

На правах рукописи



ПРОСКУРИН АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ

**РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА И ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ
РЕВЕРСИВНОЙ ВЫРУБКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТОНКОЛИСТОВОГО
ПРОКАТА БЕЗ ЗАУСЕНЦЕВ**

Специальность 05.02.09 - «Технологии и машины обработки давлением»

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук**

Москва - 2016

Работа выполнена на кафедре «Технологии и оборудования в металлургии и машиностроении» Старооскольского технологического института им. А.А. Угарова (филиала) ФГОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор **Сергиев Аркадий Петрович**

Официальные оппоненты:

Корольков Владимир Иванович доктор технических наук, профессор, ГОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", заведующий кафедрой самолетостроения

Лисунец Николай Леонидович кандидат технических наук, доцент, ФГОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», доцент кафедры обработки металлов давлением.

Ведущая организация:

ФГОУ ВПО «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)».

Защита состоится «06» апреля 2016 года на заседании диссертационного совета Д212.132.09 при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по адресу: 119049, г.Москва, Ленинский проспект, д.4

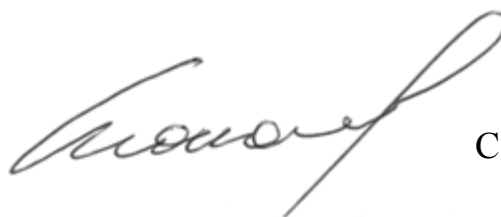
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте НИТУ «МИСиС» www.misis.ru

Автореферат разослан «__» февраля 2016 года

Справки по телефону: (495)955-01-27

E-mail: pdss@misis.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета



С.М.Ионов

Общая характеристика работы

Актуальность темы

Заусенцы, образующиеся при вырубке тонколистовых деталей, представляют собой разновидность выступающих дефектов кромок и являются одним из показателей качества. Эти дефекты, как правило, нежелательное следствие технологического процесса производства, отрицательно сказывающееся на всех его этапах. В этой связи в технологический процесс изготовления деталей вводят дополнительные операции. Доля операций по удалению заусенцев может составлять до 30% от трудоёмкости штамповки детали, а в оптико-механической и электронной промышленности превышает её в 4-5 раз.

Чтобы избежать введения дополнительных операций в технологический процесс, используют способы и методы чистовой штамповки. Например, в часовой и оптикомеханической промышленности применяют прессы чистовой вырубки фирмы «Файнтулл», однако в конструкции штампов имеется клиновидное ребро, расположенное на расстоянии эквидистантном контуру вырубки детали, которое с одной стороны создает напряженное состояние всестороннего неравномерного сжатия, что обеспечивает получение среза без заусенцев, а с другой стороны приводит к превышению расхода металла.

В патентах на устройства, реализующие метод реверсивной вырубки, приведено описание штампов, предназначенных для применения только на кривошипных и гидравлических прессах. В конструкции запатентованных штампов реверсивной вырубки имеются быстроизнашиваемые элементы, которые ограничивают межремонтный ресурс.

В настоящее время отсутствуют технологии, позволяющие при небольших финансовых вложениях устранить образование заусенцев или свести их к минимуму, сохраняя высокую производительность процесса вырубки.

Объектом исследования являются детали из тонколистового проката толщиной от 1,5 до 4 мм, с размерами от 5 до 32 мм, изготавливаемые из стали и сплавов цветных металлов.

Предметом исследования является процесс изготовления деталей из тонколистового проката реверсивной вырубкой без заусенцев.

Цель работы – исследование режимов реверсивной вырубки и разработка устройства для изготовления деталей из тонколистового проката без заусенцев.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи исследования:

- определить диапазон изменения режимов реверсивной вырубки, влияющих на величину заусенцев, образующихся на кромках деталей;
- разработать испытательный стенд с управляемой величиной режимов реверсивной вырубки;
- разработать математическую модель процесса реверсивной вырубки в виде уравнения регрессии с экспериментальным подтверждением экстремальных значений целевой функции;
- разработать практические рекомендации применения режимов реверсивной вырубки в зависимости от механических свойств материала заготовки;
- разработать устройство для изготовления деталей из тонколистового проката без заусенцев, реализующее процесс реверсивной вырубки с заданными режимами в условиях серийного производства;
- испытать разработанное устройство с заданными режимами в условиях производства.

Методика экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования выполнены на основе физического и компьютерного моделирования с использованием методов планирования эксперимента, макроструктурных исследований и электронной микроскопии,

регрессионного анализа и математической статистики, стандартных и специализированных программ для персонального компьютера, в том числе – реализующих метод конечных элементов в программном комплексе DEFORM-3D.

Достоверность результатов

Достоверность научных положений, зависимостей, выводов и рекомендаций работы подтверждается:

- 1) выполнением исследований экспериментальных образцов на сертифицированном оборудовании в лаборатории;
- 2) использованием для компьютерного моделирования лицензионного программного комплекса DEFORM-3D;
- 3) применением известных математических методов;
- 4) сходимостью полученных теоретических результатов с экспериментальными данными (максимальное расхождение не превышает 6,4%);
- 5) успешным промышленным апробированием и запланированным дальнейшим внедрением на ЗАО «СОАТЭ» (Справка об одобрении от 31.07.2013 №02/8220).

Научная новизна

1. Разработана математическая модель, описываемая уравнением регрессии в виде полинома первой степени, которая позволила установить значения режимов реверсивной вырубки, обеспечивающих изготовление деталей без заусенцев.
2. Установлены взаимосвязи между режимами реверсивной вырубки и величиной образующихся на изготавливаемых деталях заусенцев.
3. Определены диапазоны режимов реверсивной вырубки, при которых изготовленные детали не имеют заусенцев.

4. Экспериментально установлены соотношения механических свойств обрабатываемых материалов и параметров прямого и обратного деформирования.

Практическая значимость работы

На основе установленных режимов реверсивной вырубки разработано устройство реверсивной вырубки деталей без заусенцев из тонколистового проката, защищенное патентом на изобретение №2399451 и патентом на полезную модель №126270.

Сформулированы рекомендации по применению режимов реверсивной вырубки в зависимости от механических свойств материала заготовки.

Практическая ценность и новизна подтверждаются также тем, что результаты диссертационного исследования используются при проведении лекций и практических занятий по дисциплинам «Математическое моделирование в машиностроении» и «Организация и планирование эксперимента».

Положения, выносимые на защиту

1. Результаты экспериментальных исследований влияния режимов реверсивной вырубки на образование заусенцев по контуру детали: а) влияние числа прямого и обратного деформирования на повышение прочности материала заготовки; б) влияние соотношения прямого и обратного деформирования;
2. Математическая модель, описываемая уравнением регрессии в виде полинома первой степени для различных материалов, адекватно описывающая влияние параметров формоизменения при реверсивной выручке на высоту заусенцев и позволяющая устанавливать параметры, исключаящие образование заусенцев.
3. Конструкция инструментальной оснастки (Патент на полезную модель №126270) к прессу МАГ 05 для реализации процесса реверсивной вырубки деталей из тонколистового проката без образования заусенцев.

4. Практические рекомендации по применению режимов реверсивной вырубки в зависимости от механических свойств материала заготовки.

Апробация результатов работы

Основные положения диссертации неоднократно излагались и обсуждались на научных семинарах кафедры «Технологии и оборудования в металлургии и машиностроении им. В.Б. Крахта» СТИ «НИТУ МИСиС», а также на научном семинаре кафедры «Обработки металлов давлением» НИТУ МИСиС.

Кроме этого, по результатам работы были сделаны доклады на конференциях:

1) Международной научно-практической конференции преподавателей, сотрудников и аспирантов (Старый Оскол, СТИ НИТУ МИСиС, 2009); 2) IV Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научный потенциал студенчества в XXI веке» (Ставрополь, 2010); 3) Всероссийской научно-практической конференции преподавателей, сотрудников и аспирантов с международным участием (Старый Оскол, СТИ НИТУ МИСиС, 2011); 4) Международной научно-технической конференции «Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки» (Ростов-на-дону, ДГТУ, 2013); 5) IX Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов (Старый Оскол, СТИ НИТУ «МИСиС», 2013); 6) Международной научно-практической конференции (Тамбов, 2015); 7) XII Всероссийской научно-практической конференции (Старый Оскол, СТИ НИТУ «МИСиС», 2015).

Публикации

Основные теоретические и практические результаты диссертации изложены в пяти статьях, пять из которых – в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных в действующем перечне ВАК; получено 2 патента на изобретение и полезную модель.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав и выводов по работе, изложена на 175 страницах машинописного текста, содержит 45 рисунков, 26 таблиц, библиографический список из 142 наименований, 6 приложений.

Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность работы, изложены методы исследования влияния параметров технологического процесса листовой вырубки на величину заусенцев, научная новизна и практическая значимость работы.

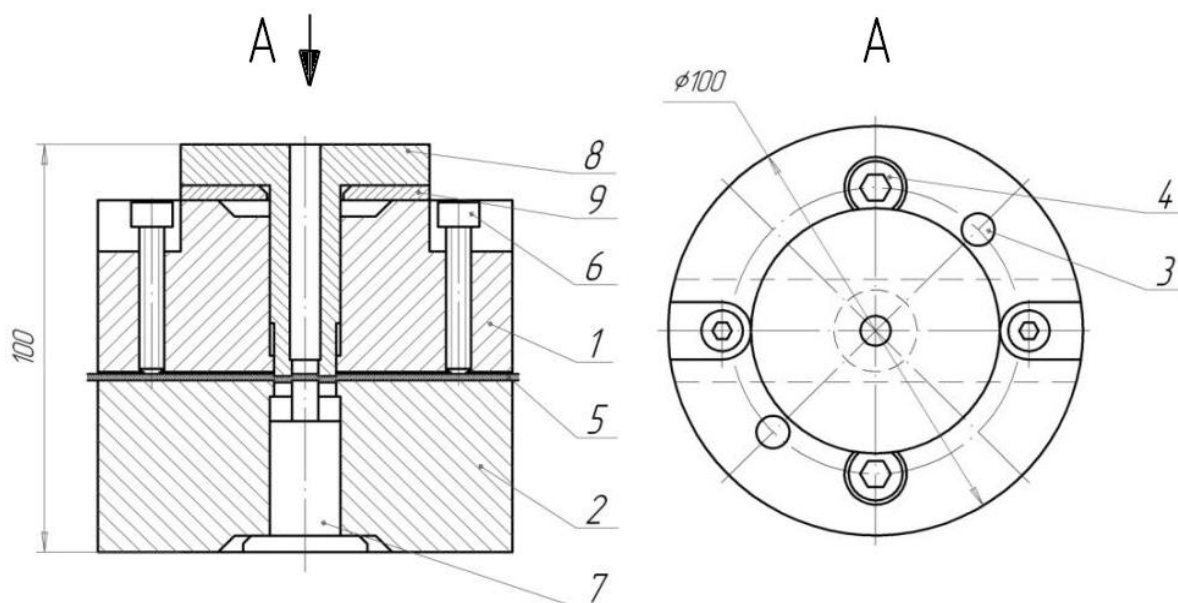
В первой главе дается анализ современного состояния исследований вырубных операций листовой штамповки, изложена цель, задачи представленной работы и основные положения, выносимые на защиту.

Представлено описание основных факторов, влияющих на качество поверхности среза при холодной листовой вырубке, среди которых величина зазора между режущими кромками рабочего инструмента, наличие прижима, скорость сдвига металла при вырубке, смазка при вырубке, физико-механические характеристики обрабатываемого материала.

Приведено описание методов и способов, применяемых для получения деталей с минимальной величиной заусенцев. Предлагаемые разработки имеют чрезвычайно узкую область применения и не позволяют решить проблему предотвращения появления заусенцев.

Во второй главе разработана общая методика исследований, дано описание экспериментального оборудования и метрологического обеспечения.

Для того, чтобы иметь возможность регулирования параметров в заданных диапазонах, был спроектирован и изготовлен экспериментальный штамп (рисунок 1) и испытательный стенд на базе эксцентрикового прессы (рисунок 2).

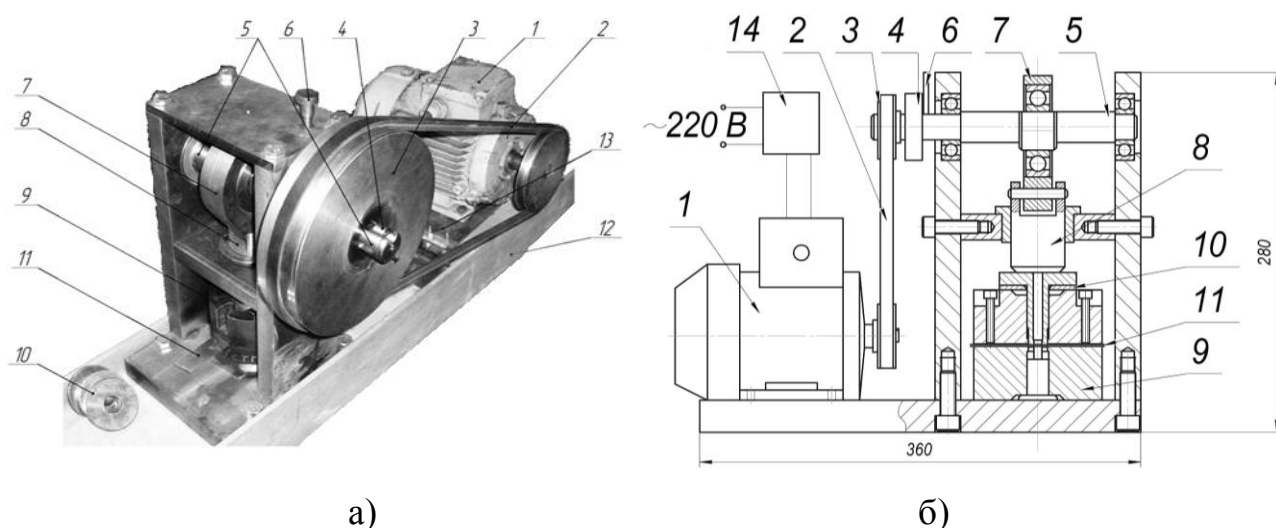


1 – матрица; 2 – матрица; 3 – штифт; 4 – винт; 5 – заготовка; 6 – винт;
7 – пуансон; 8 – пуансон-матрица; 9 – ограничительная шайба

Рисунок 1 – Экспериментальный штамп

Заготовка в виде ленты закреплялась в экспериментальном штампе, который посредством шайбы 9 обеспечивает фиксированную величину прямого и обратного деформирования. Штамп помещался в испытательный стенд для осуществления деформирования необходимое количество раз. Тарированные шайбы выполнены различной толщиной и заменялись для обеспечения нужного соотношения прямого и обратного деформирований согласно заданному интервалу варьирования. Для обеспечения заданной скорости вырубки изменялось число оборотов электродвигателя через частотный преобразователь марки SV 022 iC5-RUS.

Для измерения величины заусенцев использовался комплекс оптических и электронных приборов, состоящий из персонального компьютера модели emachines eM350 с программным обеспечением Scope Photo, цифровая камера-окуляр модели DCM510 и универсальный микроскоп МБС – 10. Точность измерений составляла 3 мкм.



а) б)

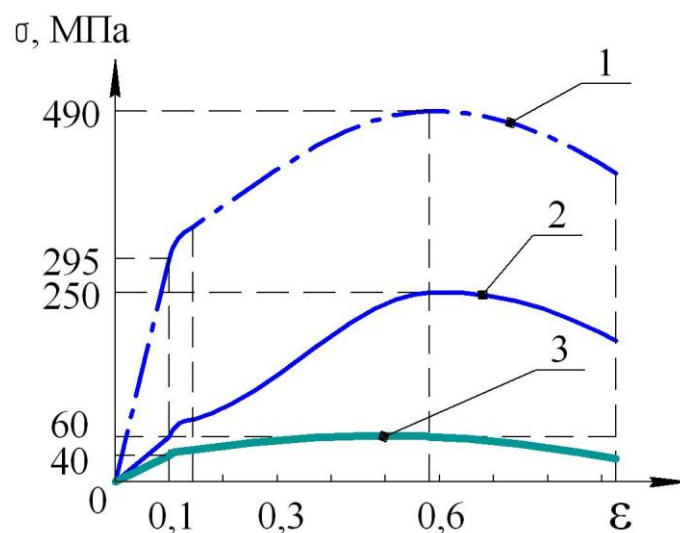
1 – электродвигатель, 2 – клиноременная передача, 3 – маховик, 4 – шпоночная муфта, 5 – вал с эксцентриситетом, 6- рычаг, 7 – шатун, 8 – ползун, 9 – штамп, 10 – ограничительные шайбы, 11 – заготовка ленты, 12 – станина испытательного стенда, 13 – механизм натяжения ремня, 14 – частотный преобразователь

Рисунок 2 – Испытательный стенд: а) внешний вид; б) схема

В третьей главе представлен анализ результатов экспериментов, разработан план полного факторного эксперимента, выявлены параметры формоизменения, оказывающие влияние на образование заусенцев и определены интервалы варьирования параметров. Все эксперименты проводились на детали шайба, толщиной 1,5 мм, получаемой из Стали 30, меди М1 и технического алюминия АД1, при зазоре между пуансоном и матрицей выбранном по справочнику (5% от толщины заготовки - 0,075 мм на сторону) и при комнатной температуре. Механические свойства материалов образцов представлены на рисунке 3 и в таблице.

Таблица 1 – Механические свойства материалов образцов для проведения экспериментов

Механические характеристики	Материал заготовки		
	АД1	М1	Сталь 30
Временное сопротивление σ_b , МПа	60	220...250	490
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	40	60-75	295
Относительное удлинение δ , %	30	40...50	21

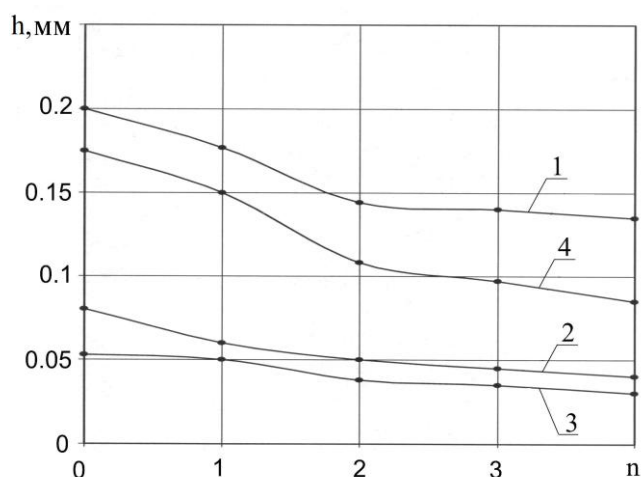


1 – Сталь 30, 2 – медь М1, 3 – технический алюминий АД1

Рисунок 3 – Диаграмма растяжения для материалов образцов

Для уточнения диапазона изменения параметров были проведены эксперименты по исследованию числа деформирований до окончательной вырубки, при котором наблюдается наибольшее снижение пластичности материала, что способствует уменьшению величины заусенцев (рисунок 4).

Установлено, что для всех исследованных материалов наблюдается наибольшее снижение пластичности материала при числе деформирований до окончательной вырубки $n=2$, что означает вырубку за три перехода, то есть: первый переход Δ_1 – прямое деформирование на определенную величину; второй переход Δ_2 – обратное деформирование на определенную величину; третий переход Δ_3 – окончательная вырубка готовой детали. При дальнейшем увеличении до $n=4$ наблюдается не существенное снижение пластичности. Это свидетельствует о том, что материал заготовки имеет предел способности к наклепу, который достигается при числе деформирований до окончательной вырубки $n=2$, при дальнейшем увеличении числа n значительного увеличения наклепа не происходит.



1 – медь М1, 2 – Латунь Л63, 3 – технический алюминий АД1, 4 – Сталь 30

Рисунок 4 – Зависимость средней высоты заусенцев h от числа деформирований до окончательной вырубки n

В экспериментах по определению влияния скорости деформирования при $\Delta_1=20\%$, $\Delta_2=40\%$ (рисунок 5) установлено, что изменение скорости до 1,04 мм/с, не оказывает влияния на величину заусенцев, а при увеличении скорости вырубки от 1,54 до 2,04 мм/с, заусенцы уменьшаются на 107 мкм. Это объясняется тем, что при увеличении скорости вырубки материал заготовки не деформируется, а разрушается. Таким образом, скорость вырубки V при реверсивном деформировании определяется в диапазоне от 2,04 до 2,54 мм/с, так как в этом интервале кривая уменьшения заусенцев асимптотически приближается к оси изменения скорости. Дальнейшее увеличение скорости станет экономически не эффективным из-за применения дополнительного или дорогостоящего оборудования для осуществления процесса вырубки с большей скоростью, чем 2,54 мм/с, поэтому дальнейшие экспериментальные исследования целесообразно проводить при скорости вырубки $V = 2,54$ мм/с.

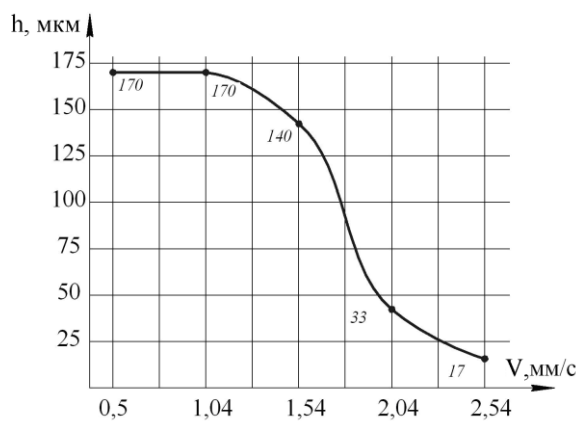
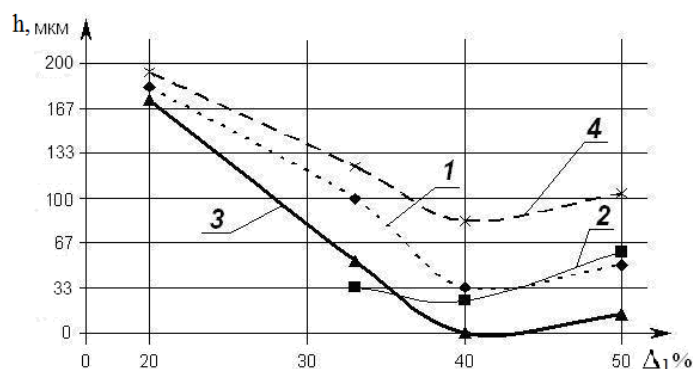


Рисунок 5 – Изменение величины заусенца h от скорости деформирования V при $\Delta_1=20\%$, $\Delta_2=40\%$.



обратное деформирование
1–20%; 2–33%; 3–40%; 4 – 50%
Рисунок 6 – Зависимость величины заусенцев от величины обратного деформирования при прямом деформировании образцов из Стали 30

Исследования соотношения прямого и обратного деформирования на Стали 30, показали, что величина образующихся заусенцев была минимальной при соотношении 40/40% (рисунок 6). Для сплавов из цветных металлов это соотношение 50/50%.

При многократном деформировании снижается начальный предел текучести и увеличивается временное сопротивление, что приводит к получению деталей без заусенцев, но при избыточном увеличении предела прочности и снижении предела текучести наблюдается преждевременное разрушение материала заготовки. Результатом такого разрушения является наличие дефектов на кромках деталей в виде заусенцев.

В четвертой главе представлено описание полного факторного эксперимента (ПФЭ), проведена оценка адекватности математической модели, постадийного исследования деформирования, выбора технологических материалов и расчета усилия вырубки.

По плану полного факторного эксперимента в качестве варьируемых параметров приняты: $\tilde{X}_1$ – скорость вырубки, мм/с; $\tilde{X}_2$ – прямое

деформирование, %; $\tilde{X}_3$ – обратное деформирование, % от толщины материала, функция отклика – высота заусенцев h , мкм.

После проведения регрессионного анализа по критериям Кохрана, Стьюдента и Фишера математические модели примут окончательный вид:

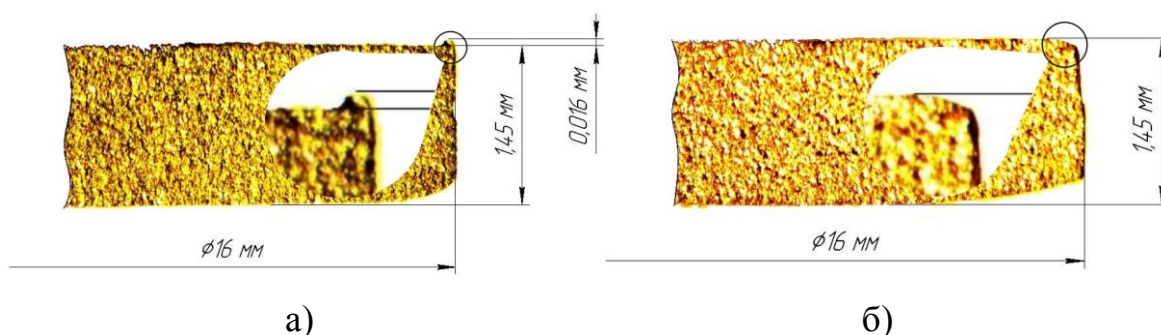
$$\text{Сталь 30} \quad h_{Cm30} = 59.75 - 2.5X_1 + 6.75X_2 - 5.75X_3; \quad (1)$$

$$\text{АД1} \quad h_{AD1} = 45.375 - 2.175X_1 + 3.375X_2 - 12.875X_3; \quad (2)$$

$$\text{М1} \quad h_{M1} = 46.75 - 5.75X_1 + 4.25X_2 - 11.0X_3. \quad (3)$$

Структура математических моделей показывает, что они однородны и характер влияния доминирующих факторов одинаков.

На макрошлифе разреза образца из материала М1 хорошо виден заусенец величиной 160 мкм, так как вырубка была произведена при недостаточном соотношении прямого и обратного деформирования (рисунок 7 а), а при оптимальных параметрах технологического процесса реверсивной вырубки заусенец отсутствует (рисунок 7 б).

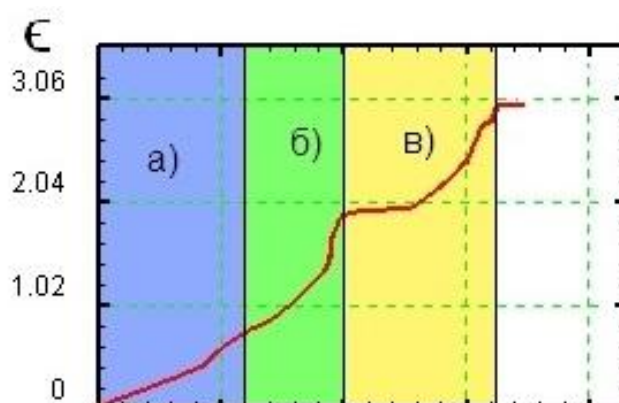


а) при прямом 10% и обратном деформировании 20%; б) при прямом 50% и обратном деформировании 50%

Рисунок 7 – Макрошлиф разреза шайбы из медного сплава М1

Проведены теоретические расчеты и исследования в системе моделирования DEFORM-3D. На рисунке 8 представлено изменение накопленной деформации ϵ в зависимости от абсолютного перемещения деформируемой части заготовки из материала М1. В диапазоне а) происходит прямое деформирование, деформация материала равномерно накапливается. Затем в диапазоне б) происходит возвращение заготовки в исходное положение

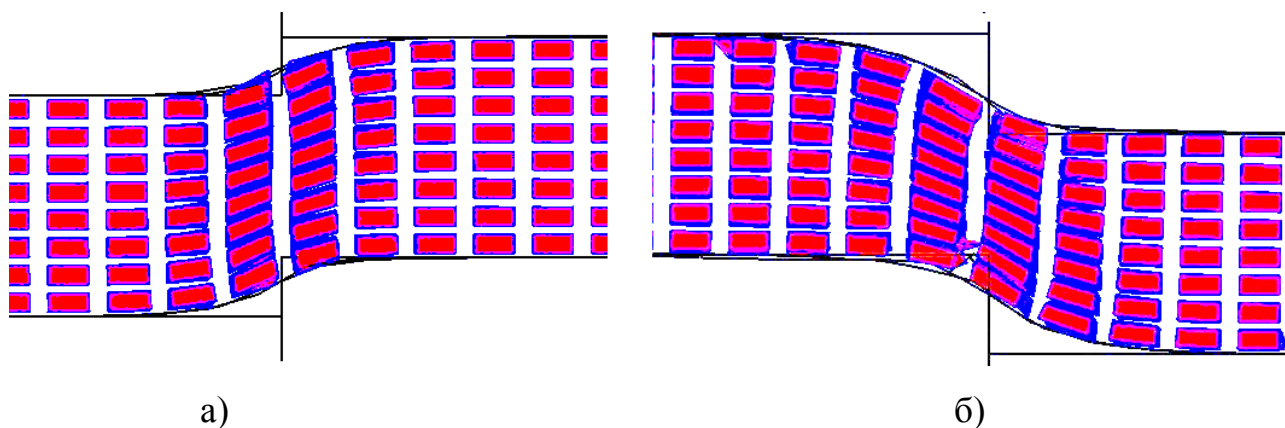
и обратное деформирование, в конце этого диапазона наблюдается скачек накопления деформации, что свидетельствует о повышении прочности материала образца. После чего, в диапазоне в) происходит возвращение заготовки в исходное положение и осуществляется окончательная вырубка. Представленная зависимость позволяет сделать вывод о том, что с увеличением числа и величины деформирований увеличивается прочность материала.



а) прямое деформирование, б) обратное деформирование, в) окончательная вырубка

Рисунок 8 – Зависимость накопленной деформации от абсолютного перемещения деформируемой части заготовки.

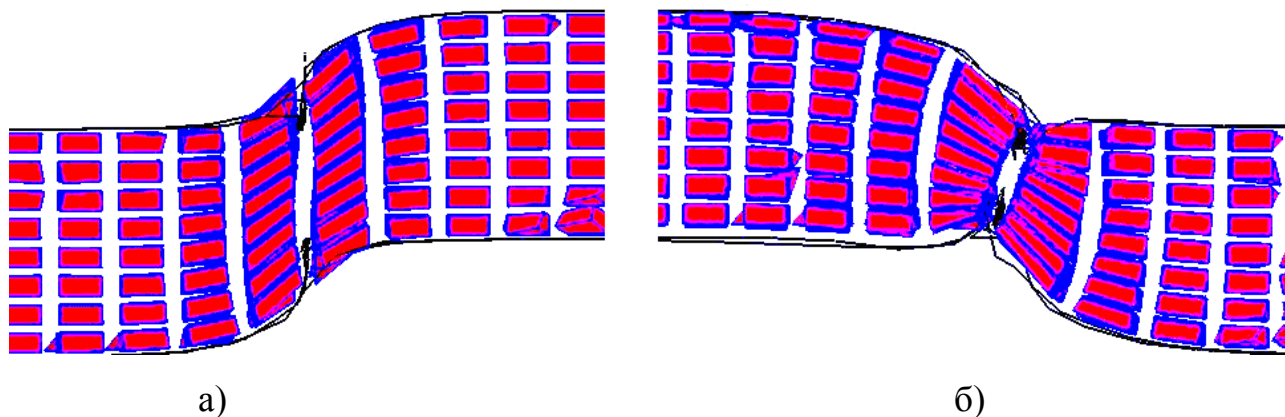
Чтобы сравнить изменение пластичности, при недостаточном и достаточном соотношении прямого и обратного деформирования, в системе моделирования DEFORM-3D заготовка материала М1 была представлена в виде сетки Лагранжа с размером ячейки 0,19х0,3 мм. В результате исследования выявлено, что при прямом деформировании на 25% от толщины материала и обратном на 45% уменьшение пластичности не происходит, так как сетка Лагранжа остается без изменений и возвращается в исходное состояние при обратном деформировании, в таком случае возможно образование заусенцев при окончательной вырубке (рисунок 9).



а) прямое деформирование 25%, б) обратное деформирование 45%,.

Рисунок 9 – Вид искаженной сетки Лагранжа при недостаточном соотношении прямого и обратного деформирования

При увеличении прямого деформирования до 50% и обратного деформирования до 50% от толщины материала ячейки сетки Лагранжа вытягиваются и сужаются в месте деформирования, что позволяет сделать вывод об уменьшении пластичности, а следовательно и об уменьшении вероятности образования заусенцев (рисунок 10).

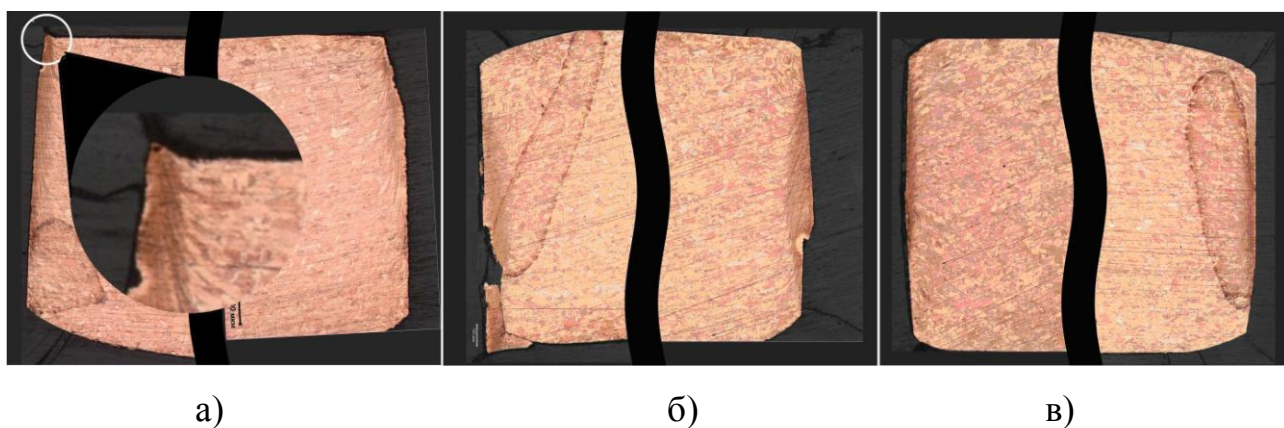


а) прямое деформирование 50%, б) обратное деформирование 50%.

Рисунок 10 – Вид искаженной сетки Лагранжа при достаточном соотношении прямого и обратного деформирования

Для практического подтверждения процессов происходящих при реверсивной вырубке и рассчитанных в системе моделирования деформационных процессов, были проведены исследования на каждой стадии деформирования. На диаметрально разрезанных шлифованных и вытравленных

образцах при 30-ти кратном увеличении видно, что при недостаточном соотношении (рисунок 11 а) прямого и обратного деформирования пластичность не уменьшается и на готовой детали образуется заусенец, а при избыточном соотношении (рисунок 11 б) прямого и обратного деформирования образуется рваная кромка на детали. При использовании прямого и обратного деформирования с теоретически рассчитанными по математической модели технологическими параметрами достигается получение листовой детали с полным отсутствием заусенца и наличием с обеих кромок образца характерного завала от вырубки (рисунок 11 в), в результате того что при деформировании с обратным знаком на определенную величину происходит уменьшение пластичности материала.



а) недостаточное соотношение 10/30%, б) избыточное соотношение 50/65%, в) достаточное соотношение 50/50%

Рисунок 11 – Макрошлиф образцов из М1 на этапе окончательной вырубки при различных соотношениях прямого и обратного деформирования (30-ти кратное увеличение)

Измерения микротвердости на разрезе образцов из медного сплава М1 показывают, что она увеличивается с приближением к зоне деформирования. На рисунке 12 точками указаны места, в которых были произведены измерения микротвердости. Значения измерений были переведены по таблицам в значение прочности σ . На рисунке 13 показана зависимость прочности материала от удаленности от зоны деформирования при различных сочетаниях деформирований.

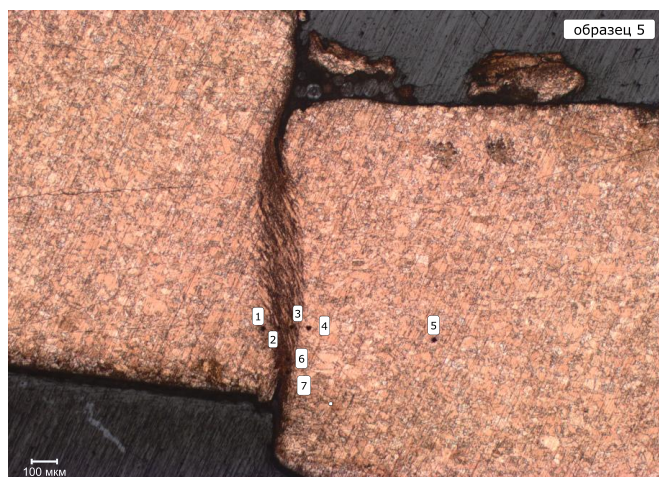
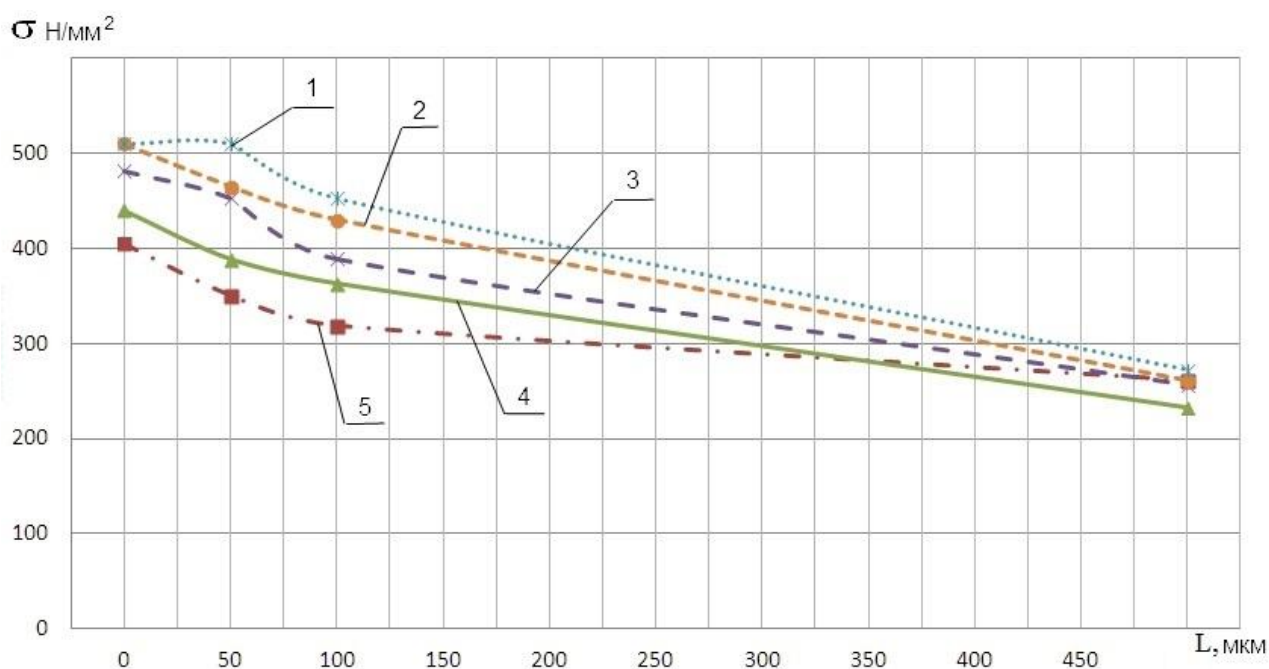


Рисунок 12 – Макрошлиф образца из медного сплава М1 при 100 кратном увеличении подвергнутого реверсивному деформированию ($\Delta_1=50$ и $\Delta_2=50\%$ с обозначением точек касания инструмента для измерения микротвердости)



1-обратное деформирование на 30%; 2- обратное деформирование на 50%; 3- прямое деформирование на 60%; 4- прямое деформирование на 35%; 5- прямое деформирование на 15%

Рисунок 13 – Влияние числа и величины деформирований на изменение прочности материала, измеренной при удалении от плоскости деформирования.

В результате, при теоретически рассчитанном соотношении прямого и обратного деформирования, прочность в зонах деформирования достигает максимальных значений. Это наблюдение свидетельствует о снижении пластичности материала заготовки и исключении появления заусенцев.

На основании экспериментальных данных установлено, что величину прямого и обратного деформирования необходимо определять в зависимости от пластичности материала заготовки. Мерой пластичности является относительное удлинение δ , чем больше δ , тем более пластичным считается материал. При относительном удлинении δ от 27% и выше, что характерно для сплавов из цветных металлов, применима величина прямого и обратного деформирования равная 50% от толщины заготовки. При относительном удлинении δ до 26%, что характерно для Конструкционных углеродистых сталей, применима величина прямого и обратного деформирования равная 40% от толщины заготовки.

В пятой главе представлено описание разработанного и запатентованного устройства для реверсивной вырубки деталей из листового материала, в котором профиль синхронно вращающихся кулачков за один оборот обеспечивает прямую, обратную деформацию и окончательную вырубку.

Отличительная особенность представленного устройства состоит в том, что для каждого процесса реверсивной вырубки используется кулачок, спрофилированный таким образом, чтобы, устанавливая величину скорости деформирования, величину прямого и обратного деформирования.

Для расчета радиусов кулачков был применен геометрический приближенный метод обращения движения. У кулачкового механизма, применяемого в конструкции реверсивного штампа, кулачек вращается вокруг оси, а выходное звено движется поступательно в направляющих. В результате расчета определена геометрия кулачка в зависимости от величины и скорости перемещения выходного звена.

Для того, чтобы представленное устройство реализовать в серийном производстве, была разработана и запатентована оснастка для пресса автомата модели МАГ – 05 [6], показанная на рисунке 14. Такая оснастка устанавливается на стол уже имеющегося в производстве пресса (рисунок 15 а)

и не требует приобретения дорогостоящего оборудования для реверсивной вырубки. В конструкции пресса (рисунок 15 б) имеется зубчатая передача, которая обеспечивает синхронное вращение всех кулачков, что позволяет реализовать рассчитанные режимы деформирования.

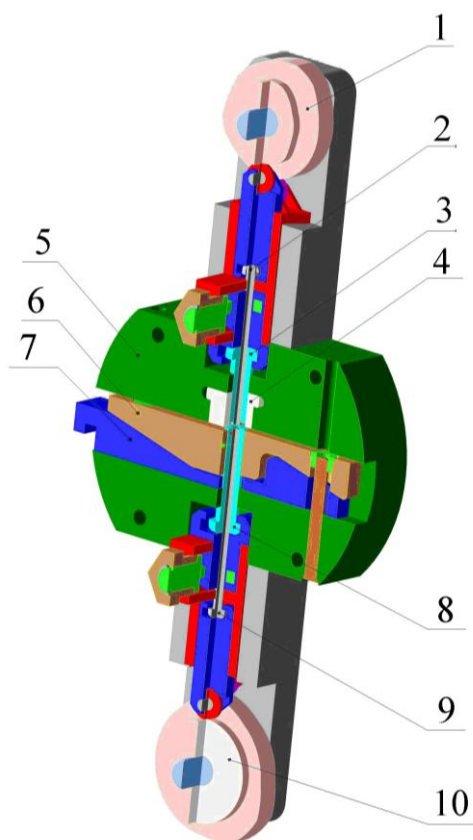
На основании результатов, полученных при проведении этой работы, можно выделить следующие рекомендации применения режимов реверсивной вырубки деталей без заусенцев, из тонколистового металла:

1. Использовать реверсивную вырубку целесообразно для стальных сплавов, у которых величина относительного сужения ψ превышает 10%, и для сплавов цветных металлов, у которых величина относительного удлинения δ превышает 10%;

2. Использовать знакопеременное деформирование при вырубке с числом реверсов $n=2$, то есть осуществлять вырубку за три перехода; прямое деформирование, обратное деформирование, окончательная вырубка. Так как экспериментально установлено, что пластичность снижается при числе реверсов $n=2$, в дальнейшем происходит стабилизация технологического процесса деформирования и уменьшение пластичности значительно снижается.

3. Использовать скорость вырубки в диапазоне от 2,04 до 2,54 мм/с, так как именно в этом диапазоне, величина заусенцев образовавшихся при вырубке значительно снижается, а при дальнейшем увеличении скорости остается постоянным.

4. Использовать для сплавов из цветных металлов оптимальное соотношение прямого и обратного деформирования – 50/50%, а для стальных сплавов 40/40%;



1 – верхний кулачек с двойным профилем, 2 – верхний пуансон, 3 – верхняя пуансон-матрица, 4 – вставка-матрица, 5 – основание, 6 – матрица прижимная, 7 – прижим, 8 – нижняя пуансон-матрица, 9 – нижний пуансон, 10 – нижний кулачек с двойным профилем.

Рисунок 14 – Твёрдотельная модель инструментальной оснастки для многоползункового автоматического прессы МАГ-05.



а) вид спереди



б) вид сзади

Рисунок 15 – Многоползунковый пресс-автомат МАГ

Применение инструментальной оснастки в серийном производстве характеризуется автоматическим циклом работы, высоким качеством изготовленных деталей без дополнительной механической обработки и снижением усилия вырубки в несколько раз, что обеспечит более высокую стойкость рабочих частей оснастки в сравнении с оснасткой обеспечивающей вырубку деталей за одно деформирование.

Выводы

1. Установлены режимы реверсивной вырубки, обеспечивающие получение деталей из листового проката без заусенцев:

- скорость деформирования в диапазоне от 2,04 до 2,54 мм/с.;
- прямое деформирование в диапазоне от 30 до 50% от толщины заготовки;
- обратное деформирование от 40 до 50% от толщины заготовки;
- количество деформирований до окончательной вырубки $n=2$.

2. Разработан и изготовлен испытательный стенд, позволяющий изменять такие режимы тонколистовой реверсивной вырубки как скорость деформирования, количество деформирований до окончательной вырубки, величины прямого и обратного деформирования.

3. По результатам полного факторного эксперимента разработана математическая модель процесса реверсивной вырубки, описываемая уравнением регрессии в виде полинома первой степени, позволяющая установить параметры технологического процесса, обеспечивающие получение изделий из сталей и сплавов цветных металлов без заусенцев.

4. Разработаны практические рекомендации определения режимов реверсивной вырубки:

- при относительном удлинении δ от 27% и выше, применима величина прямого и обратного деформирования равная 50% от толщины заготовки;

- при относительном удлинении δ до 26%, применима величина прямого и обратного деформирования равная 40% от толщины заготовки.

5. Разработано и запатентовано устройство для реверсивной вырубки листовых деталей, которое обеспечивает внедрение процесса реверсивной вырубки в производство посредством установки его на пресс МАГ 05. Запатентованное устройство обеспечивает: изменение скорости деформирования в диапазоне от 2,04 до 2,54 мм/с; изменение величины прямого и обратного деформирования в диапазоне от 30 до 50%, за счет моделирования профиля кулачка.

6. Разработанный процесс реверсивной вырубки был апробирован в производственных условиях ЗАО «СОАТЭ» и рекомендован к внедрению (справка об одобрении от 31.07.2013 №02/8220).

7. Результаты диссертационного исследования используются при чтении лекций и проведении практических занятий по дисциплинам «Математическое моделирование в машиностроении» и «Организация и планирование эксперимента» (справка о внедрении результатов научных исследований в учебный процесс).

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в рецензируемых научных изданиях:

1. Сергиев А. П., Логачев В. Н., Проскурин А. А. Влияние эффекта Баушингера на механизм формирования заусенцев при холодной листовой вырубке // Кузнечно-штамповочное производство. – 2008. – № 1. – С. 18-20.
2. Сергиев А. П., Проскурин А. А. Проведение контрольных экспериментов для оптимизации нового технологического процесса реверсивной вырубки листовых деталей // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2012. – № 5(295). – С. 99-103.

3. Сергиев А. П., Проскурин А. А. Минимизация высоты заусенцев при использовании эффекта Баушингера // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2013. – №3-2(299). – С. 35-39.
4. Сергиев А. П., Проскурин А. А. Оптимизация математической модели реверсивной вырубки // Кузнечно-штамповочное производство. – 2013. – № 6. – С. 19-22.
5. Сергиев А. П., Проскурин А. А., Макаров А. В. Исследование влияния соотношения первичной и реверсивной деформации на структурные изменения в зоне среза при холодной листовой штамповке // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. – №4(306). – С. 82-85.

Другие статьи, материалы конференций, патенты:

6. Патент 2399451 Российская Федерация, МПК В 21 D 28/14. Устройство для реверсивной вырубки шайбы из листовой заготовки / А.П. Сергиев, А.А. Проскурин, В.Н. Логачев - №2008145969/02; заявл. 21.11.2008; опубл. 27.05.2010; Бюл. №15. – 3 с.: ил.
7. Патент на полезную модель 126270 Российская Федерация, МПК В 21 D 28/14. Устройство реверсивной вырубки листовых деталей./ А.П. Сергиев, А.А. Проскурин - №2012125098/02; заявл. 15.06.2012; опубл. 27.03.2013; Бюл. №9. – 2 с.: ил.
8. Сергиев А. П., Проскурин А. А. Влияние параметров пластического растяжения на механизм образования заусенцев // Международная научно-техническая конференция «Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки». – Ростов-на-дону: ДГТУ, 2013;
9. Проскурин А.А. Взаимосвязь пластических свойств материалов с эффективностью применения реверсивной вырубки // Сборник трудов IX Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов. – Старый Оскол: СТИ НИТУ «МИСиС», 2013. – Т.1. – С. 143-147.

10. Сергиев А. П., Проскурин А. А., Макаров А. В. Снижение ресурса пластичности металла в зоне среза при реверсивной листовой вырубке // Образование и наука: современное состояние и перспективы развития: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. Т.3. – Тамбов, 2015.– С. 119-120 .
11. Сергиев А. П., Проскурин А. А., Макаров А. В. Исследование ресурса пластичности металла в зоне среза // Сборник трудов XII Всероссийской научно-практической конференции. – Старый Оскол: СТИ НИТУ «МИСиС», 2015. – Т.2. – С. 96-103.