

ОТЗЫВ

официального оппонента к.т.н., Мунтина Александра Вадимовича на диссертацию Семенова Кирилла Олеговича на тему: «Повышение эффективности правки растяжением с нагревом на основе учета стадий пластического течения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.7. – Технологии и машины обработки давлением

Актуальность темы диссертации.

Современное машиностроение предъявляет все более жесткие требования к геометрической точности длинномерных деталей, таких как валы и оси. Кривизна заготовок, которая возникает при их короблении, является одним из основных видов брака, влияющим на дальнейшую обработку и эксплуатацию. Традиционные методы правки изгибом не всегда позволяют достичь стабильного результата из-за остаточных напряжений и деформаций. Альтернативный метод – правка растяжением с нагревом, которая обеспечивает более равномерное напряженное состояние. Однако его широкое применение сдерживается нестабильностью процесса, вызванной неравномерностью пластической деформации. Эта неравномерность связана как с внешними факторами (неоднородность нагрева, свойства материала), так и с внутренними закономерностями пластического течения. Диссертационная работа Семенова К.О. посвящена изучению связи стадий пластического течения с локализацией деформаций и разработке на этой основе методов управления процессом правки, что является, несомненно, актуальным и имеет важное техническое значение.

Структура и содержание работы.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и одного приложения. Работа изложена на 249 страницах, включает в себя 147 рисунков, 32 таблицы, список литературы из 175 наименований. Тема, структура и содержание диссертации в целом подчинены общей логике, изложение соответствует поставленной цели.

Во введении обоснована актуальность темы, корректно сформулирована цель и задачи, показаны научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

В первой главе представлен собой глубокий аналитический обзор. Автор систематизирует существующие методы правки, подробно рассматривает конструкции оборудования и выделяет нерешенные проблемы. Особый интерес представляет анализ работ, посвященных правке растяжением, что позволило соискателю четко определить направление собственных исследований.

Во второй главе разработана распределенная реологическая модель процесса деформирования при правке растяжением с нагревом на основе реологической модели Ишлинского, адаптированной для учета температурной зависимости параметров. Представление заготовки в виде цепочки взаимодействующих элементов позволяет перейти от интегральных характеристик к анализу локального поведения материала.

В третьей главе рассматривается метод оптического контроля деформаций, включающий цифровую корреляцию на основе компьютерного зрения. Подробно описана методика проведения экспериментов, калибровка оборудования и обработка данных для цилиндрических образцов до 350 мм.

Входящий № 207-2735
Дата 27.03.2026
Самарский университет

В четвертой главе предложена и обоснована система критериев для оценки равномерности деформаций. На основе обширных экспериментальных данных показана прямая связь между этапом пластического течения (площадка текучести, стадии упрочнения) и характером распределения деформаций по длине образца.

В пятой главе демонстрируется современный подход к обработке данных, применяя методы машинного обучения. Использование нейро-нечеткой сети ANFIS для моделирования коэффициента локальности и рекуррентной сети LSTM для прогнозирования стадий нагружения по сигналу усилия, которая является инновационным решением, открывающим путь к созданию интеллектуальных систем управления процессом правки.

В шестой главе результаты теоретических и экспериментальных исследований обобщены в виде практических рекомендаций. Показано положительное влияние предложенных режимов правки на точность и жесткость заготовок. Наличие акта внедрения на машиностроительном предприятии и оценка экономического эффекта подтверждают практическую значимость работы.

В заключении представлены основные выводы и результаты работы.

Научная новизна.

Научную новизну диссертационной работы составляют следующие результаты:

1. Разработана распределенная реологическая модель процесса деформирования на основе модели Ишлинского с упрочнением, отличающаяся от аналогов применением температурно-зависимых коэффициентов, что позволяет анализировать влияние неравномерности нагрева на распределение деформаций.

2. Представлена методика определения коэффициента локальности деформирования, основанная на применении нейро-нечеткой сети ANFIS и позволяющая формировать систему лингвистического вывода для обоснования оптимальных технологических режимов.

3. Разработана методика идентификации стадии пластического течения по параметрам силового нагружения с использованием рекуррентной нейронной сети LSTM, ориентированная на установление момента достижения равномерного деформированного состояния в процессе правки.

4. Разработана методика оптического контроля распределения деформаций, базирующаяся на методе цифровой корреляции изображений и адаптированная для условий нагрева цилиндрических образцов длиной до 350 мм, что обеспечивает возможность регистрации полей смещений в режиме реального времени.

5. Экспериментально установлена зависимость степени однородности деформации от стадии пластического течения материала при правке растяжением с нагревом на основе анализа полей смещений, полученных методом цифровой корреляции изображений.

6. Установлены закономерности формирования равномерного поля деформаций при правке растяжением с нагревом, базирующиеся на регулировании переходов между стадиями пластического течения. Обоснована возможность управления жесткостными характеристиками и геометрической точностью заготовок путем назначения технологических режимов, соответствующих стадиям упрочнения, что способствует стабилизации процесса деформирования.

Практическая значимость.

Предложен комплексный подход к оценке распределения деформаций по длине осесимметричных заготовок в процессе правки растяжением с нагревом, обеспечивающий контроль в реальном времени с требуемой дискретностью. На основе анализа стадий пластического течения научно обоснованы интервалы технологических параметров (температуры, степени и скорости деформирования), гарантирующие формирование заданной геометрии для сталей 35 и 12X18H10T. Разработан алгоритм косвенной идентификации стадий течения по данным силового нагружения. Апробация результатов в условиях машиностроительного предприятия г. Тольятти подтвердила снижение биения заготовок в 1,4–4,0 раза и повышение точности токарной обработки на 10–17% за счет уменьшения деформаций, что обеспечило сокращение брака и трудоемкости доводочных операций.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций.

Обоснованность научных положений и достоверность полученных результатов подтверждается корректным использованием фундаментальных положений механики деформируемого твердого тела, теории пластичности и современных методов математического моделирования. Экспериментальные исследования выполнены с применением комплекса взаимодополняющих методик контроля, включая прямые механические измерения поверенными средствами измерения и оптический метод цифровой корреляции изображений с использованием калиброванной камеры Basler acA1440-73gc (разрешение 1,6 МП, сенсор Sony Pregius IMX273). Тарировка оптической системы и сопоставление полученных данных с результатами независимых измерений обеспечили высокую точность определения деформаций. Установлена качественная сходимость расчетных и экспериментальных кривых деформирования. Основные результаты работы прошли апробацию на представительных международных и всероссийских научных конференциях и опубликованы в рецензируемых изданиях.

Соответствие автореферата основному содержанию диссертации.

Автореферат диссертации корректно отражает структуру, содержание и материал диссертации, и позволяет составить объективное представление о её научной и практической ценности.

Подтверждение основных результатов диссертации в научной печати.

По теме диссертации опубликовано 15 научных трудов, включая 5 статей в ведущих рецензируемых журналах из перечня ВАК Минобрнауки России, 3 публикации в изданиях, индексируемых международными базами Scopus и Web of Science, а также 4 работы в сборниках материалов научных конференций. Новизна технических решений защищена 3 патентами на изобретения. Совокупность и уровень представленных публикаций полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Сильные стороны.

Диссертационная работа Семенова К.О. характеризуется рядом неоспоримых достоинств, определяющих ее высокую научную и практическую ценность.

Отличительной чертой работы является ее междисциплинарный характер, проявляющийся в интеграции фундаментальных знаний в области пластичности, применения передового оптического метода цифровой корреляции изображений и технологий машинного обучения. Следует выделить обширный объем экспериментальных данных, полученных на образцах различной длины и из разных материалов, что существенно повышает достоверность выводов. Заслуживает внимания и тот факт, что разработанные методики прошли успешную проверку в условиях действующего производства, что подтверждает их прикладную ценность.

Замечания по диссертации.

1. В математической части некорректно сформулированы уравнения реологии (приведены в безразмерной форме с использованием нормированных параметров). Не объяснены физические основания выбора шкал, какие параметры взяты за основу и почему.

2. Не подробно объяснено, как микроструктурные и физико-механические параметры материала влияют на результаты экспериментов. Нет количественных связей между структурой и результатами модели или итоговыми параметрами.

3. В работе показаны поля смещений и их статический анализ с помощью цифровой корреляции изображений (DIC), а также зависимость однородности от стадии течения. Но отсутствует описание методов и результаты динамического анализа ключевых индикаторов (например, коэффициента локальности, диапазона пластической деформации). Также не показано, как эти показатели используют для реального времени в целях определения стадий течения и управления режимом.

4. Из текста диссертации не в полной мере ясен характер практической реализации разработанной модели в условиях предприятия: функционирует ли она в режиме рекомендательной системы, подсказывающей технологические параметры, или же ограничивается выдачей информации о текущей стадии пластического течения.

5. Целесообразно было бы провести сопоставление предложенного метода правки с альтернативными подходами, в том числе с результатами зарубежных исследований в данной области, что позволило бы более наглядно показать преимущества и возможные ограничения разработанной технологии.

Указанные замечания не снижают ценность и общую положительную оценку диссертации, не влияют на основные научные и практические результаты и не затрагивают основных положений, вынесенных соискателем на защиту.

Заключение.

Диссертация Семенова К.О. является завершенным научным исследованием, имеющим высокую теоретическую и практическую значимость. Работа отвечает современным требованиям к кандидатским диссертациям, а ее результаты имеют существенное прикладное значение, подтвержденное промышленной апробацией и внедрением. Диссертация Семенова Кирилла Олеговича, выполненная на тему «Повышение эффективности правки растяжением с нагревом на основе учета стадий пластического течения», которая является законченной научно-квалификационной работой, соответствует требованиям ВАК РФ и по своему содержанию отвечает требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного

