновск, УлГУ, 2010. – 72 с. – Текст : непосредственный.

2. **ГОСТ 24279-2013.** Верификация закупленной продукции. Организация проведения и методы контроля = Verification of purchased products. Organization and methods of control : межгосударственный стандарт : издание официальное : принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 7 июня 2013 г. № 43) : введен взамен ГОСТ 24297-87: дата введения 01.01.2014 / разработан Открытым акционерным обществом «Всероссийский научно-исследовательский институт сертификации» (ОАО «ВНИИС»). – Москва : Стандартинформ: 2014. – 15 с. – Текст : непосредственный.

Яшков В.А., Яшкова 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
Zirjd@mail.ru*

Теоретические основы формообразования отверстий при шлифовании кругами с радиально-подвижными абразивными сегментами

Повышение геометрической точности и снижение шероховатости обработанных поверхностей остаются актуальными задачами современного машиностроения. Одним из перспективных направлений является применение сборных абразивных инструментов с радиально-подвижными сегментами, способными генерировать высокое давление СОТС (смазочно-охлаждающие технологические средства) в зоне резания. Целью работы является теоретическое обоснование процесса формообразования отверстий при использовании данного инструмента.

Рассмотрены три принципиальные схемы взаимодействия сегмента с заготовкой: при равенстве радиусов режущей поверхности сегмента R_c и отверстия R_3 ; при $R_c < R_3$; при $R_c > R_3$. Сравнительный анализ по критериям механической прочности сегментов, эффективности действия СОТС и качества поверхности показал преимущества второй схемы ($R_c < R_3$). Именно при этой схеме в левом и правом гидродинамических клиньях создается давление СОТС до 1.0 МПа и более, что улучшает условия резания и охлаждения. Напряжённое состояние сегментов при данной схеме является наиболее благоприятным (сжатие), в отличие от третьей схемы, где возникает вредный кромочный эффект.

Для описания геометрии обработанной поверхности разработана модель, представляющая её как совокупность следов (резов) абразивных зерен, аппроксимированных параболой. Модель элементарного режущего профиля (ЭРП) сегмента учитывает разновысотность зерен и их случайное расположение. Последовательное наложение резов от множества зерен, включая их пересечение и поглощение более крупными зернами следов мелких, описывается системой уравнений. В модель введены параметры, учитывающие износ зерен во времени. Полученные уравнения позволяют рассчитать профиль поверхности после обработки одним сегментом и всем кругом в целом.

Теоретически обоснована и рекомендована для практического применения схема внутреннего шлифования, при которой радиус режущей поверхности сегмента меньше радиуса обрабатываемого отверстия ($\frac{R_c}{R_3} = 0.90 - 0.95$). Разработанные математические модели адекватно описывают процесс формообразования и могут быть использованы для прогнозирования шероховатости, волнистости и точности формы при проектировании высокоточных операций шлифования.

Литература

1. А.С РФ № 2182531. МПК В24В1/00 Способ внутреннего шлифования / Д.Р. Блурцян. – Б.И., 2000.
2. Проектирование режущего инструмента. Гречишников В.А., Коротков И.А., Схиртладзе А.Г., Горохов В.А. Учебное пособие.- Москва, Сатурн-С 2003 г.
3. Яшков В.А., Гречишников В.А., Албагачиев А.Ю., Исаев А.В., Пивкин П.М., Романов В.Б. Модернизация сборного абразивного круга с радиально-подвижными сегментами для внутреннего шлифования полых деталей роботов // Вестник МГТУ СТАНКИН. 2015. № 4 (35).
4. Лашнев С. И. Юликов М.И. Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ. – М.: Машиностроение, 1975. – 39 с.
5. Абразивные инструменты для обработки отверстий в деталях робототехнических комплексов Гречишников В.А., Яшков В.А., Пивкин П.М., Романов В.Б., Исаев А.В., Маслов А.Р. СТИН. 2016. № 9. С. 11-14.

Яшков В.А., Яшкова 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
Zirjd@mail.ru*

Экспериментальное исследование и оптимизация процесса шлифования отверстий кругами с радиально-подвижными сегментами

Внедрение новых абразивных инструментов требует экспериментального подтверждения теоретических моделей и разработки практических методик их применения. Целью данной работы являлась экспериментальная верификация математических моделей формообразования и определение оптимальных условий шлифования отверстий кругами с радиально-подвижными сегментами.

Экспериментальные исследования позволили установить характер влияния основных факторов. Увеличение продольной подачи $S_{\text{пр}}$ приводит к росту высоты неровностей Δ_i по криволинейной зависимости. Радиальная подача S_p оказывает незначительное влияние. Ключевым параметром является отношение угловых скоростей $\frac{\omega_z}{\omega_c}$. При противоположном направлении вращения заготовки и инструмента увеличение этого отношения ведёт к существенному снижению Δ_i благодаря росту числа режущих контуров, проходящих через сечение заготовки, и ослаблению влияния центробежной силы. Увеличение центробежной силы Q , массы сегмента m и радиуса центра масс ρ повышает неровности, а увеличение контактной жёсткости системы J и высоты сегментов B – снижает. Для устранения кинематической погрешности формы необходимо соблюдение условия $B = L_z + 2l_{\text{ц}}$.

На основе теоретических и экспериментальных данных разработаны методики расчёта числа сегментов в круге, а также построения операций чернового, чистового шлифования и финишного выхаживания. Чистовое шлифование с последующим выхаживанием при оптимальных условиях ($\omega_z = 94.2 \text{ с}^{-1}$, $\frac{\omega_z}{\omega_c} = 1.6 - 1.8$, $\frac{R_c}{R_1} = 0.90 - 0.92$, $S_{\text{пр}} = 4 - 7 \text{ мм/с}$, $S_p = 0.1 - 0.2 \text{ мкм/с}$, $n = 4$ сегмента) позволило получить недостижимые для традиционного шлифования параметры качества поверхности. Расхождение между теоретическими и экспериментальными данными для большинства зависимостей не превышало 10-17%, что подтверждает адекватность разработанных моделей.

Экспериментально обоснованы и рекомендованы для практического применения оптимальные режимы и условия высокоточного шлифования отверстий кругами с радиально-подвижными сегментами. Процесс необходимо вести при противоположных направлениях вращения заготовки и инструмента с максимально возможной частотой вращения заготовки. Разработанные методики и компьютерная программа визуализации позволяют эффективно проектировать технологические процессы, обеспечивающие высочайшее качество обработанных поверхностей.

Литература

1. А.С РФ No 2182531. МПК В24В1/00 Способ внутреннего шлифования / Д.Р. Блурцян. – Б.И., 2000.

2. Проектирование режущего инструмента. Гречишников В.А., Коротков И.А., Схиртладзе А.Г., Горохов В.А. Учебное пособие.- Москва, Сатурн-С 2003 г.
3. Яшков В.А., Гречишников В.А., Албагачиев А.Ю., Исаев А.В., Пивкин П.М., Романов В.Б. Модернизация сборного абразивного круга с радиально-подвижными сегментами для внутреннего шлифования полых деталей роботов // Вестник МГТУ СТАНКИН. 2015. № 4 (35). С. 8-14.
4. Лашнев С. И. Юликов М.И. Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ. – М.: Машиностроение, 1975. – 39 с.
5. Абразивные инструменты для обработки отверстий в деталях робототехнических комплексов Гречишников В.А., Яшков В.А., Пивкин П.М., Романов В.Б., Исаев А.В., Маслов А.Р. СТИН. 2016. № 9. С. 11-14.