

В Диссертационный совет 24.2.379.05  
на базе ФГАОУВО «Самарский национальный  
исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева»

## ОТЗЫВ

официального оппонента к.т.н., доцента Типалина Сергея Александровича  
на диссертацию Кузина Александра Олеговича  
выполненную на тему: «Снижение пружинения при двухугловой гибке за  
счет использования упругих элементов в штамповой оснастке» и  
представленную к защите на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности 2.5.7. – Технологии и машины обработки  
давлением

### **Актуальность работы.**

Гибка является распространенной операций холодной листовой штамповки. Одной из проблем получения качественного изделия с помощью операции гибка является пружинение листового материала после снятия нагрузки. Для решения данной проблемы возможно: введение дополнительная операция правки, изменения в технологического процесса получения изделия или усложнение штамповочного инструмента. Особенно актуальность устранения пружинения возникает при двухугловом изгибе листа. Действительно формирования вертикальных полок в гибочном штампе снижает возможность осуществления изгиба заготовки на большую величину или приложения равномерно распределенных сжимающих сил по нормали к изгибаемому участку заготовки.

Входящий № 206-2020  
Дата 01 АПР 2024  
Самарский университет

В связи с этим диссертационная работа Кузина Александра Олеговича, направленная на снижение пружинения при двухугловой гибке за счет использования упругих элементов в штамповой оснастке является актуальной.

### **Научная и практическая значимость результатов исследований.**

Результаты, представленные в диссертационной работе, имеют научную новизну и практическую ценность, и вносят вклад в развитие существующих представлений двухуглового изгиба П-образных деталей позволяющих комплексно учесть влияние утонения заготовки, пластической анизотропии свойств и деформационного упрочнения заготовки. Предложенный автором способ двухуглового изгиба плоской заготовки, позволяющий снизить пружинение детали за счет использования в конструкции штамповой оснастки упругих элементов, был реализован в виде универсальной штамповой оснастки. Получены новые аналитические результаты исследования, дают возможность проводить расчеты геометрических размеров упругих планок для компенсации пружинения в зависимости от деформируемой заготовки и материалов упругих элементов. Достоверность полученных результатов подтверждена экспериментально. Диссертантом разработана и внедрена методика проектирования штамповой оснастки для двухуглового изгиба П-образных деталей с использованием упругих планок.

**Достоверность результатов** обеспечивается большим объемом экспериментального материала приведенных автором в работе, использованием апробированных программных продуктов, обоснованностью применением известных математических методов и сопоставлением полученных расчетных результатов с экспериментальными данными, полученными как лично автором, так и в других исследованиях, Результаты работы прошли апробацию в промышленности, что подтверждается актом внедрения.

### **Соответствие паспорту специальности**

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 2.5.7. Технологии и машины обработки давлением, в части областей исследования:

– п. 4. «Технологииковки прессования, листовой и объемной штамповки и комплексных процессов с обработкой давлением, например, непрерывного литья и прокатки заготовок»;

– п. 6. «Методы оценки напряженного и деформированного состояния и способы увеличения жесткости, прочности и стойкости штампового инструмента».

### **Структура и содержание работы.**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 89 наименований и приложения.

*Во введении* обоснована актуальность темы, сформулирована цель и поставлены задачи работы.

*В первой главе* на основе анализа современного состояния вопроса о двухуглового изгиба приведены недостатки, влияющие на качество получаемого изделия. Описаны методики относящиеся к расчету процесса формоизменения, приведены и проанализированы схемы изгиба. По данному вопросу описаны определения пружинения листового материала для П-образной гибке.

Отмечено перспективность применения в штампах упругодеформируемых элементов, но сделан вывод, что имеющиеся способы не обеспечивают в полной мере контролируемого снижения пружинения.

*Во второй главе* автором диссертации была предложена математическая модель взаимодействия заготовки и инструмента, позволяющая рассчитать напряженно-деформированное состояние заготовки, предельных деформаций и силовых параметров процесса. Приведены формулы для определения пружинения при разгрузке.

В работе показано, что деформация изгибаемой детали зависит от направления прокатки листовой заготовки. Предложены формулы для определения угла пружинения при разгрузке с изменением кривизны срединной поверхности заготовки.

*В третьей главе* представлен разработанный автором способ двухуглового изгиба П-образных деталей, который обеспечивает компенсацию пружинения за счет предварительного увеличенного изгиба детали на угол больше  $90^\circ$ . Для предложенного способа изгиба приведены формулы для расчета требуемых параметров. Для рассматриваемого технологического процесса разработана методика расчета и проектирования, которая описана в руководящих-технических материалах (внедрены в практику ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс»).

*В четвертой главе* разработана компьютерная модель описывающая процесс двухуглового изгиба с упругим прижимом заготовки, которая реализована в программном комплексе DEFORM-2D. Расчетным путем проведена конечно-элементная и экспериментальная проверка способа двухуглового изгиба с упругим прижимом заготовки. Подтверждена возможность компенсации пружинения при двухугловой гибке без принципиального изменения схемы штамповки за счет поднутрения на пуансоне и установке различных видов упругих планок. Экспериментально бесконтактным методом подтверждено, что при выпрямлении упругой планки выталкивателем на ее поверхности в зоне радиусного сопряжения прямолинейных участков возникают только упругие деформации

Диссертация заканчивается *выводами* и *списком литературы*.

По работе имеются некоторые замечания:

1. В диссертации указывается условие пластичности с использованием коэффициента Лоде. Классический коэффициент Лоде должен быть от 1 до 1,15 (для осесимметричного напряженного состояния равен 1, а для плоского напряженного состояния равен 1,15). Другие значения, вне этих величин, для данного коэффициента некорректны.

Однако, справедливо отмечено, что свойства листового материала будут существенно отличаться в зависимости от направления прокатки. Для учета этих свойств можно применять разные зависимости кривых упрочнения для каждого направления волокон, или вводить другой коэффициент учитывающий эти изменения, но не ассоциировать эти изменения с коэффициентом Луде.

2. Условие устойчивости пластической деформации для процесса кругового изгиба не эквивалентно условию устойчивости одноосного растяжения материала, т.к. не учитывается градиент напряжения. Поэтому описанное соотношение может только приближенно описывать предельную деформацию наружного слоя при гибке.
3. В работе используется формула расчета деформации как относительное удлинение, а не как логарифмическая (истинная) деформация. Однако при крутом изгибе (при относительно небольшом радиусе изгиба) имеет место зона знакопеременной деформации, что будет влиять на накопление ошибки при численном расчете изгиба.
4. В работе приводится расчет упругой подгибной планки на прочность. Автором берется запас на прочность 10% (0,9 от предела текучести), а нужно брать запас от усталостной прочности материала, т.к. эта планка работает при знакопеременной нагрузке.

Отмеченные замечания существенно не снижают высокий уровень диссертационной работы и не влияют на ее общую положительную оценку.

Основное содержание диссертации отражено в 5 опубликованных статьях входящих в Перечень ВАК РФ, 3 статьи отражены в изданиях индексируемых в международных базах Scopus и Web of Science. Следует отметить, что 2 статьи выполнены автором самостоятельно, без соавторов. Результаты работ были представлены в научных конференциях, о чем свидетельствуют 5 публикаций по тематике диссертации. Также автором получен 1 патент на полезную модель.

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

