

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе,
доктор технических наук,
профессор
Воротилин Михаил Сергеевич



14 » марта 2023 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
Морозова Олега Игоревича

«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 избранной темы

Диссертационная работа Морозова Олега Игоревича посвящена вопросам повышения стойкости и ресурсоемкости рабочих деталей штампов на операциях листовой штамповки путем применения износостойких покрытий с использованием численного моделирования.

Основным направлением исследований автора является исследование процессов повышения работоспособности штампового инструмента обработки металлов давлением за счет нанесения износостойких покрытий, полученных физическим методом ионно-плазменного напыления при использовании численного моделирования процессов износа штамповой оснастки.

Исследования в области повышения стойкости инструментальной оснастки процессов ОМД имеют значимый характер. Актуальными и принципиально важными являются как теоретические исследования, направленные на повышение стойкости и эксплуатационного ресурса инструментальной оснастки процессов ОМД за счет формирования подходящей архитектуры покрытий, так и практическая реализация в промышленном производстве.

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 наличием значительных контактных напряжений и, соответственно, высоким уровнем изнашивания рабочих поверхностей штампового инструмента, что обуславливает необходимость повышения износостойкости рабочей поверхности штампового инструмента/

Входящий № 206-2302
Дата 03 АПР 2023
Самарский университет

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 вырубки и вытяжки с принудительным утонением;
- регрессионные зависимости оценки влияния технологических режимов листовой штамповки на износ и разрушение в рабочей зоне деформации при разделительных операциях (вырубка).

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

- 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».

Основными результатами диссертации можно считать следующие:

1. Выявлены причины изнашивания и разрушения рабочей поверхности штампового инструмента на операциях листовой штамповки.
2. Разработаны математические модели разрушения износостойких покрытий и изнашивания рабочих поверхностей инструмента с покрытиями на операциях вытяжки и вырубки, учитывающие особенности разрушения хрупкого материала покрытий и формирования зон разрушения в условиях ударных и сдвиговых нагрузок.
3. Проведено численное моделирование процесса изнашивания рабочих поверхностей инструмента и разрушения покрытий с использованием программных комплексов КОМПАС-3D и LS-Dyna. Результаты исследований, полученных численным моделированием, подтверждены экспериментальными данными. Отклонения результатов моделирования и эксперимента не превышают 13%.
4. На основе результатов численного моделирования установлено влияние износостойких покрытий на контактные напряжения, износ рабочих поверхностей и стойкость инструмента. Установлено, что на операции вытяжки нанесение покрытий уменьшает величину контактных напряжений в 1,4-2 раза, снижает износ рабочих поверхностей на 25-30% и повышает стойкость инструмента на 30%; на операции вырубки - снижение контактных напряжений составило до 30%; износ рабочих поверхностей уменьшился на 11-28%, и повышение стойкости инструмента составило 1,22-

1,26 раза. Установлено, что наибольшую эффективность независимо от вида операции имеет покрытие TiZrN.

5. Экспериментальные исследования, проведенные в условиях действующего производства, подтвердили эффективность штампового инструмента с износостойким покрытием. Показано, что применение покрытий повышает стойкость инструмента на операции вытяжка с утонением на 39 %, на операции вырубка на 26-32% в зависимости от состава покрытий.

6. Техничко-экономическими расчетами показано, что использование покрытий позволяет добиться увеличения экономической эффективности использования инструмента листовой штамповки на 8% (для формоизменяющих операций) и на 49-51% (для разделительных операций).

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (100 наименований) и четырех приложений (5 страниц), включает 137 страниц машинописного текста, 71 рисунок и 15 таблиц.

Во введении изложена история вопроса, поставлены основные задачи, решаемые автором, проведен обзор литературы по теме диссертации, обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы ее научная новизна и практическая значимость, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

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. Показано, что эффективным путем повышения стойкости инструмента является применение износостойких покрытий. Отмечены нерешенные вопросы, связанные с отсутствием данных о применении покрытий на инструменте листовой штамповки, о механизмах изнашивания рабочих поверхностей инструмента с покрытием и разрушения самого покрытия, отсутствием математических моделей изнашивания рабочих поверхностей инструмента, учитывающих 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». Рассчитаны величины коэффициента износа модели Арчарда для

материалов покрытий на основе нитрида титана, а также параметры разрушения материала 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 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».

Установлено, что для операции «Вытяжка с утонением» нанесение покрытий уменьшает величину контактных напряжений в 1,4-2. При этом большее снижение имеет место при нанесении покрытия TiZrN. По сравнению с покрытием TiN оно составило 5% и 16%, соответственно, для нормальных и касательных напряжений. Нанесение покрытий снижает длину изношенной зоны ($b_{и}$) и максимальную глубину износа ($a_{и}$). Так после 600 000 циклов работы штампового инструмента с покрытием длина изношенной зоны меньше в 1,25 раза, а максимальная глубина износа на 30%. При этом максимальное снижение износа наблюдалось для покрытия TiZrN. Повышение стойкости инструмента при нанесении покрытий при глубине износа, равной 0,15 мм, составило 30%.

Установлено, что для операции «Вырубка» нанесение покрытий уменьшает величину контактных касательных напряжений на 30% и нормальных напряжений на 7%, что определяет снижение износа рабочих поверхностей инструмента. Так, после 400 000 циклов работы инструмента снижение износа рабочих поверхностей по цилиндрической ($l_{ц}$) и торцовой ($l_{т}$) поверхностям составило 11-28%, а глубины износа ($a_{и}$) – 23-27%. Повышение стойкости инструмента при нанесении покрытий при глубине износа, равной 0,1 мм, составило 1,22-1,26 раза. При этом, более эффективным показало себя покрытие TiZrN.

Получены регрессионные зависимости нормальных и касательных напряжений от изменения длины износа по цилиндрической и по торцовой поверхности и технологического параметра (зазора) для операции «Вырубка», экспериментально установлена рациональная величина межинструментального зазора для сталей марок 08, 20, 45, соответствующий 5-7% от толщины материала, при котором обеспечивается повышение качества поверхности разделения, уменьшение максимальных напряжений в очаге деформации, и как следствие, повышение стойкости инструментальной оснастки. 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, что применение покрытий на операции «Вытяжка с утонением» приводит к повышению стойкости инструмента на 39%, при этом, длина изношенной зоны рабочей поверхности уменьшилась на 18%, а максимальная глубина износа – на 23%.

Выявлено, что применение покрытий на операции «Вырубка» 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 был произведен технико-экономический анализ эффективности использования штампового инструмента листовой штамповки с покрытиями. Переложена методика расчета изменения относительной стоимости изготовления инструмента при применении износостойких покрытий. В качестве критерия оценки относительной стоимости выбраны стоимость изготовления и стойкость инструмента. 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 использования инструмента на 8% для формоизменяющих операций и на 49-51% - для разделительных операций.

Следует подчеркнуть, что полученные в диссертации результаты представлены последовательно и изложены логично, основные положения достаточно полно раскрыты в автореферате и публикациях диссертанта.

Замечания:

1. По тексту диссертации многократно используется следующая терминология: «удар», «ударные нагрузки», «ударные деформации», «ударное воздействие» и т.д. Ударный характер деформирования реализуется при скоростях деформирования 5-10 м/с и выше при штамповке на молотах, и подразумевает переход кинетической энергии инструмента в энергию деформирования (А.Н. Банкетов). В работе же рассматриваются операции вырубки и вытяжки, выполняемые на прессах, скорость деформирования принимается 2-2,5 м/с и использование указанной терминологии не вполне корректно.

2. По тексту диссертации и подрисуночным надписям на рис. 1.3 представлена «Схема процесса вытяжки с утонением», на рис. 1.4. «Схема НДС в процессе вытяжки с утонением». При этом на рисунках приведены схемы комбинированной вытяжки и первой операции вытяжки без утонения стенки.

3. Автором предлагается коэффициент износа упрочняющего покрытия определять путем моделирования процесса механической обработки заготовок режущим инструментом. Возникает вопрос, насколько корректно использование полученных результатов для оценки износа штампового инструмента.

4. В разделах 3.1 и 3.2 приведены результаты численного моделирования процесса изнашивания рабочих поверхностей инструмента на операциях вырубки и вытяжки с утонением. При этом не указаны материал заготовки (марка стали), размеры полуфабриката, коэффициент утонения, угол конусности матрицы при вытяжке, толщина и размеры заготовки при вырубке, хотя указанные параметры оказывают существенное влияние на силовые режимы процессов и, следовательно, на износ инструмента.

5. Экспериментальные исследования влияния межинструментального зазора при вырубке на технологическую силу и величину заусенца выполнены для инструмента без покрытия. Результаты исследований подтвердили справедливость рекомендаций, приведенных в справочной литературе. Не ясно, как указанный раздел способствует достижению цели работы, заявленной в её названии.

6. В работе рассматриваются вопросы стойкости штампового инструмента лишь с двумя вариантами упрочняющих покрытий: TiN и TiZrN. Для обеспечения рационального выбора упрочняющих покрытий в условиях промышленного производства перечень исследуемых покрытий желательно было бы расширить.

Высказанные замечания не снижают достоинств диссертационной работы О.И. Морозова и ее положительной оценки.

Заключение:

1. Работа соответствует паспорту специальности 2.5.7. Технологии и машины обработки давлением. Тема диссертации О.И. Морозова важна, и актуальна.

2. Работа имеет научную новизну. Решен ряд достаточно актуальных задач в области повышения стойкости штампового инструмента листовой штамповки.

3. Работа имеет прикладную значимость, что подтверждается актами внедрения.

4. Полученные результаты опубликованы в 23 работах, 4 из которых – в ведущих рецензируемых журналах, определенных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ. Результаты диссертации апробированы на 6 Международных и Всероссийских конференциях.

5. Диссертация является завершенным научным исследованием, вносящим заметный вклад в данный раздел повышения стойкости инструментальной оснастки процессов обработки металлов давлением.

6. Автореферат диссертации полно и правильно отражает ее содержание.

7. Представленные в диссертации результаты будут востребованы в дальнейших изысканиях в области повышения стойкости штампового инструмента за счет нанесения износостойких покрытий методом ионно-плазменного напыления. Она может быть интересна для научных и образовательных учреждений, в которых ведутся исследования процессов повышения стойкости и ресурсоемкости рабочего инструмента листовой штамповки.

На основании вышеприведенного можно заключить, что диссертация Морозова Олега Игоревича соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по действующему «Положению о присуждении ученых степеней по специальности 2.5.7. Технологии и машины обработки давлением, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по заявленной специальности.

Диссертационная работа заслушана, обсуждена и одобрена на заседании кафедры «Механика и процессы пластического формоизменения» ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», г. Тула 06 марта 2023 г., протокол №3.

Профессор кафедры «Механика и процессы
пластического формоизменения»
ФГБОУ ВО «Тульский государственный
университет»,
доктор технических наук, профессор

Кухарь
Владимир Денисович

Профессор кафедры «Механика и процессы
пластического формоизменения»
ФГБОУ ВО «Тульский государственный
университет»,
доктор технических наук, доцент

Черняев
Алексей Владимирович

Адрес: 300012, Российская Федерация, г. Тула, пр. Ленина, д. 92
Тел. +7(4872) 73-44-44
E-mail: info@tsu.tula.ru

