

УТВЕРЖДАЮ

проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный
технический университет»

к.т.н. Отто А.И.

«19» ноября 2023 г.



ОТЗЫВ

ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу **Хо Минь Куан**

«Повышение качества нежестких цилиндрических деталей

маятниковым поверхностным пластическим деформированием»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.6. Технология машиностроения

Актуальность темы диссертационной работы

Среди методов отделочно-упрочняющей обработки широко применяемыми и весьма эффективными являются методы поверхностного пластического деформирования (ППД). Обработка ППД позволяет повысить долговечность машины и оборудования за счет повышения усталостной прочности, контактной выносливости и износостойкости нагруженных деталей машин. Эффект поверхностной обработки обусловлен созданием благоприятного остаточного напряженного состояния, изменением микроструктуры и физико-механических свойств верхнего слоя металла, а также улучшения геометрических характеристик микрорельефа поверхности.

Однако, практика показала, что при применении известных методов ППД для обработки нежестких цилиндрических деталей возникают определенные технологические затруднения. Это в основном связано с малой изгибной жесткостью заготовки, вибрацией в механической системе, сложностью достижения заданного качества изделия.

В современном машиностроении большое внимание уделяется вопросам исследования и разработке новых схем упрочнения, основанных на использовании новой кинематики деформирующего инструмента. Так, введение дополнительного движения рабочего инструмента усиливает процесс пластического деформирования в зоне контакта и влияет на значительное изменение структурного строения металла, которое приводит к увеличению накопления энергии деформирования, повышению плотности дислокаций и сопротивления сдвига материала упрочненных деталей.

Целью диссертационного исследования является повышение качества поверхностного слоя нежестких цилиндрических деталей путем интенсификации напряженного состояния в очаге деформации маятниковым поверхностным пластическим деформированием.

Структура и содержание работы

Материалы диссертации изложены на 194 страницах машинописного текста, включающих 20 таблиц и 95 рисунков; имеется 5 приложений. Основная часть диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 142 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, приведены цель и задачи работы, сформулированы научная новизна и практическая значимость работы, изложены основные положения, выносимые на защиту; показаны личный вклад соискателя в работу, ее апробация; описана структура диссертации.

В первой главе рассмотрены достоинства и недостатки известных методов ППД (обработка ППД по схеме скольжения и качения рабочего инструмента), сформулированы выводы о технологических ограничениях при их использовании при обработке нежестких цилиндрических деталей; рассмотрены технические решения по интенсификации напряженного состояния в очаге деформации, сущность которых заключается в изменении кинематики рабочего инструмента.

Во второй главе представлены результаты сравнительного анализа кинематических особенностей схемы обработки маятникового ППД с другими известными кинематиками процессов ППД. Полученные данные позволяют прогнозировать состояние поверхностного слоя обрабатываемых изделий и судить о возможности рационального применения предлагаемого способа упрочнения (маятниковое ППД).

Для обоснования теоретического анализа кинематических схем поверхностного пластического деформирования представлены результаты конечно-элементного моделирования процесса маятникового ППД цилиндрических деталей в условиях реального перемещения рабочего инструмента и режимов обработки. Установлено, что предлагаемая схема упрочнения значительно влияет на величину и характер напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя. Таким образом, сделано подтверждение эффективности схемы маятникового упрочнения секториальным рабочим инструментом.

Рассмотрено влияние технологических параметров процесса маятникового ППД и геометрических характеристик рабочего инструмента на величину, характер распределения временных и остаточных напряжений. На основе полученных результатов моделирования определены оптимальные режимы маятникового упрочнения и произведен выбор геометрических параметров секториального рабочего инструмента.

Определено влияние технологических параметров процесса маятникового ППД на внеконтактную деформацию и степень подъема металла после упрочнения. Выявлено, что при непосредственном воздействии рабочего инструмента на поверхность детали возникают небольшие растягивающие напряжения на упругопластических волнах, величина которых в 10 – 13 раз меньше предела прочности материала. Кроме того, рассмотрено явление упругой разгрузки металла, учет которой позволил установить рациональную величину натяга.

С помощью моделирования термического процесса при маятниковом ППД выявлено тепловое поле в очаге деформации; определено влияние температуры в зоне контакта заготовки с инструментом на эффективность процесса упрочнения и на величину остаточных напряжений сжатия.

В третьей главе представлена конструкция разработанного устройства для маятникового движения рабочего инструмента и приведены результаты экспериментальных исследований показателей качества нежестких цилиндрических деталей после маятникового ППД в лабораторных условиях.

Выполненные экспериментальные исследования показали, что маятниковое ППД оказывает значительное влияние на снижение шероховатости, волнистости, а также на отклонение от круглости поверхности после механической обработки резанием. Установлено, что после маятникового ППД микротвердость упрочненного слоя увеличивается в среднем на 45-65%, при этом глубина наклепа достигает 1,1 мм; уменьшение средних размеров зерен и искажение их формы наблюдаются как в поперечном, так и в продольном сечении; повышение плотности дислокаций в 2,2-2,5 раза; на поверхности детали формируются сжимающие остаточные напряжения величиной до 340 МПа.

В четвертой главе представлены результаты сопоставления полученных данных моделирования с данными экспериментальных исследований, также показаны результаты сравнения способа маятникового упрочнения с обкаткой тороидальным роликом, которые подтверждают эффективность предлагаемого способа ППД.

Экспериментальным путем определено влияние маятникового ППД на коррозионную стойкость упрочненных образцов. Установлено, что массовый показатель коррозии образцов, подвергаемых маятниковому ППД, уменьшается на 25-35%.

Представлены результаты множественного регрессионного анализа для поиска рациональных режимов обработки, обеспечивающие получение наилучших показателей качества поверхностного слоя упрочненных деталей.

На основе теоретических и экспериментальных исследований разработаны технологические рекомендации по применению маятникового ППД на производстве.

Достоверность результатов работы

Теоретические исследования выполнены на базе научных основ технологии машиностроения, физики твердого тела, теоретической механики, теории прочности и упругопластической деформации, механики поверхностного пластического деформирования в процессах обработки, теории планирования экспериментов и математической статистики, метода конечно-элементного моделирования.

Экспериментальные исследования проведены в лабораторных условиях на технологической установке с использованием современных средств и устройств измерения.

Достоверность результатов обеспечена обоснованным изучением достаточного объема научной литературы, использованием современных средств и методик проведения исследований и подтверждается согласованностью теоретических выводов с результатами их моделирования и реальной экспериментальной проверки.

Значимость полученных автором результатов диссертации для развития отрасли машиностроения

Разработана технология маятникового ППД с применением секториального рабочего инструмента, обеспечивающая повышение качества цилиндрических деталей машин типа валов и осей. Определены рациональные режимы упрочнения для получения качественных упрочненных деталей машин.

Предложен новый способ упрочнения нежестких цилиндрических деталей, позволяющий интенсифицировать напряженное состояние в очаге деформации и повысить качество поверхностного слоя деталей машин. Предлагаемый способ отличается не только применением новой конструкции рабочего инструмента, но и тем, что процесс упрочнения осуществляется за

счет комбинации двух процессов: скольжения и качения рабочего инструмента.

Создана конечно-элементная модель маятникового ППД, позволяющая выполнять численные расчеты показателей напряженно-деформированного состояния в очаге деформации и упрочненного поверхностного слоя. Выявлены законы изменения внеконтактной деформации, а также степени упругой разгрузки металла после окончания упрочнения.

Разработана конструкция устройства для экспериментальных исследований влияния маятникового ППД на качество поверхностного слоя упрочненных деталей.

Дальнейшее развитие темы исследования связано с изучением и разработкой новой конструкции деформирующего инструмента, обеспечивающего более эффективное сглаживание микронеровностей, измельчение зерна и формирование регулярного микрорельефа.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты диссертации имеют теоретическую и практическую ценность для научного направления по исследованию методов отделочно-упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием. Они могут найти конкретное применение в металлообрабатывающих отраслях промышленности и учебном процессе.

Использование разработанных технологических рекомендаций по внедрению в производство предлагаемой технологии, с использованием полученных рациональных режимов обработки, может повысить ряд показателей качества, а также эксплуатационных свойств ответственных нежестких цилиндрических деталей типа валов, осей, штанг и штоков. Такие детали используют для изготовления разнообразных изделий в сельскохозяйственной, военной, горнорудной и бытовой технике.

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы в учебном процессе при проведении занятий по дисциплинам «Технология

машиностроения» и «Отделочно-упрочняющая обработка ППД», а также аспирантами и научными работниками, которые занимаются вопросами ППД.

Полнота публикаций и апробации автора

Результаты работы отражены в публикациях соискателя, включающих 4 патента РФ на изобретения, 10 статей в журналах рекомендуемого перечня ВАК РФ, 5 статей в изданиях, включенных в международную базу Scopus. Работа подвергалась широкой апробации, ее результаты обсуждались на конференциях и научных семинарах различного уровня.

Замечания по диссертационной работе

1. В диссертации представлен теоретический анализ новой кинематики упрочнения. Желательно было бы представить более полное теоретическое обоснование влияния данной кинематики на эффективность упрочнения и повышение напряженного состояния в очаге деформации.

2. При моделировании термического процесса в очаге деформации показано, что максимальная температура в инструменте выше, чем в заготовке на 20-30%, однако экспериментальным путем автор определил температуру только для заготовки. Возможно, температура рабочего инструмента существенно влияет на технологический процесс ППД.

3. В работе представлена модель регрессии остаточных напряжений в зависимости от геометрии рабочего инструмента. Неясно, каким образом выбраны оптимальные размеры секториального и рабочего радиусов.

4. На графиках с результатами экспериментальных данных не приведены доверительные интервалы.

5. Для экспериментального определения механических напряжений в работе использован метод измерения шумов Баркгаузена. Не понятно, почему тарирование прибора проводилось на плоских пластинах, а оценка остаточных напряжений осуществлялась на деталях цилиндрической формы.

Заключение

Не смотря на приведенные замечания, в целом диссертация Хо Минь Куан «Повышение качества нежестких цилиндрических деталей маятниковым

