

## ОТЗЫВ

официального оппонента Л.В. Федоровой  
на диссертационную работу  
Морозова Олега Игоревича

на тему «Повышение стойкости штампов на операциях листовой штамповки путем применения износостойких покрытий»,  
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.7. Технологии и машины обработки давлением

**Актуальность темы.** Диссертация Морозова Олега Игоревича «Повышение стойкости штампов на операциях листовой штамповки путем применения износостойких покрытий» посвящена исследованию и разработке процессов повышения стойкости и ресурсоемкости штампового инструмента обработки металлов давлением за счет нанесения износостойких покрытий, полученных физическим методом ионно-плазменного напыления при использовании численного моделирования процессов износа штамповой оснастки.

Целью диссертационного исследования является повышение стойкости рабочих поверхностей штампов на операциях листовой штамповки на основе моделирования НДС штампового инструмента и применения износостойких покрытий.

В настоящее время наблюдается возросшее внимание к исследованиям в области повышения стойкости инструментальной оснастки, как параметра, определяющего эксплуатационный ресурс ее рабочей поверхности. Исследования в области применения износостойких покрытий на штамповом инструменте листовой штамповки также представляют большой интерес. Актуальными являются как теоретические исследования в данной области, направленные на повышение стойкости и эксплуатационного ресурса инструментальной оснастки процессов ОМД за счет формирования подходящей архитектуры покрытий, так и апробация полученных результатов на практике.

Следует отметить, что повышение качества изделий машиностроения невозможно без использования технологических мероприятий повышения эксплуатационного ресурса рабочих деталей тяжело нагруженного штампового инструмента, работающего на сдвиг и удар. Процессы ОМД характеризуются реализацией «жестких» схем напряженно-деформированного состояния (НДС), наличием ударных и знакопеременных нагрузок, наличием значительных контактных напряжений и, соответственно, высоким уровнем изнашивания рабочих поверхностей штампового инструмента, что обуславливает необходимость повышения износостойкости и ударной работоспособности рабочей поверхности штампового инструмента, работающего на сдвиг и удар.

В диссертации при решении данной проблемы достаточно емко и эффективно используются программные продукты, позволяющие выполнять численное моделирование как динамических процессов формообразования с

Входящий № 206-2171  
Дата 29 МАР 2023  
Самарский университет

учетом НДС в очаге деформации, так и моделирование процессов износа и разрушения инструментальных материалов.

**Научная новизна и практическая значимость исследований.** В представленной диссертации Морозовым О.И. получены результаты, обладающие несомненной научной новизной:

- математические модели образования трещин в износостойком покрытии и изнашивания рабочих поверхностей штампового инструмента, учитывающие особенности разрушения хрупкого материала покрытий и формирования зон разрушения в условиях ударных и сдвиговых нагрузок;
- результаты численного моделирования процессов изнашивания рабочих поверхностей штампового инструмента с покрытием на операциях вырубке и вытяжки с принудительным утонением;
- закономерности связи процессов изнашивания рабочих поверхностей штампового инструмента и разрушения покрытий с составом покрытий, схемой НДС и технологическими режимами листовой штамповки;
- регрессионные зависимости оценки влияния технологических режимов листовой штамповки на НДС, износ и разрушение в рабочей зоне деформации при разделительных операциях (вырубка).

На основе полученных Морозовым О.И. результатов реализованы следующие разработки, имеющие практическую ценность:

- технологические рекомендации по составу и структуре износостойких покрытий инструмента операций «вырубка» и «вытяжка с принудительным утонением»;
- технологические режимы нанесения износостойких покрытий на инструмент операций «вырубка» и «вытяжка с принудительным утонением».

#### **Обоснованность и достоверность научных положений и выводов.**

Обоснованность и достоверность полученных результатов обусловлена применением в исследовании основных положений теории пластичности, теории хрупкого разрушения при использовании 3D-моделирования в САПР КОМПАС и LS-Dyna. Обработка данных, полученных в ходе численного моделирования и эксперимента, производилась с использованием математического аппарата программных комплексов Excel и Statgraphics с достаточно строгим использованием математических методов планирования эксперимента. Экспериментальные исследования производили в производственных условиях на базе АО «Ульяновский патронный завод», АО «Ульяновский НИАТ», а также специализированных лабораторий ФГБОУ ВО Ульяновский государственный технический университет.

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 6 международных и всероссийских конференциях и научных семинарах.

#### **Рекомендации по использованию результатов диссертации.**

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы



как теоретическая и прикладная база для реализации технологических и конструктивных решений в задачах повышения эксплуатационного ресурса тяжелонагруженного инструмента ОМД, в частности, в процессах листовой штамповки.

### **Краткая характеристика основного содержания диссертации.**

Диссертация Морозова О.И. состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложения.

**В первой главе** рассмотрено современное состояние технологий листовой штамповки. Проанализированы пути повышения износостойкости рабочей поверхности штампового инструмента, выявлены причины снижения его стойкости на формоизменяющих и разделительных операциях листовой штамповки, определены параметры, характеризующие износ штамповой оснастки. Установлено, что эффективным путем повышения стойкости инструмента является применение износостойких покрытий. Отмечены проблемы, связанные с недостатком как теоретических, так и прикладных данных о применении покрытий на инструменте листовой штамповки, отсутствуют аналитические решения по выявлению механизмов изнашивания рабочих поверхностей инструмента с покрытием и разрушения самого покрытия и их количественного описания.

Разработана и предложена методика математического моделирования изнашивания рабочих поверхностей инструмента, учитывающего особенности разрушения хрупкого материала покрытия и формирования зон разрушения в условиях ударных и сдвиговых нагрузок. Сформулирована цель и задачи диссертационной работы.

**Во второй главе** представлены результаты по разработке математических моделей изнашивания рабочих поверхностей штампового инструмента на операциях «вытяжка с принудительным утонением» и «вырубка». Определены и экспериментально установлены величины коэффициента износа модели Арчарда для материалов покрытий на основе нитрида титана, параметры разрушения материала покрытия, константы разрушения хрупких покрытий TiN и TiZrN модели материала Джонсона-Холмквиста. Важно отметить, что предложенная методика определения параметров моделей износа позволяет выполнять расчет и верификацию параметров и для других хрупких материалов, используемых в качестве покрытия.

**В третьей главе** представлены результаты численного моделирования процесса изнашивания рабочих поверхностей инструмента с износостойким покрытием на операциях «вытяжка с принудительным утонением» и «вырубка». Исследовано влияние состава покрытий на износ рабочей поверхности, контактные касательные и нормальные напряжения на рабочей поверхности инструмента и его стойкость на операциях «вытяжка с принудительным утонением» и «вырубка».

Диссертант в своей работе подробно описывает корректные способы задания универсальных ограничений при численном моделировании



процессов формоизменения, в ПО LS-Dyna, позволяющих уменьшить время и повысить точность расчета.

Установлено, что для операции «вытяжка с утонением» нанесение покрытий уменьшает величину контактных напряжений в 1,4...2 раза, при этом большее снижение имеет место при нанесении покрытия TiZrN. Выявлено, что нанесение покрытий снижает длину изношенной зоны ( $b_{и}$ ) и максимальную глубину износа ( $a_{и}$ ), при этом максимальное снижение износа наблюдалось при использовании покрытия TiZrN. Повышение стойкости инструмента при нанесении покрытий (глубина износа, равная 0,15 мм) составило 30%.

Установлено, что для операции «вырубка» нанесение покрытий уменьшает величину контактных касательных напряжений на 30% и нормальных напряжений на 7%, снижает износ рабочих поверхностей инструмента. Повышение стойкости инструмента при нанесении покрытий (глубина износа, равная 0,1 мм), составило 1,22...1,26 раза. При этом, аналогично процессу вытяжка, более эффективным показало себя покрытие TiZrN.

Получены регрессионные зависимости напряжений от изменения длины износа по цилиндрической и по торцовой поверхности и технологического параметра (зазора) для операции «вырубка».

Предложен скорректированный «суженый» диапазон рациональных величин межинструментального зазора для сталей марок 08, 20, 45, соответствующий 5...7% от толщины материала. Установлено, что применение покрытий способствует снижению пиковых значений нормальных напряжений в материале заготовки на 7...11%, соответственно для покрытий TiN и TiZrN.

**В четвертой главе** приведены результаты экспериментальных испытаний штампового инструмента с износостойким покрытием на формоизменяющих и разделительных операциях листовой штамповки.

Установлено для операции вытяжка, что применение покрытий приводит к повышению стойкости инструмента на 39%, при этом, длина изношенной зоны рабочей поверхности уменьшилась на 18%, а максимальная глубина износа – на 23%. Установлено, что применение покрытий на операции вырубки повышает стойкость инструмента по сравнению с инструментом без покрытия на 26% и 32% для покрытий TiN и TiZrN соответственно. Снижение износа рабочих поверхностей инструмента, при этом, составило 12% и 15,5% по величине ( $l_{ц}$ ), 18% по величине ( $l_{м}$ ), 29% и 30% по величине ( $a_{и}$ ) соответственно для покрытий TiN и TiZrN. Анализ представленных результатов показал, что отклонение результатов моделирования и эксперимента не превышают 4...13%.

**В пятой главе** представлен технико-экономический анализ эффективности использования штампового инструмента листовой штамповки с покрытиями. Предложена методика расчета изменения относительной стоимости изготовления инструмента при применении износостойких покрытий. В качестве критерия оценки относительной

стоимости выбраны: стоимость изготовления и стойкость штампового инструмента с учетом промежуточных перешлифовок рабочей поверхности. Проведенные расчеты для одного комплекта инструмента без покрытия и с покрытиями TiN и TiZrN на операциях «вытяжка с утонением» и «вырубка» показали, что использование покрытий позволит увеличить параметр оценки экономической эффективности (критерия оценки относительной стоимости) использования инструмента на 8% для формоизменяющих операций и на 49...51% - для разделительных операций.

В целом диссертация Морозова О.И. является законченным научным и прикладным исследованием, предлагающим решение актуальных задач, обеспечивающих повышение стойкости рабочих поверхностей штампов на операциях листовой штамповки на основе моделирования НДС штампового инструмента и применения износостойких покрытий.

**Замечания по работе.** К содержанию работы могут быть сделаны следующие замечания:

1. Вводная часть с обоснованием актуальности слишком затянута, но при этом не всегда даются четкие формулировки, определения понятий, используемых в постановке задач, что затрудняет понимание условий решения поставленных задач, требований к результатам.

2. Если речь идет об использовании численных методов (в частности, оценки адекватности математической модели типов данных), численных алгоритмов, то следовало бы провести сопоставительный анализ решений в различных системах ПО, что позволило бы произвести выбор более рациональных сред для расчета.

3. Нет достаточно четких выводов, рекомендаций по использованию полученных теоретических результатов и применению методик моделирования. Имеющиеся материалы и указания «разбросаны» по тексту работы. Было бы хорошо, если бы в приложении был приведен пример законченного процесса численного моделирования с пошаговым построением моделей, с применением всех представленных в работе средств ПО.

4. Имеется ряд замечаний по оформлению иллюстраций в тексте диссертации и автореферата.

Указанные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования Морозова О.И.

**Общее заключение.** Основные результаты диссертации опубликованы в 23 научных работах, в том числе 4 научных статьях в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК.

Результаты диссертационного исследования прошли апробацию на международных и всероссийских конференциях и научных семинарах.

Автореферат и опубликованные работы достаточно полно отражают



основное содержание диссертации, характеризуют результаты проведенных исследований.

Уровень решаемых задач представляется соответствующим требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Содержание диссертации соответствует специальности 2.5.7. Технологии и машины обработки давлением.

Диссертационное исследование Морозова Олега Игоревича «Повышение стойкости штампов на операциях листовой штамповки путем применения износостойких покрытий» является завершенной научно-квалификационной работой, которая по критериям актуальности, научной новизны, обоснованности и достоверности выводов соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней». Диссертант, Морозов Олег Игоревич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.7 Технологии и машины обработки давлением.

Оппонент:

Доктор технических наук, профессор  
кафедры МТ-8 МГТУ им. Н.Э. Баумана

Л.В. Федорова

Федорова Лилия Владимировна  
105005, г. Москва,  
ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1  
Тел. 8-926-173-51-47  
e-mail: [bauman@bmstu.ru](mailto:bauman@bmstu.ru)  
[momd@yandex.ru](mailto:momd@yandex.ru)

