

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Кузина Александра Олеговича на тему  
«Снижение пружинения при двухугловой гибке за счет использования  
упругих элементов в штамповой оснастке» на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности 2.5.7. – Технологии  
и машины обработки давлением.

**Общая характеристика работы и актуальность.** Целью диссертационной работы Кузина А.О. является решение задачи снижения величины упругого пружинения при двухугловой гибке деталей за счет применения упругих элементов в конструкции штамповой оснастки. Для достижения поставленной цели потребовалось: разработать аналитическую модель гибки листовых материалов, учитывающую утонение заготовки, пластическую анизотропию свойств и деформационное упрочнение заготовки; разработать способ двухугловой гибки с использованием упругих элементов в штамповой оснастке; провести теоретический и конечно-элементный анализ напряженно-деформированного состояния упругих элементов штамповой оснастки и заготовки в процессе гибки с целью определения конструкторско-технологических параметров и предельных возможностей процесса двухугловой гибки с упругими элементами; провести экспериментальные исследования процесса двухугловой гибки в штамповой оснастке с упругими элементами для проверки результатов моделирования и оценки применимости процесса для формообразования различных материалов; разработать методику проектирования технологического процесса двухугловой гибки в штамповой оснастке с упругими элементами и провести опытно-промышленную апробацию разработанного способа и методики его проектирования и осуществить внедрение способа в производство.

Одной из важнейших операций холодной штамповки является двухугловая гибка. Двухугловая гибка широко используется в различных отраслях промышленности, таких как авиа-, авто-, ракето- и машиностроение для получения разнообразных деталей. В условиях заготовительно-штамповочного производства авиационных заводов при значительной номенклатуре деталей, полученных двухугловой гибкой, актуальным является наличие универсальной штамповой оснастки.

Основным геометрическим параметром, характеризующим форму деталей для двухугловой гибки, является угол гиба, величина которого должна соответствовать заданной точности, поскольку данный параметр

Входящий №	207-1991
Дата	01 АПР 2024
Самарский университет	

является сопрягаемым при установке деталей в узлах и агрегатах. В связи с этим, упругое пружинение, изменяющее уголгиба после проведения гибки, является недопустимым явлением. Снижение упругого пружинения важно, как для снижения затрат на производство, так и для получения деталей повышенного качества. В связи с этим, проведенные в диссертации исследования по разработке методов снижения упругого пружинения при двухугловой гибке являются актуальной задачей.

**Структура и содержание работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и приложения. Работа выполнена на 137 страницах машинописного текста, содержит 71 рисунок, 2 таблицы и 1 приложение. Список использованных источников содержит 89 наименований.

**Во введении** приведена общая характеристика работы, обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цели и задачи, а также пути их достижения. Отмечена научная новизна, практическая значимость и достоверность результатов выполненной работы, приведены результаты, выносимые на защиту. Представлена информация по апробации и публикации результатов.

**В первой главе** диссертации рассмотрено современное состояние теории и технологии двухугловой гибки. Анализ существующих схем П-образной гибки показал, что для компенсации пружинения требуется применение гибочных штампов сложной конструкции, что снижает их производительность и надежность. Применение же специального оборудования не всегда возможно из-за его высокой стоимости. При этом не все схемы позволяют регулировать уголгиба для компенсации пружинения при формообразовании заготовок, отличающихся разбросом свойств, без кардинальной переналадки штампа и изготовления новых элементов. Кроме того, не существует схем, обеспечивающих параллельность стенок П-образных изделий без повреждения поверхности заготовок простыми и приемлемыми для широкой практики средствами. В качестве новых способов совершенствования элементов штамповой оснастки, обеспечивающих снижение упругого пружинения, рассмотрено применение упруго-деформируемых элементов.

**Во второй главе** разработана и экспериментально верифицирована аналитическая модель гибки листовых материалов, учитывающая утонение, пластическую анизотропию свойств и деформационное упрочнение заготовки. Разработанная модель позволяет проводить расчеты напряженно-деформированного состояния заготовки, предельных деформаций и силовых



параметров процесса, а также упругого пружинения при разгрузке. Выявлены закономерности влияния упрочнения и анизотропии материала заготовки на геометрические параметры при гибке. Установлено, что увеличение показателя упрочнения приводит к смещению радиусов нейтральных поверхностей по напряжениям и итоговой деформации к внутренней (вогнутой) поверхности, что приводит к более интенсивному уменьшению толщины заготовки в зоне сгиба. После анализа влияния упрочнения и анизотропии заготовки на изгибающий момент определено, что момент, необходимый для пластического изгиба без упрочнения, не изменяется в процессе деформирования. Однако, изгибающий момент возрастает с увеличением коэффициента Лоде. Установлено, что предельная деформация и минимальный радиус гибки зависят от пластической анизотропии и параметров упрочнения заготовки.

**В третьей главе** разработаны способы двухугловой гибки П-образных деталей, в которых компенсация пружинения обеспечивается за счет догиба заготовки упругой билинейной или криволинейной планкой и формой пуансона. Разработаны способы двухугловой гибки в штампе с упругими элементами, которые могут использоваться для получения V-образных деталей на угол не более  $90^\circ$ , S-образных деталей и П-образных деталей, углыгиба, радиусы закругления и длины полок которых сильно отличаются. Получены уравнения, позволяющие определить геометрические размеры упругой планки, такие как уголгиба, радиус, толщина. Расчет углагиба планки осуществляется на основании угла пружинения детали. Радиус планки определяется по предельной величине ее упругой деформации. Толщина планки должна обеспечивать требуемое силовое условие для догиба заготовки. Выполнен расчет геометрических размеров упругой планки для гибки заготовок различной толщины при разных материалах планки и заготовки. Установлено, что с увеличением предела прочности материала заготовки по отношению к пределу текучести планки ее относительная толщина увеличивается. Также установлено, что относительный радиус упругой планки уменьшается с ростом предельного значения упругой деформации, что позволяет сократить высоту упругой криволинейной планки. На основе теоретических и экспериментальных исследований разработаны руководящие-технические материалы, содержащие рекомендации по реализации разработанного способа гибки, конструкции штамповой оснастки, режимам гибки, техническим требованиям к изделиям.

**В четвертой главе** разработана компьютерная модель процесса двухугловой гибки с упругим прижимом заготовки в программном комплексе DEFORM-2D для анализа напряженно-деформированного



состояния упругой билинейной и криволинейной планок. Проведено сравнение угла детали, изготовленной с использованием упругой планки и без нее, показывающее, что при использовании упругой планки происходит компенсация упругого пружинения и требуемый угол получается за одно действие без использования дополнительных операций. Экспериментально подтверждена возможность компенсации пружинения заготовок при двухугловой гибке без принципиального изменения схемы штамповки за счет поднутрения на пуансоне и установке различных видов упругих планок. Экспериментально подтверждено, что при выпрямлении упругой планки выталкивателем на ее поверхности в зоне радиусного сопряжения прямолинейных участков возникают упругие деформации. Максимальное значение деформаций не превышает предельно допустимой упругой деформации выбранного для изготовления упругой планки материала. Предложена конструкция универсального штампа для двухугловой гибки со сменными пуансонами с различным поднутрением и упругими планками. Разработанный штамп для двухугловой гибки защищен патентом РФ на полезную модель №153887.

В заключении диссертационного исследования сформулированы основные научные результаты, полученные автором, их последовательность и содержание отражают структуру работы, соответствуют поставленным задачам и свидетельствуют о полноте их решения.

Таким образом полностью решены поставленные задачи исследования и достигнута цель диссертационной работы.

**Научная новизна.** В процессе проведения научных исследований автор диссертации получил следующие значимые результаты, которые обладают научной новизной:

- разработана новая аналитическая модель процесса гибки листовых материалов, учитывающая такие факторы, как утонение заготовки, анизотропия пластических свойств и деформационное упрочнение заготовки;
- предложен новый метод двухугловой гибки плоских заготовок, основанный на использовании упругих элементов в штампе;
- выявлены зависимости для определения геометрических размеров упругих планок и особенностей напряженно-деформируемого состояния при двухугловой гибке в штампах с упругими элементами;
- разработан новый подход к проектированию универсальной штамповой оснастки с упругими элементами, позволяющий выполнять двухугловую гибку П-образных деталей с максимальной эффективностью и точностью.

Научная новизна подтверждена наличием патента на полезную модель штампа для гибки листовых материалов (РФ № 153887), который позволяет упростить и ускорить процесс двухугловой гибки, а также улучшить качество готовых деталей.

Полученные результаты соответствуют п. 4 «Технологии ковки, прессования, листовой и объемной штамповки и комплексных процессов с обработкой давлением, например, непрерывного литья и прокатки заготовок» и п. 6 «Методы оценки напряженного и деформированного состояния и способы увеличения жесткости, прочности и стойкости штампового инструмента» паспорта специальности 2.5.7 – Технологии и машины обработки давлением.

**Теоретическая и практическая значимость.** Теоретическая и практическая значимость работы состоит в том, что разработана аналитическая модель гибки листовых материалов и способ двухугловой гибки П-образных деталей, которые позволяют учитывать различные факторы, влияющие на процесс гибки. Это обеспечивает возможность проводить более точные расчеты и управлять величиной пружинения детали, что повышает эффективность процесса гибки и качество готовых изделий. На основе теоретических и экспериментальных исследований разработаны и внедрены в производство руководяще-технические материалы, содержащие рекомендации по реализации разработанного способа гибки, конструкции штамповой оснастки, режимам гибки, техническим требованиям к изделиям.

Приоритет разработанных технических решений подтвержден публикациями в рецензируемых изданиях и докладами на международных и всероссийских конференциях.

**Замечания по диссертационной работе.** В автореферате и диссертационной работе имеются следующие недостатки:

По автореферату:

1. В автореферате не указано, можно ли применять упругие планки в других конструкциях штамповой оснастки для получения других видов V-образных и S-образных деталей.

2. В автореферате не представлен полная модель процесса двухугловой гибки, а также полученные детали после моделирования, как с использованием упругих планок, так и без них.

3. При описании работы разработанных способов не указано, как готовая деталь снимается с пуансона.



По диссертации:

1. Необходимо пояснение в том, почему экспериментальный штамп имеет отличный вид от схемы штамповой оснастки, представленной на рисунке 4.24.

2. Экспериментальная оснастка не проходила испытания в реальных производственных условиях, а была продемонстрирована только в работе лаборатории. В связи с этим сложно оценить полную технико-экономическую эффективность. При значительной номенклатуре гнутых деталей в заготовительно-штамповочном производстве авиационных заводов применение такого универсального штампа было бы обосновано.

3. Нет указаний по существующим ограничениям размеров деталей, получаемых с использованием упругих планок.

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

**Заключение.** Диссертационная работа Кузина Александра Олеговича является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей важное промышленное значение – снижение величины упругого пружинения при двухугловой гибке деталей за счет применения упругих элементов в конструкции штамповой оснастки.

Научная ценность исследования заключается в новизне результатов, полученных в ходе теоретических и практических исследований процесса двухугловой гибки. Практическая значимость работы заключается в рекомендациях по использованию этого процесса для формирования деталей с помощью двухугловой гибки.

Достоверность изложенных в диссертации результатов подтверждается использованием современных методик исследования, применением статистической обработки и опробованием методики в условиях действующего производства.

Количество и качество публикаций Кузина А.О. отвечает п. 11, 13 Положения о присуждении ученых степеней. Автореферат диссертации достаточно полно отражает ее содержание и соответствует требованиям п. 25 Положения о присуждении ученых степеней.

Поставленная цель, задачи исследования, и, соответственно, содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 2.5.7 – Технологии и машины обработки давлением.

Все перечисленное дает основания считать, что представленная диссертационная работа Кузина А.О., несмотря на отдельные замечания непринципиального характера, соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (ред. от 11.09.2021 г.). Автор диссертации, Кузин Александр Олегович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.7 – Технологии и машины обработки давлением.

Я, Марковцев Владимир Анатольевич, выражаю согласие на включение своих персональных данных в аттестационное дело соискателя Кузина А.О. и их дальнейшую обработку.

Генеральный директор  
АО «Ульяновский НИАТ», д.т.н.



В.А. Марковцев

28.03.2024