

В Диссертационный совет Д999.115.03
при ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева»,
ФГАОУ ВО «Белгородский государственный
национальный исследовательский университет»,
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический
университет»

ОТЗЫВ

**официального оппонента д.т.н., профессора Демина В.А. на диссертационную работу
Лавриненко Юрия Андреевича, выполненную на тему: «Разработка технологии
изготовления высоконагруженных пружин сжатия» на соискание ученой степени
доктора технических наук по научной специальности 05.02.09 – Технологии и
машины обработки давлением.**

Актуальность работы.

Пружины – наиболее массовый вид деталей, которые широко используются в современном машиностроении. Для их производства, как правило, используется оборудование работающее в автоматическом режиме, что обеспечивает минимальную себестоимость изготовления пружин. Особые требования предъявляются к высоконагруженным пружинам сжатия для двигателей внутреннего сгорания (клапанные пружины). К ним предъявляются высокие требования по соблюдению допусков на геометрические размеры, силовые характеристики, крипу, а также требования неограниченной выносливости. Количество дефектных пружин на 1 миллион произведенных изделий должно быть равным нулю.

Для выполнения повышенных требований к высоконагруженным пружинам требуется моделирование процесса навивки пружины и последующего упрочнения, т.к. в этом случае необходимо получить изделие с заданным запасом пластичности.

Поэтому разработка научно-обоснованной технологии изготовления, упрочнения и требований к проволоке является, безусловно, актуальной задачей.

Научная новизна представленной работы заключается в установлении особенностей формирования напряженно-деформированного состояния (НДС) витка

пружины при навивке под воздействием силовых факторов: сжатия, изгиба, кручения и сдвига, в определении остаточных напряжений по сечению витка пружины и уточнении силовых факторов операции безоправочной навивки, в математической модели процесса тройного упрочнения пружин сжатия, описывающей влияние горячей осадки, дробемётного наклена и холодной осадки на напряженно-деформированное состояние пружин сжатия. Использование моментной теории обеспечивает получения более точного описания процесса деформирования.

Практическая ценность работы заключается в методике проектирования технологических процессов изготовления высоконагруженных пружин сжатия, обеспечивающих повышение их качества, снижение энергозатрат и трудоемкости в условиях массового производства, в определении оптимальных параметров отдельных технологических операций (время и температура нагрева пружин под горячую осадку), в разработке технологических процессов производства высоконагруженных пружин сжатия двигателей ВАЗ, обеспечивающих высокое качество и экономию затрат; в разработанном методе испытаний высоконагруженных пружин сжатия с увеличенной длиной и шагом на сопротивление усталости и построении кривых усталости для сталей 70ХГФА и «Отева 60».

Предложенные технические решения, защищенные 2 патентами РФ, которые использованы для повышения эффективности производства высоконагруженных пружин сжатия.

Разработанные технологические процессы изготовления высоконагруженных пружин сжатия внедрены в производство на АО «БЕЛЗАН», ООО «Волгоградский метизный завод» и других предприятиях.

Достоверность результатов, представленных в диссертационной работе, определяется применением положений современной теории обработки металлов давлением, использованием современного лабораторного и промышленного оборудования, современных методов проверки динамической прочности, остаточных напряжений рентгеновским методом, а также метода проведения усталостных испытаний, повторяемостью результатов исследований, согласованностью теоретических и экспериментальных данных, применением современных статистических методов обработки экспериментальных данных, а также производственными данными, полученными при изготовления высоконагруженных пружин сжатия.

Структура и содержание работы.

По объему, содержанию, языку и качеству оформления диссертация Лавриненко Ю.А. отвечает требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям. Диссертация

состоит из введения, восьми глав, результатов и выводов, списка использованной литературы из 195 наименований и приложений.

Основное содержание диссертации достаточно полно отражено в 40 опубликованных работах. Это -2 монографии, 1 глава в справочнике, 15 статей в рецензируемых изданиях и сборниках, входящих в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук»; 20 статей в различных сборниках научно-технических трудов; 2 патента на изобретения.

Во введении обоснована актуальность рассматриваемой в данной работе научно-технической проблемы, сформулирована цель и поставлены задачи работы, методы исследования, основные положения, выносимые на защиту, научная новизна, достоверность, научная значимость, практическая ценность и реализация работы, приведены данные об апробации работы, публикациях, структуре и объеме диссертации и дано краткое содержание каждого раздела.

Первая глава выполнен анализ данных о современном состоянии производства, технологических процессах изготовления высоконагруженных пружин сжатия, обеспечивающих их высокое качество, высокопрочной пружинной проволоки, методах испытаний и уточнены задачи исследования.

Вторая глава проведено теоретическое исследование и расчет напряжений и деформаций при навивке пружин под воздействием: крутящего момента M_k , изгибающего момента M_i , осевой силы N и перерезывающей силы Q , а также определены величины силовых факторов, при которых происходит потеря несущей способности стержня, получены решения.

Для расчета напряжений в сечении были использованы показатели нагружения в относительном виде, показывающие соотношение наибольших величин деформаций от действия осевой силы, крутящего момента и перерезывающей силы к наибольшей деформации при изгибе.

Третья глава выполнен анализ операции безоправочной навивки пружин сжатия, а также определены причины, существенно влияющие на обеспечение окончательного качества пружин. Установлены основные виды брака и причины снижения качества пружин при навивке: нестабильность размеров пружин при навивке в процессе работы автомата, образование поверхностных дефектов в виде царапин и продольных рисок при навивке пружин, непараллельность и неперпендикулярность опорных торцев пружины выше установленных допусков. Также было проведено сравнение разных схем шагообразования по силе поперечного нагружения и определен оптимальный угол

приложения этой силы, равный $222,5^\circ$, при котором уменьшается вероятность образования рисок на поверхности витков. Проведены исследования величин рассеивания длины пружины по всем технологическим переходам. Разработан способ и калибр для контроля угла навивки при поджатии опорных витков.

Четвертая глава посвящена разработке математической модели процесса упрочнения при изготовлении пружин сжатия, включающей горячую осадку, дробеметную обработку и трехкратную холодную осадку. Дробеметная обработка снижает упрочняющий эффект от горячей осадки. При этом суммарный упрочняющий эффект от использования этих двух и третьей операции выше, чем от каждой операции в отдельности. В сечении витков пружины создается напряженно-деформированное состояние, увеличивающее сопротивление усталости и стойкость к температурной релаксации нагрузки.

Для расчета остаточных напряжений разработана математическая модель, учитывающая истинную диаграмму упрочнения. В модели учтено, что горячая осадка (термоосадка) происходит при температуре $380\ldots400^\circ\text{C}$, а разгрузка – после охлаждения.

Пятая глава разработана методика проектирования технологических процессов изготовления высоконагруженных пружин сжатия, включающая следующие основные этапы: конструкторский расчёт (расчет параметров пружины в упругой и пластической областях); построение диаграммы деформирования при пластической осадке пружины; расчет напряженно-деформированного состояния пружины при термоосадке; экспериментальное определение внедренной пластической деформации от дробеметной обработки;

Шестая глава посвящена экспериментальной проверке напряженно-деформированного состояния пружин методом травления контрольной пластинки и рентгеновским методом. Установлено, что глубина залегания остаточных напряжений от дробеметной обработки (глубина наклепа) составляет $\sim 0,21$ мм.

Седьмая глава разработан метод испытаний высоконагруженных пружин сжатия с увеличенной высотой и шагом на усталость и построена кривая Велера.

Восьмая глава приведены результаты исследования зависимости качества высоконагруженных пружин сжатия от технологических характеристик операций изготовления. Изучено влияние величины партии пружин на глубину и распределение наклепа при дробеметной обработке.

Изложенные в диссертации результаты исследования в целом заслуживают положительной оценки.

По содержанию работы можно сделать следующие **замечания**:

1. В работе отмечается, что «разброс временного сопротивления в пределах одного мотка должен составлять не более $50 \text{ Н}/\text{мм}^2$ ». В тоже время в ГОСТ 1071-81 сказано, что «разбег временного сопротивления в мотке для проволоки марки А не должен превышать $74 \text{ Н}/\text{мм}^2$. Однако в работе не исследуется влияние изменения $\sigma_{\text{в}}$ на качество навиваемых пружин.

2. Неудачные формулировки выводов, которые больше похожи на результаты работы. Например, «Изучена эволюция границы упругой области сечения витка.»

В главе V в выводе 2 говориться о сопротивлении усталости, релаксационной стойкости, устранении брака, но этих результатов в главе нет. Такое же замечание по выводу 7 в «Основных результатах и выводах», в котором говорится о повышенной хрупкости материала пружин. А в тексте нет исследований хрупкости.

3. В тексте диссертации часто встречаются формулировки типа «Опытным путем ... измеряли силы формообразования шага, которые показали хорошее совпадение с расчетными величинами», однако на рис.3.6. это расхождение превышает 20%.

4. В работе сказано, что «Уравнение совместности (уравнение Коши) запишем, приняв гипотезу плоских сечений», однако в тексте диссертации не указано в каком диапазоне находится соотношение радиуса гибки к толщине проволоки. В ГОСТ 1071-81 сказано, что проволока не должна ломаться и расслаиваться при навивке не менее восьми витков вокруг цилиндрического сердечника диаметром, равным диаметру испытываемой проволоки. Для данного случая гипотеза Кирхгофа не применима.

5. В I главе нет обоснования необходимости исследования формообразования пружин сжатия под воздействием комбинированной нагрузки сжатия, изгиба, кручения и сдвига. Технологическая необходимость учета и расчета влияния составляющих комбинированной нагрузки на процесс формообразования пружин при безправочной навивки не дается и во II главе. И только в III главе (§3.2) говорится, что N и Q мизерные по величине.

6. В диссертационной работе, к сожалению, присутствуют опечатки.

Сделанные замечания не ставят под сомнение научную новизну работы, ее достоверность, практическую значимость и существенно не снижают высокий уровень диссертации.

Заключение. Диссертационная работа Лавриненко Юрия Андреевича является законченной научно-квалификационной работой, в которой, на основании выполненных автором исследований, изложены научно обоснованные технические решения, направленные на повышение качества высоконагруженных пружин сжатия путем совершенствования технологии их изготовления и обеспечивающие снижение

энергозатрат и трудоемкости в условиях массового производства, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие машиностроения страны.

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

Представленная диссертационная работа по актуальности, достоверности, научной новизне и практической значимости результатов удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор Лавриненко Юрий Андреевич заслуживает присвоения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.09 – Технологии и машины обработки давлением.

Официальный оппонент доктор
технических наук, профессор кафедры
«Технологии обработки
давлением» МГТУ ФГБОУ ВО
«Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана (национальный
исследовательский университет)»

115612, г. Москва, ул. Братеевская, д. 10,
корп. 3, кв. 24

Тел.: +7-985-764-21-15

Email: va_demin@bk.ru

Докторская диссертация по специальности 05.02.09 - Технологии и машины обработки давлением

Подпись В.А. Демина заверяю
Начальник управления кадров

Демин Виктор Алексеевич

04.09.18
Ф.И.О.

Зам. начальника УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВ

МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМ. Н.Э. БАУМАНА

А.Г. МАТВЕЕВ

