

И 498410

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И ОРДЕНА
ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н. Э. БАУМАНА

На правах рукописи

РИС Виктор Владимирович

РАЗРАБОТКА РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И СТЕКЛОПЛАСТИКОВ
ХОЛОДНОЙ ОБЪЕМНОЙ ПЛАМПОВКОЙ

Специальность 05.03.05 -- Процессы и машины обработки давлением

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук



Москва 1991

Работа выполнена в Ленинградском государственном техническом университете

Официальные оппоненты:

заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
доктор технических наук, профессор ПОЛОВ Е.А.
доктор технических наук, профессор СОЛОВЦОВ С.С.
доктор технических наук, профессор ЕВСТРАТОВ В.А.

Ведущее предприятие: Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт технологии машиностроения (ВНИИТМАШ, г. Санкт-Петербург).

Защита диссертации состоится "12" февраля 1992 г.
в 14³⁰ часов на заседании специализированного совета Д053.15.05
при Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и
ордена Трудового Красного Знамени государственном техническом
университете им. Н.Э. Баумана, Москва,

2-я Бауманская

Ваш оппонент

ный

печатью, подписью

С диссертацией

им. Н.Э. Баумана

Автор

Ученый секретарь

специализированного

К.Т.Н.,

М 498410

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1498410

Рис В.В. Разработка ресурсо

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Для успешного решения задач экономического развития страны необходимо совершенствование трудоемких производственных процессов, у которых низкий уровень механизации и автоматизации, велики затраты ручного труда и материалов. К таким процессам относятся сборочные, трудоемкость которых в среднем по машиностроению СССР составляет 30% от трудоемкости изготовления изделий и занимает второе место после механической обработки. Проблема повышения эффективности сборочного производства в настоящее время является одной из важнейших для промышленности.

Одним из радикальных путей решения проблемы совершенствования сборочного производства является более широкое применение операций холодной объемной штамповки (ХОШ) при образовании неразъемных соединений деталей. Изготовление соединений холодным объемным деформированием металла обеспечивает снижение трудоемкости и высокое качество изделий, экономия как конструкционных, так и сопутствующих металлообработке материалов — припоев, клеев и др. Наиболее разработана научная база процессов образования холодным деформированием металлических холодносварных нахлесточных и стыковых соединений, для которых созданы промышленные технологии и оборудование. Однако в изделиях машиностроения имеются угловые и тавровые соединения металлических деталей, а также соединения металла со стеклопластиком, существующие технологии сборки которых трудоемки и имеют ряд других недостатков. Способы изготовления таких соединений холодным объемным деформированием практически не изучены как в теоретическом, так и в экспериментальном планах, вследствие чего они не нашли должного применения в производстве. В связи с этим комплексное исследование и создание новых эффективных способов, разработка научно обоснованных методик расчета параметров и проектирования технологических процессов получения методами ХОШ соединений деталей из металлических материалов и стеклопластиков являются актуальными.

Работа выполнялась в соответствии с Координационным планом НИР вузов по проблеме "Холодная объемная штамповка металлов", приказ № 1342 от 08.12.1980 г., рядом региональных и отраслевых научно-технических программ.

Цель работы — разработка новых способов, научно обоснованных методик расчета параметров и проектирования процессов изготовления неразъемных соединений деталей из металлических материалов и стеклопластиков холодной объемной штамповкой, создание и внедре-

ние на этой основе технологий получения тавровых и угловых соединений металлических деталей, нахлесточных соединений металла со стеклопластиком, обеспечивающих уменьшение трудоемкости, материалоемкости и улучшение качества изделий машиностроения.

Методы исследования. При разработке классификации процессов ХОШ использована методология системных исследований. Теоретический анализ процессов выполнен методами теории упругости и пластичности. Экспериментальные математические модели процессов получены в результате проведения многофакторных экспериментов с использованием дисперсионного и регрессионного анализов. При реализации экспериментов применяли методы деформирования слоистых моделей, фактографии поверхности соединяемых деталей, твердости, сеток, тензометрирования, макро- и микроанализа.

Достоверность полученных результатов обеспечена применением методов математической статистики при обработке экспериментальных данных, оценкой адекватности разработанных расчетных моделей реальным процессам. Подтверждена внедрением результатов исследований в производство.

Научная новизна работы заключается в создании новых способов образования холодной объемной штамповкой тавровых и угловых соединений металлических деталей, соединений металлической полый детали со стеклопластиковым стержнем, разработке научно обоснованных методов расчета параметров и проектирования технологий получения соединений методами ХОШ, основанных на результатах теоретических и экспериментальных исследований, включающих:

- принципы систематизации и классификацию процессов образования неразъемных соединений деталей холодной объемной штамповкой, позволяющие провести морфологический анализ процессов изготовления соединений методами ХОШ по конструктивным и технологическим признакам соединений, на основе которых предложены новые способы получения соединений, обеспечивающие высокое качество изделий и расширяющие номенклатуру изготавливаемых методами ХОШ соединений;
- установленные закономерности процессов формирования методами ХОШ соединений металла со стеклопластиком, тавровых соединений металлических прутков и пластины, тавровых и угловых соединений металлических пластин, позволившие выявить конструктивные параметры соединений и параметры технологии их образования, определяющие качество получаемых соединений, сформулировать граничные условия для анализа напряженного состояния в очаге деформации при получении соединений;

- полученные на основе теоретических анализов силового режима зависимости деформирующего усилия процессов образования соединений металла со стеклопластиком, тавровых и угловых соединений металлических деталей от параметров процессов изготовления соединений и механических свойств соединяемых материалов;

- расчетные модели, описывающие влияние на несущую способность при растяжении соединений металла со стеклопластиком, тавровых соединений металлических деталей технологических параметров процессов их образования и механических свойств материала соединяемых деталей, позволяющие прогнозировать прочностные свойства соединений на стадии проектирования технологии их получения;

- разработанную на основе теоретического анализа процесса осадки толстостенной поллой заготовки уточненную методику определения коэффициента контактного трения по результатам холодной осадки кольцевых образцов, учитывающую упрочнение деформируемого материала;

- рекомендации по рациональному использованию антифрикционных свойств новых смазочных материалов на основе водных растворов фосфатов в операциях ХОШ и по проектированию технологий ХОШ ряда исследованных в работе марок низколегированных сталей, титановых, циркониевого и медных сплавов, алюминиевых заготовок, полученных бесслитковыми методами, спеченных порошковых заготовок.

Новизна разработок подтверждена 3 авторскими свидетельствами Практическая ценность и реализация работы. На основе предложенных способов, методик расчета и установленных закономерностей процессов образования соединений, результатов исследований эффективности смазочных материалов и параметров деформирования металлов и сплавов в операциях ХОШ разработаны и внедрены на ряде предприятий электротехнической промышленности и энергетического строительства технологии получения методами ХОШ типовых соединений: узлов крепления полимерных электроизоляторов на базе стеклопластиковых стержней, биметаллических медноалюминиевых контактных ножей комплектно-распределительных устройств электроустановок, биметаллических выводов трансформаторов, узлов соединений электротехнических шин в токопроводящих системах. Внедрение новых технологий обеспечило снижение трудоемкости сборки на 20-30%, экономию материалов, благоприятные условия для механизации и автоматизации сборочных работ, высокое качество соединений, позволило создать ряд изделий новой техники с повышенными технико-эко-

номическими показателями. Разработанные рекомендации и методики расчета параметров процессов получения металлических соединений внедрены в практику в отраслевом институте ВНИИССО при проектировании специализированных машин для холодной сварки тавровых и угловых соединений. Предложенные конструкции узлов соединений металла со стеклопластиком и технология их изготовления открывают широкие возможности для эффективного использования одноосно армированных композиционных стержней в изделиях машиностроения.

Результаты исследований о трифрикционной эффективности смазочных материалов при холодном объемном деформировании позволили разработать рациональную технологию нанесения на поверхность деформируемого металла смазочных составов на основе водных растворов фосфатов, применение которых повышает технический уровень и мобильность технологий ХОШ при производстве деталей и соединений, благодаря чему эти составы рекомендованы к широкому внедрению. Результаты исследований параметров холодного объемного деформирования металлов и сплавов использованы также при создании малоотходных технологий ХОШ отдельных деталей из медных и циркониевого сплавов, алюминиевых заготовок, полученных бесслитковыми методами.

Фактический экономический эффект от внедрения результатов работы составил 531 тыс.руб., а ожидаемый – более 3 млн.руб. Материалы диссертации используются в учебном процессе – курсах лекций и лабораторных работах в ЛТУ.

Апробация работы. Результаты работы доложены и обсуждены на Всесоюзных научно-технических конференциях по обработке металлов давлением: в Москве – 1975 г., Ростове-на-Дону – 1976 г., Омске – 1978 г., Киеве – 1985 г.; республиканских и региональных в Ижевске – 1983 г., Ташкенте – 1984 г., Крайновороке – 1985 г., Пензе – 1988 г., 12 семинара в ЛДНТИ в 1971 – 1989 гг., семинарах в МДНТИ в 1982 и 1984 гг., национальной научно-технической конференции в 1984 г. в г.Стара-Загора (Болгария), на отраслевом семинаре в ЛКБТО "Прогресс" (Ленинград, 1984 г.). Работа в полном объеме обсуждена и одобрена на кафедре "Машины и технология ОМД" ЛТУ и кафедре МТБ МТУ им.Н.Э.Баумана в 1991 г.

Публикации. Материалы диссертации опубликованы в 60 печатных работах, в том числе в 2 брошюрах, 3 книгах и 3 авторских свидетельствах. Из них одна книга издана в ГДР, одна – как в СССР, так и в Болгарии, 8 статей опубликовано в научно-технических журналах ГДР, Румынии, Болгарии и США.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 6 разделов, основных выводов, списка литературы из 296 наименований и приложения, содержит 282 стр. машинописного текста, 162 рисунка и 27 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность, сформулирована цель и приведены основные результаты работы.

1. СОСТОЯНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И СТЕКЛОПЛАСТИКОВ ХОЛОДНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКОЙ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассмотрено состояние развития теории и технологии процессов получения с применением операций ХОШ неразъемных соединений металлических деталей и соединений металла со стеклопластиком и показано, что известные способы изготовления тавровых соединений металлических прутков и пластин мало изучены, имеющиеся рекомендации не являются достаточными для разработки расчетных моделей процессов, проектирования технологий и соответствующего оборудования. Не имеется способов изготовления тавровых и угловых соединений металлических плоских деталей по их торцам, хотя целесообразность получения соединений такого рода холодным объемным деформированием очевидна.

Анализ альтернатив решения задачи создания неразъемных нахлесточных соединений металлической детали со стеклопластиком, возникшей в связи с освоением производства новых видов электроизоляторов на базе стеклопластиковых стержней, являющихся одноосно армированными композиционными материалами, показывает, что для решения этой задачи наиболее перспективны способы, при которых соединение металла со стеклопластиком происходит в результате холодного объемного деформирования металлической детали. Однако теоретических анализов и систематических экспериментальных исследований этих способов не проведено, на пути их практического освоения сделаны лишь первые шаги, известные способы, предусматривающие обжим в бойках металлического наконечника, имеют ряд недостатков и нуждаются в совершенствовании.

Поиск новых технических решений по совершенствованию способов получения соединений и расширению номенклатуры изготавливаемых методами ХОШ соединений затруднен из-за отсутствия классифи-

кации, объединяющей основную группу процессов образования соединений деталей холодным объемным деформированием.

Большое значение для разработки проблем создания соединений металлических деталей имеют результаты проведенных в различных аспектах советских и зарубежных учеными исследований физических основ процесса возникновения межатомной связи между соединяемыми деталями при их совместном пластическом деформировании. Благодаря выполненным работам предложен ряд гипотез, объясняющих механизм возникновения металлической связи между соединяемыми частями деталей. Большинство исследований выполнено в русле физико-химического направления теории пластических деформаций металлов, при изготовлении холодным объемным деформированием нахлесточных и стыковых соединений. На основе феноменологического подхода теории ОМД и экспериментальных исследований для ряда способов изготовления стыковых и нахлесточных соединений получены расчетные зависимости для определения силовых параметров процессов образования и прочностных характеристик получаемых соединений. Результаты проведенных исследований и предложенные гипотезы образования холодносварных соединений не позволяют рассчитать силовые параметры и прогнозировать качество тавровых и угловых соединений на стадии проектирования технологии их получения.

Подход к процессам получения методами ХОШ соединений как к технологической системе, совершенствование которой происходит во взаимосвязи с основными направлениями работ по экономии ресурсов в машиностроении, показывает необходимость решения проблем создания соединений, исходя из многокритериальной оценки эффективности технологий, на основе достижений и дальнейшего развития теории и технологии малоотходных процессов ХОШ деталей и точных заготовок. Большой вклад в создание научной и практической основ холодной объемной штамповки металлов внесли работы Артеца А.Э., Береснева Б.И., Головина В.А., Георгиева Н.Т., Дмитриева А.М., Евстратова В.А., Евстифеева В.В., Ланского Е.Н., Навроцкого Г.А., Овчинникова А.Г., Паршина В.Г., Соловцова С.С., Степанского Л.Г., Фаворского В.Е., Ланге К., Пью Х., Фельдмана Х., Фолкнера В. и многих других советских и зарубежных ученых. Однако возникают задачи расширения номенклатуры металлов и сплавов, деформируемых малоотходными методами ХОШ, поиска экономичных и эффективных смазочных материалов для операций холодной объемной деформирования.

В последние годы предложены сравнительно недорогие новые смазочные материалы на основе водных растворов фосфатов, применение которых должно улучшить технико-экономические показатели технологий ХОШ. Однако эти предложения не доведены до уровня научных разработок, позволяющих использовать их в промышленности при изготовлении деталей и соединений. Возникает необходимость проведения комплекса теоретических и экспериментальных исследований антифрикционной эффективности различных смазочных материалов при деформировании как углеродистых, так и неисследованных в процессах ХОШ ряда марок низколегированных сталей, титановых и циркониевого сплавов. Целесообразно определить необходимые для проектирования технологий изготовления деталей и соединений параметры холодного деформирования этих металлических материалов, а также дать оценку эффективности составов на основе водных растворов фосфатов и при ХОШ спеченных порошковых заготовок.

В результате проведенного анализа состояния проблемы поставлены основные задачи исследования:

1. Определение принципов систематизации и разработка классификации, объединяющей основную группу процессов изготовления соединений деталей холодной объемной штамповкой, анализ на ее основе существующих и поиск новых способов образования соединений, обеспечивающих высокое качество изделий и расширяющих номенклатуру изготавливаемых холодным объемным деформированием соединений.

2. Выявление на основе феноменологического подхода теории пластических деформаций металлов и экспериментальных исследований основных закономерностей процессов формирования методами ХОШ соединений металла со стеклопластиковым стержнем, тавровых и угловых соединений металлических деталей в части взаимосвязи конструктивных параметров соединений, параметров технологии их изготовления и свойств материала соединяемых деталей с качеством получаемых изделий; разработка расчетных моделей процессов и рекомендаций, позволяющих прогнозировать силовые параметры процессов образования и несущую способность при растяжении получаемых соединений на стадии проектирования технологии их изготовления.

3. Проведение комплекса теоретических и экспериментальных исследований антифрикционной эффективности различных смазочных материалов при деформировании как компактных, так и пористых

материалов для разработки рекомендаций по рациональному использованию в процессах ХОШ составов на основе водных растворов фосфатов и технологии их нанесения на поверхность деформируемых тел, определение необходимых для проектирования операций ХОШ деталей и соединений параметров холодного объемного деформирования ряда марок низколегированных сталей, титановых, циркониевого и медных сплавов, заготовок алюминиевых сплавов, полученных бесслитковыми методами.

4. Разработка и реализация в промышленном производстве соединений и деталей технологий, включающих предложенные в работе новые способы образования соединений, проектируемых с применением научно обоснованных в диссертации методик их расчета и рекомендаций.

2. РАЗРАБОТКА КЛАССИФИКАЦИИ И НОВЫХ СПОСОБОВ ОБРАЗОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ХОЛОДНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОЧКОЙ

Рассмотрены основные принципы систематизации, положенные в основу классификаций процессов ХОШ отдельных тел, разработанных Исаченковым Е. ., Сочинниковым А.Г., Головиным В.А. и Навроцким Г.А. и другими авторами. С учетом имеющихся классификаций и тенденций развития технологии холодного объемного деформирования предложена выполненная по фасетному методу классификация процессов ХОШ деталей и точных заготовок, дополняющая ранее сделанные разработки в этой области и явившаяся необходимой предпосылкой для систематизации процессов изготовления соединений.

При разработке классификации процессов создания соединений использован системный подход на стадии морфологического описания системы взаимосвязанных объектов. Общие черты, присущие процессам формообразования отдельных тел, являются характерными и для групп процессов их соединения методами ХОШ. Анализ схем напряженного состояния позволил выявить критерий общности для процессов образования соединений: наибольшее по абсолютной величине напряжение в очаге деформации направлено перпендикулярно поверхности сопряжения соединяемых деталей. Показано, что классифицируемое технологическое множество отвечает условиям актуальности и целостности системы, как того требует методология системных исследований.

Предложена классификация по конструктивным признакам соединений и признакам технологии их изготовления методами холодного

объемного деформирования. Фасетная формула классификации $/\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4, \Phi_5, \Phi_6 /$. Конструктивные признаки: форма поверхности соединения (Φ_1) и форма соединения в целом (Φ_2); технологические признаки: вид деформации соединяемых деталей (Φ_3), размер очага деформации по отношению к размерам поверхности и соединения (Φ_4), вид преобладающей операции (операций) формоизменения (Φ_5), характер движения инструмента при реализации процесса (Φ_6). Различие, устанавливаемое фасетом Φ_4 , необходимо иметь в виду при оценке в различных аспектах разрабатываемой технологии, например, по энергоемкости технологического оборудования и т.д. Выделение одной или двух операций, характерных для того или иного способа образования соединений, учитываемое фасетом Φ_5 , полезно при анализе напряженно-деформированного состояния процессов и выявлении факторов, влияющих на качество соединений.

Разработанная классификация позволяет провести морфологический анализ при поиске новых технологических решений по созданию соединений, она может быть использована в САПР для унифицированного формирования и обработки массивов информации о процессах получения соединений. Предложена классификационная система кодирования и даны примеры идентификации в ней различных процессов получения соединений. Классификация использована при поиске новых способов образования соединений холодной объемной штамповкой.

Известные способы соединения стеклопластикового стержня с металлом путем обжима бойками металлической детали не обеспечивают равномерных деформаций по периметру поперечного сечения присоединяемого металлического наконечника, а, следовательно, и равномерного натяга, что приводит к нестабильности и снижению уровня прочностных свойств соединения. Равномерное распределение конечных деформаций при формоизменении наконечника в процессе его соединения со стержнем могут обеспечить способы на базе операции выдавливания. Предложен способ (а.с. № 1204301), по которому соединение получают в результате пластического деформирования (редуцирования) металлического наконечника со вставленным в него стержнем через матрицу усилием, направленным вдоль продольной оси наконечника и упруго деформируемого стержня. Величина деформации наконечника из низкоуглеродистых сталей при отношении толщины стенки наконечника к диаметру стержня от 0,2 до 0,6 не превышает 15-20%. Способ обеспечивает равномерный на-

тят по периметру поперечного сечения соединяемых деталей, более высокий уровень прочностных свойств, чем у аналогичных изделий, получаемых известными способами.

Дано сопоставление 1 нового и известных способов получения соединений с одноосно армированным композиционным стержнем по критериям: потребительские свойства (прочность, защита от коррозии); технический уровень технологического процесса (величина технологического усилия, трудоемкость процесса сборки); затраты (трудоемкость изготовления деталей соединения). Многокритериальная оценка показала, что получение соединения путем деформирования наколечника в матрице является наиболее предпочтительным. Результаты исследований процесса изготовления соединений по новому способу изложены в разделе 3.

На основе разработанного способа предложена конструкция узла крепления полимерного изолятора (а.с.№ 1292044), работающего в условиях агрессивных климатических факторов, а также технология нанесения антикоррозионного покрытия из алюминия на металлический наколечник.

При поиске способов изготовления тавровых и угловых соединений металлических пластин, когда торец одной пластины присоединяется к торцу или к боковой поверхности другой, а размеры пластин характеризуются отношением их ширины к толщине более 2-3, анализ, проведенный на основе предложенной классификации, показал, что наиболее целесообразными являются способы, осуществляемые на базе операции осадки. Предложен способ (а.с.№ 742081), по которому изготовление тавровых и угловых соединений осуществляется путем осадки части соединяемых деталей в условиях плоской деформации, причем перемещение деформируемого металла происходит в направлении толщины пластин, перпендикулярно их наибольшей поверхности. Разработанный способ и устройство для его осуществления позволяют получать монометаллические и биметаллические соединения, в том числе угловые соединения металлических пластин, способов изготовления которых холодным деформированием не имелось. Результаты исследований процессов образования тавровых и угловых соединений приведены в разделе 4.

3. АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛА СО СТЕКЛОПЛАСТИКОМ

Исследован предложенный способ соединения металла со стеклопластиком деформированием в матрице (рис. I). Принимая во внимание характер формоизменения и силового взаимодействия инструмента и соединяемых деталей, процесс соединения рассмотрен как редуцирование полый металлической заготовки на оправке, причем оправка — стеклопластиковый стержень — перемещаются со скоростью выходящего из матрицы металла.

Для уточнения граничных условий по контактному трению при решении задач осесимметричного холодного выдавливания в конической матрице с малыми углами конусности ее рабочей части ($\alpha < 30^\circ$), рассмотрено прямое выдавливание в аналогичной матрице прутка из упрочняющегося материала с использованием соответствующих уравнений равновесия и условия пластичности в линейаризованном виде для материала, кривая упрочнения которого аппроксимирована зависимостью

$$\sigma_s = \sigma_{s0} + A e_i^n$$

где e_i — интенсивность деформаций; σ_{s0} , σ_s — напряжение текучести соответственно до и после деформаций; A, n — аппроксимирующие коэффициенты. Анализ операции прямого осесимметричного выдавливания жестко-пластического тела с нелинейным упрочнением проведен как при количественной оценке сил контактного трения по условию пропорциональности контактных касательных напряжений τ_k напряжению текучести деформируемого материала σ_s (условие Зигеля $\tau_k = \mu \sigma_s$, где μ — коэффициент (фактор, трения), так и при условии пропорциональности τ_k нормальным напряжениям σ_θ (закон Кулона-Амонтона $\tau_k = \mu \sigma_\theta$). По учены выражения для расчета деформирующего усилия и напряжений на контактной поверхности очага деформации. Результаты расчетов по полученным при различных формулировках граничных условий зависимостям значительно отличаются при интенсивности реализуемых деформаций $e_i > 0,20 - 0,25$. Показано, что при таких значениях деформаций хорошую сходимость с экспериментальными данными по усилиям при гидрокоструении стали 45 и бронзы БрХр обеспечивает расчет по формулам, полученным при $\tau_k = \mu \sigma_s$. При e_i , меньших $0,20 - 0,25$, результаты расчетов по обоим сравниваемым вариантам отличаются мало, на 8-17%, но отмечается лучший приближе-

ние теоретических значений усилий к опытным при соотношении $\bar{\tau}_k = M\bar{\sigma}_0$, которое и было использовано при анализе процесса сжатия металла со стеклопластиком деформированием в матрице.

При анализе процесса образования соединений металла со стеклопластиком (рис.) усилие деформирования представлено как состоящее из слагаемого P_g , учитывающего затраты на деформацию формы, преодоление контактного трения на участках рабочего конуса и калибрующего пояска матрицы и слагаемого P_T , учитывающего затраты на преодоление сил трения при перемещении стержня относительно металла в очаге деформации. В результате интегрирования уравнений равновесия сил для осесимметричной деформации и условия пластичности для упрочняющегося материала, преобразованных с учетом обоснованных допущений, граничных условий и геометрии очага деформации при пластическом деформировании металлической детали с упругим стержнем, получены выражения для определения компонент нормального напряжения в очаге деформации и составляющей P_g , равной значению $\bar{\sigma}_p$ при $p = r$. Составляющая P_T определена из уравнения мощности сил трения на поверхности контакта стержня с металлом в очаге деформации. В итоге получено выражение для определения удельного усилия деформирования:

$$P = \left\{ \frac{4l}{D_0(1-c^2)} \left[\bar{\sigma}_{s0} + A \left(\frac{1-a^2}{1-b^2} \right)^n \right] + \frac{(2+\delta_1)\bar{\sigma}_{s0}(1-a^{-\delta_1})}{\delta_1} - \right. \\ \left. - \frac{4(2+\delta_1)(1-a)}{6(1-b^2)} \left[\frac{(1-a^2)^n}{\delta_1+1} + \left(1 - \frac{(a-1)^2}{4} \right) \frac{2^{\delta_1+1}}{(1+a)^{\delta_1+1}} \right] \right\} \times \\ \times \left\{ 1 - \frac{M_c(1-a)}{3\lambda(a^2-b^2)} \left[\frac{(1-a^2)}{(1-b^2)} + \frac{4(1-a)^2-16a^2}{(1+a)^2-4b^2} \right] \right\} + \\ + \frac{\bar{\sigma}_{s0}M_c b(1-a)}{3\lambda(a^2-b^2)} \left[\frac{(1-a^2)}{(1-b^2)} + \frac{4(1-a)^2-16a^2}{(1+a)^2-4b^2} \right]; \quad (I)$$

$$\text{где } \delta_1 = \frac{2M}{(\alpha-r_0)} + \frac{4\theta_0}{(\alpha-\theta_0)^2} l_n \frac{\theta_0}{\alpha},$$

$a = D_0/D$, $b = D_0/d$, $c = d_0/D_0$, d_0 - диаметр стержня; D, D_0 - диаметр наконечника соответственно до и после деформации, l - длина калибрующего пояска матрицы, M_c - коэффициент трения парн "металл - стеклопластик", M - коэффициент контактного трения по поверхности матрицы, α - угол конусности

где:

$$K = \frac{\frac{1}{E_1} \left[\frac{4lM}{D_0(1-c^2)} + 1 \right] (1-\nu_1) - \frac{1}{E_2} \left[\frac{4lM(1-2\nu_2)}{D_0(1-c^2)} + 1 - \nu_2 \right]}{\frac{1}{E_1} (1-\nu_1) + \left(\frac{1+c^2}{1-c^2} - \nu_2 \right) \frac{1}{E_2}}$$

E_1, E_2 - модули упругости соответственно стеклопластика и металла;

ν_1, ν_2 - коэффициенты Пуассона соответственно стеклопластика и металла.

Разделив выражение (2) на $F_c = \sigma_c \pi d_0^2 / 4$, где σ_c - предел прочности стеклопластикового стержня, получим несущую способность соединения относительно несущей способности стержня:

$$\phi = \frac{\sigma_s h}{\sigma_c d_0} 4 M_c K \quad (3)$$

В результате анализа (2) и (3) определены обеспечивающие равнопрочность соединения и стержня при растягивающей нагрузке значения $(h/d_0) = \sigma_s / 4 \tau_c$ и соотношения между ε и l/D_0 :

$$\frac{l}{D_0} = \frac{\tau_c (1-c^2) [E_2 (1-\nu_1) + E_1 \left(\frac{1+c^2}{1-c^2} + \nu_2 \right)]}{4 (\sigma_{s0} + A \varepsilon^n) M_c [E_2 (1-\nu_1) - E_1 (1-2\nu_2)]} + \frac{(1-c^2) [E_1 (1-\nu_2) - E_2 (1-\nu_1)]}{4 M_c [E_2 (1-\nu_1) - E_1 (1-2\nu_2)]} \quad (4)$$

где τ_c - предел прочности при сдвиге материала стержня.

На основании зависимостей (4) возможно изменение значений несущей способности соединений за счет изменения длины сопрягаемой части стержня с металлом и соотношения между l/D_0 и ε .

Эксперименты, проведенные при соединении стержней диаметром от 12 до 40 мм из стеклопластиков марок СПП-ЭВ и СПП-ЭИ с наконечниками из сталей 20 и 45, латуни Л62-1, сплава Д16Т при отношении толщины стенки наконечника к диаметру стержня от 0,2 до 0,6, показали хорошую сходимость результатов опыта и расчета по предложенным зависимостям при $\phi < 0,7$. В таких случаях характер нарушения целостности соединения при его нагружении - выплывание стержня из наконечника. При $\phi > 0,7$ в отдельных случаях расчетные значения ϕ выше экспериментальных, а разрушение

происходит в результате расслоения или разрыва стержня, что объясняется возрастанием при высоких нагрузках роли имеющихся в стеклопластике дефектов, обусловленных технологией его изготовления. Определены по разработанной методике значения коэффициента трения скольжения вдоль армирующих волокон стеклопластика пары "сталь - стеклопластик", позволяющие оценить величину контактных касательных напряжений в зависимости от высоты микронеровностей поверхности металла.

Реализован многофакторный эксперимент и получены зависимости значений несущей способности соединений стеклопластиковых стержней диаметром 12 мм с наконечниками из стали 20 и сплава Д16Т от α , l/D_0 , ε и h/D_0 . На основании полученных экспериментальных математических моделей определены значения параметров, обеспечивающие наиболее высокий уровень прочностных свойств изделий: $\alpha = 7,5 - 12^\circ$; $(l/D_0) = 0,65 - 0,68$; $\varepsilon = 0,08 - 0,10$; $(h/d_0) = 6,0 - 6,3$. Используя расчетные модели, произведена оценка влияния точности изготовления сопрягаемых деталей на несущую способность соединения. Предполагали при этом, что изготовление деталей с максимальным отклонением их диаметральных размеров от номинальных приводит к уменьшению фактической деформации по толщине стенки наконечника из-за необходимости выбора зазора перед образованием соединения. Рекомендовано изготавливать детали соединения в пределах 10-12 квалитетов точности выполнения их диаметральных размеров.

4. АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТАВРОВЫХ И УГЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Проведен комплекс теоретических и экспериментальных исследований силового режима, деформированного состояния в очаге деформации и качества получаемых изделий при образовании тавровых и угловых соединений. Детально изучен перспективный, но практически не исследованный способ соединения прутков и пластин при двустороннем деформировании пластины (рис.2) и предложенный способ изготовления тавровых и угловых соединений металлических пластин (рис.3). Проведенные эксперименты позволили выявить характерные этапы реализации процессов и основные факторы, определяющие качество получаемых изделий, сформулировать краевые задачи пластического течения для анализа напряженного состояния в очаге деформации и разработать расчетные модели процессов.

В результате комплексного исследования на различных стадиях процесса получения тавровых соединений фрактограмм поверхности контакта соединяемых деталей, микроструктуры в зоне соединения, силовых параметров и деформированного состояния в очаге деформации при образовании соединений и их несущей способности при нагружении растяжением показано, что сложившиеся представления о механизме и последовательности явлений, происходящих на поверхности контакта соединяемых путем совместного пластического деформирования деталей в целом соответствуют выявленному при формировании тавровых соединений характеру взаимосвязи состояния окисных пленок на поверхности контакта, степени деформации приконтактных слоев и уровня прочностных свойств получаемых изделий: при деформировании происходит разрушение окисного слоя, соприкосновение частиц квантового металла соединяемых деталей с последующим образованием между ними межатомной связи.

Методом деформирования слоистых моделей определены границы очага деформации получено распределение компонент деформированного состояния на различных стадиях процесса формирования таврового соединения прутка с пластиной при двустороннем деформировании пластины (рис.2), что позволило в первом приближении процесс подразделить на три этапа: 1. Осадка преимущественно прутка. 2. Внедрение преимущественно пуансона в пластину. 3. Развливание деформируемой части прутка в пластину и сжатие слоя металла соединяемых деталей между пуансоном и зажимными губками. При соединении деталей из разноименных металлов, когда напряжение текучести материала прутка больше напряжения текучести пластины, формоизменение присоединяемой части прутка происходит в условиях большого стесняющего действия материала пластины, чем при соединении деталей из одноименных металлов. На заключительной стадии процесса наибольшие деформации приобретает слой металла, непосредственно примыкающие к поверхности соединения в зоне между пуансоном и зажимными губками, причем распределение остаточных деформаций на этой поверхности имеет почти равномерный характер, что способствует возникновению прочного соединения. Деформационными технологическими параметрами, определяющими прочностные свойства получаемых изделий являются относительная высота деформируемой части прутка h_0/d_0 и степень деформации пластины $\epsilon = 1 - (H - h_n)/H$, где h_0 ,

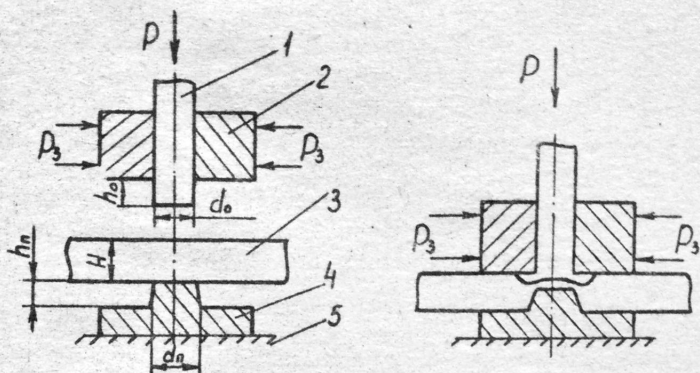


Рис.2. Схема образования тавровых соединений прутка с пластиной (слева – начальное положение, справа – конечное): 1 – пруток; 2 – зажимные губки; 3 – пластина; 4 – пуансон; 5 – опора

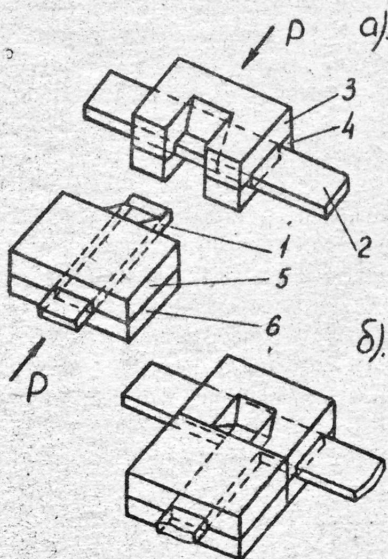


Рис.3. Схема образования тавровых соединений пластин (а – начальное положение, б – конечное): 1, 2 – соединяемые детали; 3, 4, 5, 6 – зажимные губки

d_0 — соответственно начальная высота деформируемой части прутка и его диаметр; H — толщина пластины; h_n — высота рабочей части пуансона. Определены численные значения параметров, обеспечивающие наибольшую несущую способность при растяжении соединений меди и алюминия.

При реализации многофакторных экспериментов получены выражения для определения несущей способности при растяжении тавровых соединений алюминиевых прутка и пластины:

$$F = 1,754 \sigma_0 S_0 \left(\frac{h_n}{H} \right)^{1,323} \left(\frac{h_0}{d_0} \right)^{0,513} \left(\frac{H}{H_0} \right)^{0,301} \quad (5)$$

и соединений медного прутка с алюминиевой пластиной:

$$F = 1,417 \sigma_0 S_0 \left(\frac{h_n}{H} \right)^{0,449} \left(\frac{h_0}{H} \right)^{0,07} \left(\frac{h_0}{d_0} \right)^{0,256} \left(\frac{H}{H_0} \right)^{1,148} \left(\frac{d_n}{d_0} \right)^{0,526} \quad (6)$$

где σ_0 — временное сопротивление материала прутка, МПа;

S_0 — площадь поперечного сечения прутка; d_n — диаметр пуансона; $H_0 = 10$ мм — масштабное значение параметра. Зависимости (5) и (6) отражают влияние основных технологических параметров процесса образования соединения на величину F и позволяют прогнозировать несущую способность соединений на стадии проектирования технологии их получения.

Показано, что не контактирующие с прутком части пластины, создавая неизбежный с их стороны подпор на очаг деформации и повышая тем самым величину деформирующего усилия, а, следовательно, величину гидростатического давления в месте соединения, оказывают существенное влияние на прочностные свойства тавровых соединений прутка с пластиной. Установлено, что предельная нагрузка F при растяжении соединений возрастает по мере увеличения конструктивного параметра l_n/r_0 , где l_n — расстояние от свободного края пластины до центра поперечного сечения прутка в месте соединения; r_0 — радиус поперечного сечения прутка. Значение F при увеличении l_n/r_0 от $1 \div 2$ до $5 \div 6$ возрастает в $1,5-2,0$ раза. Дальнейшее увеличение l_n/r_0 не приводит к существенному изменению прочностных свойств соединения. Отмечено, что величину подпора можно регулировать как путем изменения параметра l_n/r_0 , так и воздействием на пластину со стороны инструмента.

Выявленные закономерности формирования тавровых соединений прутка с пластиной позволили провести анализ силовых параметров

процесса на основе феноменологического подхода теории ОМД. Рассмотрена заключительная стадия процесса, на которой возникает наибольшее деформирующее усилие. При анализе напряженного состояния в слое металла между пуансоном и зажимными губками, выполненного путем совместного решения уравнений равновесия и пластичности, автор следовал методике Качанова Л.М., рассмотревшего осесимметричное сжатие скрепленной с жесткими частями тонкой пластичной прослойки, при деформации которой касательные напряжения на ее поверхности равны напряжению текучести при сдвиге, а нормальные значительно больше касательных и характер напряженного состояния близок к гидростатическому. Специфика процесса образования тавровых соединений учтена обоснованным выбором граничных условий на боковой поверхности слоя, воспринимающего подпор со стороны периферийной части прутка и пластины. Получены выражения, позволяющие найти распределение нормальных напряжений по радиусу поверхности слоя и среднее давление сжатия. Деформирующее усилие определено как сумма составляющей, необходимой для сжатия слоя между пуансоном и зажимными губками и составляющей, необходимой для вдавливания периферийной части продеформированного металла прутка в пластину. В итоге получено выражение, описывающее влияние параметров процесса и механических свойств материала соединяемых деталей на величину P :

$$P = \sigma_s \left[13,1 d_0 (d_0 h_0^2)^{1/3} + 0,15 d_n^3 / (H - h_n) \right] \quad (7)$$

где σ_s — напряжение текучести металла соединяемых деталей с учетом упрочнения. Расхождение между опытными и расчетными значениями усилий не превышает 10-15% при наиболее рациональных параметрах процесса, обеспечивающих наибольшую несущую способность соединений.

Выявлены характерные этапы формирования тавровых и угловых соединений пластин по способу рис.3. На первом этапе происходит совместная осадка всего объема деформируемых частей пластин. На втором, заключительном этапе, во взаимосвязи друг с другом реализуются фактически две операции: осадка слоя между зажимными губками и вдавливание зажимных губок в материал соединяемых деталей, вытесняемый из зоны сжатия. Показано, что новый способ получения соединений обеспечивает равномерный характер конечных деформаций по поверхности контакта соединяемых деталей. Установлено

но, что основным деформационным параметром процесса формирования соединения является отношение высоты h_0 деформируемой части пластины к ее толщине a , величина которого, необходимая для получения равнопрочного с материалом пластины соединения, равна $1,3 \div 1,4$.

Сформулирована краевая задача пластического течения на конечной стадии процесса получения тавровых и угловых соединений пластин, на которой возникает максимальное технологическое усилие. При решении задачи использован тот же подход, что и при анализе напряженного состояния в зоне между зажимными губками и пуансоном при образовании тавровых соединений прутка с пластиной. Условия реализации процесса получения тавровых и угловых соединений учтены выбором уравнений равновесия для плоской деформации и обоснованных граничных условий. Получено выражение, позволяющее найти распределение нормальных напряжений по толщине a соединяемых пластин в очаге деформации и среднее давление P_c между зажимными губками:

$$P_c = \frac{2}{\sqrt{3}} \left(\frac{a}{4\delta} + 1 + \psi \right) \sigma_s \quad (8)$$

где σ_s - напряжение текучести материала пластин с учетом упрочнения; δ - величина зазора между зажимными губками. Величина ψ в формуле (8) определяется при известном угле наклона 2α при вершине клина клиновидных зажимных губок из выражения: $2\alpha = \psi + \arccos \operatorname{ctg} \left(\frac{\sqrt{1}}{4} - \frac{\psi}{2} \right)$. Зависимость (8) адекватно отражает влияние параметров процесса и свойств материала деталей на величину деформирующего усилия. Дана оценка необходимого уровня гидростатического давления на поверхности контакта соединяемых деталей: отношение среднего давления в зоне соединения к напряжению текучести металла соединяемых деталей с учетом упрочнения равно $4,5-5,0$.

5. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ В ОПЕРАЦИЯХ ХОШ

Для оценки антифрикционной эффективности смазочных материалов при деформировании различных металлов и сплавов целесообразно использовать известный метод определения коэффициента контактно-

...ения при осадке кольцевых образцов, теоретически обоснованный в трудах советских и зарубежных ученых. Однако в немногочисленных работах, посвященных анализу осадки кольцевой заготовки из упрочняющейся среды не предложено зависимостей или номограмм, позволяющих определить коэффициент трения по изменению размеров деформируемой заготовки при ее холодной осадке. Проведен энергетическим вариационным методом анализ конечного формоизменения при осадке толстостенной полой заготовки из упрочняющегося материала и на основе этого анализа предложена методика определения коэффициента контактного трения при холодной осадке кольцевых образцов.

При анализе процесс осадки подразделен на соответствующие малой величине деформации этапы, на каждом из которых радиус нейтральной поверхности R_k , определяющей раздел течения металла в радиальном направлении, остается постоянным. Величина R_k изменяется скачкообразно при переходе к последующему этапу. Деформируется материал, упрочнение которого определяется лишь накопленными деформациями и аппроксимируется степенной зависимостью; напряжения от сил трения τ_k пропорциональны напряжению текучести материала σ_s : $\tau_k = M \sigma_s$, где M - коэффициент (фактор) трения. В результате дифференцирования уравнения для работы осадки по варьируемому параметру R_k и последующего его решения получены зависимости, отражающие взаимосвязь M , показателя упрочнения деформируемого материала n и размеров кольца на каждом этапе осадки:

$$\Phi_1(n, a, x) + M \Phi_2(n, a, x) = 0 \text{ при } R_k \leq R_i \quad (9)$$

$$\Phi_1(n, a, x) + M \Phi_3(n, a, x) = 0 \text{ при } R_i \leq R_k < R_o \quad (10)$$

где $a = R_i/R_o$; $b = R_o/H$; $x = R_k/R_o$; R_i, R_o - соответственно внутренний и наружный радиус образца; H - высота осаживаемого образца.

Если $R_k = R_i$, то $x = a$ и из (9) или (10) находим

$$M = \Phi(n, a, b) \quad (II)$$

Выражение (II) определяет значение M , при котором радиус R_i не изменяется в процессе осадки. Если $M \leq \Phi(n, a, b)$, то R_k определяется из уравнения (9), если $M > \Phi(n, a, b)$, то R_k находится по (10). В результате численной реализации

выполненного анализа на ЭВМ построены зависимости относительной величины внутреннего диаметра кольцевого образца при его холодной осадке. Предложенная методика, учитывающая деформационное упрочнение материала, при осадке кольцевых образцов с отношением их начальных размеров $D_{00}:D_{i0}:H_0 = 6:3:2$ обеспечивает более точную оценку контактного трения при холодном деформировании, чем методика, предусматривающая использование известных кривых Мейла А.Т. и Кокрофта М.Г., рекомендуемых для горячей деформации.

Исследование эффективности различных смазочных материалов по уточненной методике при холодной осадке кольцевых образцов из стали 25 и циркониевого сплава свидетельствует о высокой антифрикционной эффективности концентрата Графитол ВЗ10, являющегося водным раствором фосфатов с добавкой антифрикционного наполнителя — графита. Сравнительная оценка смазочного материала Графитол ВЗ10 и фосфатирования с последующим смытыванием, проведенная при прямом выдавливании углеродистых сталей в интервале давлений на пуансоне от 200 до 2200 МПа показывает, что при вязкости состава Графитол ВЗ10, равной 0,003–0,006 Па·с, его антифрикционная эффективность не ниже, чем у обычного фосфатирования. При исследовании силовых параметров холодного выдавливания и редуцирования углеродистых сталей определены условия наиболее рационального использования антифрикционных возможностей состава Графитол ВЗ10: поверхность заготовки перед нанесением смазочного материала должна быть обезжирена, исходный концентрат разбавлен до вязкости 0,003–0,006 Па·с, нанесенный на поверхность заготовки смазочный слой подсушен для удаления водной фракции. Разработанные рекомендации реализованы при создании технологии и специализированной установки для нанесения на поверхность заготовки состава Графитол ВЗ10 на участке ХОШ Кишиневского тракторного завода. Показана целесообразность использования смазочного материала на основе водных растворов фосфатов при ХОШ спеченных порошковых заготовок. При обратном ротационном выдавливании спеченных заготовок из порошков железа применение состава Графитол ВЗ10 обеспечивает снижение деформирующих сил на 10–30% и разнотолщинности получаемых деталей в 1,25–1,3 раза по сравнению с формообразованием при использовании в качестве смазочных материалов графита или стеарата цинка. В результате проведенных исследований смазочный материал Графитол ВЗ10 внедрен при гидроэкструзии пористых заготовок, что обеспечило, по сравнению с

ранее применявшейся пастой ВНИИП-232, повышение стойкости матриц в 7 раз при меньшей стоимости и меньшем расходе смазочного материала.

Проведено комплексное исследование эффективности смазочного материала Графитол В310 и параметров холодного деформирования низколегированных сталей марок 10Г2САФ, 17Г2САФ, 23Г2САФ, микролегированных ванадием и азотом, сплава на циркониевой основе, нелегированного титана марки ВТ1-0, титановых сплавов: $Ti-4\%Al$, $Ti-3\%Al-(1-1,5)\%Nb-(2-3\%)Zr$, ПТМ и ВТ3-1. При прямом выдавливании этих материалов антифрикционная эффективность состава Графитол В310 не ниже, чем у обычного фосфатирования. Построены необходимые для проектирования технологий ХОШ диаграммы пластичности низколегированных сталей, кривые упрочнения низколегированных сталей, титановых и циркониевого сплавов. Экспериментально определены силовые параметры обратного выдавливания и построены диаграммы упрочнения ряда сплавов на медной основе, в том числе бронз марок БрХ-1 и БрХПр. Установлена возможность получения методами ХОШ работоспособных тавровых биметаллических соединений алюминиевой пластины с прутком из пластичных сплавов на медной основе, например, из латуни марки Л63. При изготовлении соединений металла со стеклопластиком возможно использование малопластичных латуней, в том числе недефицитной марки ЛС59-1. С использованием уравнений теории пластической анизотропии построены диаграммы упрочнения полученных бесслитковыми методами заготовок алюминия А5, алюминиевых сплавов АМ_ц и АМг2, учитывающие анизотропию свойств материалов. Установлено, что технологические свойства в операциях ХОШ заготовок алюминиевых сплавов, полученных бесслитковыми методами, находятся на уровне свойств заготовок, полученных из слитка.

Результаты исследований эффективности смазочных материалов и параметров деформирования металлов и сплавов использованы при разработке технологий ХОШ деталей на ряде предприятий, что обеспечило фактический экономический эффект 206,7 тыс.руб., а ожидаемый - более 1 млн.руб.

6. РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАЗОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ХОЛОДНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКОЙ

Предложена на основании теоретических и экспериментальных исследований методика проектирования технологии изготовления соединения металла со стеклопластиком деформированием в матрице, предусматривающая взаимосвязанное определение конструктивных характеристик соединения и параметров технологии его получения. Разработаны блок-схемы расчета размеров деталей соединения и параметров технологий получения для наиболее вероятных в практике случаев: при условии максимального использования в соединении прочностных свойств стержня и при заданных диаметре стержня и величине допустимой нагрузки на соединение. Созданы конструкции узлов крепления различных типоразмеров полимерных изоляторов на базе стеклопластиковых стержней диаметром от 12 до 40 мм и технология их изготовления при использовании в качестве материала наконечника углеродистых сталей и латуней, а технологического смазочного материала — Графитол В310. Экономический эффект от внедрения разработок составляет в условиях треста "Востоксибэлектросетьстрой" (г.Иркутск) 210 тыс.рублей и достигается за счет снижения затрат на изготовление и эксплуатацию изоляторов линий электропередач, а также транспортные расходы.

Установлены особенности процессов получения биметаллических тавровых соединений холодным объемным деформированием при отношении величины расстояния от центра поверхности соединения до края пластины к радиусу присоединяемого прутка менее 4-5. Разработана технология изготовления соединений медного прутка с алюминиевой пластиной, используемых в конструкциях контактных ножей комплектно-распределительных устройств (КРУ) электроустановок. Внедрение новой технологии изготовления биметаллических соединений позволило создать серию малогабаритных шкафов КРУ, имеющих повышенные потребительские свойства. Результаты исследований параметров деформирования латуней в операциях ХСШ использованы при разработке технологии изготовления для масляных трансформаторов выводов низкого напряжения (НН), представляющих собой соединение прутка из латуни Л63 с пластиной из алюминия. Благодаря внедрению новой технологии удалось снизить в условиях Минского электротехнического завода им.В.М.Козлова трудоемкость сборки соединений на 27%, сэкономить 21 тонну латуни в

год, увеличить коэффициент надежности трансформаторов до 0,995.

Разработаны технологии изготовления тавровых и угловых соединений алюминевых пластин толщиной от 4 до 10 мм, площадью их поперечного сечения от 160 до 1000 мм², длиной до 4 м, используемых в шинном монтаже токопроводящих систем. Применение операций ХОШ при создании таких соединений вместо аргоно-дуговой сварки позволяет исключить расход дефицитных аргона и вольфрама, применяемого в присадочных материалах, заменить ручной труд механизированным, улучшить условия труда. Внедрение только одной установки для изготовления соединений электротехнических шин по предложенному способу на Новочеркасском электровозостроительном заводе позволило высвободить 7 рабочих.

Результаты исследований и предложенные способы образования соединений холодным объемным деформированием использованы во ВНИИЭСО при проектировании ряда специализированных машин усилием от 1,0 до 4,0 Мн для изготовления тавровых угловых холодносварных соединений. Фактический экономический эффект от внедрения разработанных технологий получения тавровых и угловых соединений металлических деталей на ряде предприятий электротехнической промышленности составляет 115 тыс. рублей в год, ожидаемый по отрасли - 2 млн. рублей.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Решена научная проблема создания новых способов, научно обоснованных методов расчета параметров и проектирования процессов получения неразъемных соединений деталей из металлических материалов и стеклопластиков холодной объемной штамповкой, имеющая большое народнохозяйственное значение, особенно для предприятий электротехнической промышленности и энергетического строительства. На этой основе созданы технологии изготовления холодным объемным деформированием типовых соединений металла со стеклопластиковым стержнем, тавровых и угловых соединений металлических деталей.

2. Предложены принципы систематизации и классификация процессов соединения деталей методами ХОШ по конструктивным и технологическим признакам соединений, на основе которых разработаны новые способы образования соединений металла со стеклопластиком, тавровых и угловых соединений металлических плоских деталей, обеспечивающие высокое качество изделий за счет реализации равномер-

ного поля конечных деформаций на поверхности контакта соединяемых деталей и расширяющие номенклатуру изготавливаемых методами ХОШ соединений по их форме и размерам. Многокритериальная оценка возможных технологий показывает, что предложенные способы являются наиболее перспективными для комплексного решения задач ресурсосбережения при совершенствовании процессов сборки.

3. Показана возможность анализа на основе феноменологического подхода теории ОМД процесса соединения металла со стеклопластиковым стержнем путем деформирования в матрице и получения аналитических зависимостей, учитывающие влияние на силовые параметры процесса образования и несущую способность при растяжении получаемых соединений механических свойств материала соединяемых деталей и технологических параметров процесса: степени деформации ε , угла конусности α и длины калибрующего пояса l матрицы. Разработаны экспериментальные математические модели, описывающие влияние на несущую способность F при растяжении изготавливаемых путем деформирования в матрице соединений металла со стеклопластиком параметров ε , α и l , а также длины сопрягаемых частей деталей h , на основании которых определены численные значения этих параметров, обеспечивающие наиболее высокий уровень F , и даны рекомендации по точности изготовления диаметральных размеров соединяемых деталей.

4. Экспериментально определены деформированное состояние в очаге деформации, силовой режим и их влияние на кинетику возрастания несущей способности тавровых и угловых металлических соединений, формируемых методами ХОШ, что позволило выделить характерные этапы реализации и технологические параметры процессов, обеспечивающие образование холодносварных соединений, а также сформулировать краевые задачи теории пластического течения металлов для анализа напряженного состояния в очаге деформации.

5. Выполнены анализ напряженного состояния в очаге деформации при образовании монометаллических тавровых соединений прутка с пластиной при двустороннем деформировании пластины, тавровых и угловых соединений металлических пластин, в результате которых предложены выражения для определения деформирующего усилия в зависимости от технологических параметров процессов и механических свойств материала соединяемых деталей.

6. Разработаны экспериментальные математические модели, описывающие влияние на несущую способность при растяжении тав-

ровых соединений алюминиевой пластины с медным или алюминиевым прутком технологических параметров процессов и механических свойств материала соединяемых деталей, позволяющие прогнозировать прочностные свойства соединений на стадии проектирования технологии их изготовления. Дана оценка уровня гидростатического давления, необходимого для возникновения холодосварных соединений и показаны пути его регулирования за счет подпора со стороны инструмента или не контактирующих с прутком частей пластины.

7. Энергетическим вариационным методом теории СМД выполнен анализ конечного формоизменения толстостенной полой заготовки из упрочняющегося материала при ее холодной осадке и показано, что деформационное упрочнение материала существенно влияет на зависимость величины внутреннего диаметра осаживаемой заготовки от степени ее деформации при различных условиях контактного трения. Установлено, что полученные теоретические зависимости и построенные по ним номограммы могут быть использованы для количественной оценки антифрикционной эффективности технологических смазочных материалов — для определения коэффициента контактного трения по результатам измерения внутреннего диаметра кольцевого образца при его холодной осадке.

8. В результате комплексного исследования эффективности действия различных смазочных материалов при холодной осадке кольцевых образцов, редуцировании и прямом выдавливании углеродистых сталей показано, что антифрикционная эффективность новых смазочных составов на основе водных растворов фосфатов с добавкой антифрикционного наполнителя — графита, не ниже, чем при обычном фосфатировании. Выявлены условия рационального использования новых смазочных материалов и предложена технология их нанесения на поверхность деформируемых заготовок, которая повышает мобильность и технико-экономические показатели процессов ХОШ при изготовлении деталей и соединений. Установлено, что использование составов на основе водных растворов фосфатов при холодном объемном деформировании спеченных порошковых заготовок позволяет, по сравнению с ранее применявшимися смазочными материалами, улучшить качество изделий, снизить энергоемкость процессов, повысить стойкость инструмента. Определены необходимые для проектирования технологий ХОШ параметры холодного деформирования ряда марок низколегированных сталей, титановых, циркониевого и медных сплавов, алюминиевых заготовок бесслитковой прокатки, разработаны реко-

рекомендации по производству методами ХОШ деталей и соединений с применением этих конструкционных материалов.

9. В результате разработки и реализации в промышленном производстве соединений и деталей новых технологий, включающих предложенные в работе способы образования соединений, проектируемых с применением научно обоснованных в диссертации методик их расчета и рекомендаций, обеспечивается снижение трудоемкости изготовления соединений на 20-30%, высокое качество изделий, экономия конструкционных материалов, в том числе дефицитной меди. Разработанные процессы не предусматривают применения при изготовлении соединений клеев, припоев, присадочных материалов при сварке, позволяют упростить конструкцию узла соединения и сократить число составляющих его деталей до минимального – до двух, создают благоприятные условия для автоматизации процессов сборки.

Общий подсчитанный реальный экономический эффект составляет 531 тыс.руб. в год, при этом доля от использования разработок диссертанта – 265 тыс.руб. Ожидаемый экономический эффект от расширения внедрения – более 3 млн.руб. в год.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

1. Экономичные методы формообразования деталей/ Под ред. К.Н.Богоявленского и В.В.Риса. – Л.: Лениздат, 1984. – 144 с.
2. Кудрявцев Л.В., Рис В.В. Холодная объемная штамповка деталей машин и приборов. – Л.: ЛДНТП, 1984. – 32 с.
3. Bogojawlenskij K.N., Neubauer A., Ris V.W. Technologie der Fertigung von Leichtbauprofilen. – Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1979. – 566 s.
4. Гидропластическая обработка металлов/ К.Н.Богоявленский, В.А.Вагин, А.Н.Кобышев, Г.К.Петков, В.С.Мамутов, В.В.Рис, А.Г.Рябинин, Д.И.Чалев – Л.: Машиностроение. София: Техника, 1988. – 256 с.
5. Хидропластична обработка на металите/ К.Н.Богоявленский, В.А.Вагин, А.Н.Кобышев и др. – София: Техника. Л.: Машиностроение, 1989. – 264 с. (болгарск.).
6. Рис В.В. Интенсификация процессов сборки на базе операций холодной объемной штамповки// Опыт создания гибких технологи-

ческих систем холодноштамповочного производства: Материалы семинара ЛДНП. - Л.: 1989. - С.72-76.

7. Рис В.В., Ирхин В.И., Назин В.И. Изготовление узла крепления электроизоляторов методами холодной объемной штамповки// Энергетическое строительство. - 1985. - № 4. - С.65-66.

8. Рис В.В. Силовые параметры процесса выдавливания жидкостью // Прогрессивная технология в машиностроении. Сборник научных трудов. - Л.: ЛИИ, 1990. - С.16-22.

9. Изготовление тавровых соединений цветных металлов пластическим деформированием/ К.Н.Богоявленский, Ю.К.Морозов, В.В.Рис, И.М.Стройман// Кузнечно-штамповочное производство. - 1984. - № 12. - С.14-15.

10. Мамутов В.С., Рис В.В., Морозов Ю.К. Расчет прочности алюминиевых тавровых соединений, выполняемых холодной сваркой// Автоматическая сварка - 1989. - № 6. - С.5-7.

11. Морозов Ю.К., Рис В.В. Усилие осадки при холодной сварке тавровых соединений// Электротехническая промышленность. Сер. Электросварка - 1980. - Вып. I (5). - С.4.

12. Богоявленский К.Н., Рис В.В., Ирхин В.И. Штамповка клиновидной полосы в закрытом штампе// Известия вузов. Машиностроение. - 1982. - № 7. - С.122-125.

13. Силовые параметры процесса холодного выдавливания алюминиевых сплавов бесслитковой прокатки/ М.Г.Афонькин, К.Н.Богоявленский, В.Г.Борисов, В.В.Рис// Цветные металлы. - 1976. - № 1. - С.68.

14. Влияние холодной деформации и термообработки на коэффициенты анизотропии полосы, полученной бесслитковой прокаткой /М.Г.Афонькин, К.Н.Богоявленский, В.Г.Борисов, В.В.Рис// Цветные металлы. - 1977. - № 8. - С.60-62.

15. Рис В.В. Прямое выдавливание анизотропного материала с упрочнением// Труды ЛПИ. - 1981. - № 378. - С.83-88.

16. Алиев И.С., Богоявленский К.Н., Рис В.В. Технологические параметры выдавливания медных и алюминиевых сплавов// Труды ЛПИ. - 1977. - № 359. - С.28-32.

17. Богоявленский К.Н., Рис В.В., Николов С.С. Номограмма для определения усилий при прямом несимметричном выдавливании // Кузнечно-штамповочное производство. - 1979. - № 10. - С.5-6.

18. К расчету матриц для холодного выдавливания/ В.Фоелкнер, В.Йене, Б.Нойберт и др.// Известия вузов. Машиностроение. - 1981. - № 10. - С.96-100.

19. Богоявленский К.Н., Рис В.В., Ирхин В.И. Получение точных заготовок методами холодной объемной штамповки// Повышение точности в холоднштамповочном производстве: Материалы семинара ЛДНТП. - Л., 1981. - С.8-13.

20. Морозов Ю.К., Рис В.В. Расчет усилия осадки при холодной сварке шпилек с пластинами из одноименных металлов// Автоматическая сварка. - 1983. - № 2. - С.41-44.

21. *Fügen von Elektroisolatoren durch Kaltfließpressen*
/K.N. Bogojawlenskij, W.W. Ris, W.I. Irchin, E.P. Solowjew,
K. Krüger// *Fertigungstechnik und Betrieb.* - 1983. - № 8. -
S. 494-495.

22. Рис В.В., Ласков Б.И. Холодное выдавливание низколегированных сталей// Современные достижения в области холодной объемной штамповки. Материалы семинара МДНТП. - М., 1984. - С.68-72.

23. Изготовление деталей и точных заготовок методами холодной объемной штамповки/ В.В.Рис, Л.В.Кудрявцев, В.И.Ирхин, М.А.Арбуханов - Махачкала: Дагестанское НТО машипром, 1984. - 64 с.

24. Рис В.В., Григорьев А.А. Холодное выдавливание спеченных заготовок из алюминиевых сплавов// Изготовление заготовок и деталей пластическим деформированием/ Под ред.К.Н.Богоявленского, В.В.Риса, А.М.Шелестеева. - Л.: Политехника, 1991. - С.315-341.

25. Богоявленский К.Н., Рис В.В., Ирхин В.И. Изготовление узла крепления электроизолятора методами холодной объемной штамповки// Малоотходные технологические процессы холодной объемной штамповки: Межвузовский сборник трудов. - М.: Мосстанкин, 1984. - С.64-69.

26. Рис В.В., Рудской А.И., Григорьев А.А. Обработка спеченных порошковых заготовок холодным выдавливанием// Ресурсосберегающая технология машиностроительного производства: Сборник научных трудов. - Л.: ЛИЭИ, 1985. - С.104-109.

27. Богоявленский К.Н., Рис В.В., Ирхин В.И. Определение усилий при получении неразъемного соединения "металл-стеклопластик" холодным объемным деформированием// Ресурсосберегающая технология машиностроительного производства: Сборник научных трудов. - Л.: ЛИЭИ, 1985. - С.82-88.

28. Ласков Б.И., Рис В.В. Анализ на процесса пресоване на утъчаващ се материал// Машиностроене (София). - 1985. - № 5. - С.216-219 (болгарск.).

29. Рис В.В. Изготовление деталей методами холодной объемной штамповки// Обмен опытом в радиопромышленности. - М.: НИИЭИРЭ. 1986. Вып.2. Технологические процессы и оборудование. - С.17-20.

30. Исследование эффективности новой технологической смазки для холодного объемного деформирования/ К.Н.Богоявленский, В.В.Рис, В.Е.Бахтин, Ю.С.Копылов// Автоматизация и прогрессивные процессы холодной штамповки. Материалы семинара ЛДНТП. - Л., 1985. - С.44-47.

31. Применение новой смазки в процессах ротационного деформирования/ В.В.Рис, Л.В.Виноградов, Ю.Г.Шнейдер, В.Е.Бахтин // Пути повышения эффективности холодноштамповочного производства: Материалы семинара ЛДНТП - Л., 1987. - С.69-71.

32. Новые смазочные материалы для холодного объемного деформирования/ В.В.Рис; В.Е.Бахтин, Р.Л.Саргун и др.// Изготовление заготовок и деталей пластическим деформированием. Под ред.К.Н.Богоявленского, В.В.Риса, А.М.Шелестеева. - Л.: Политехника, 1991. - С.207-213.

33. Experimentări ale unor metode avansate de matrișare volumetrică la rece/ K.N. Bogojavlenskii, V.V. Ris, I.S. Aliev, Iu. G. Belostotkii // Construcția de mașini (București). - 1977. - № 10. - P. 491-493.

34. Bogojawlenskij K.N., Ris W.W., Suchich W.D. Untersuchung des hydrostatischen Extrusionsverfahrens// Fertigungstechnik und Betrieb. - 1979. - № 12. - S. 751-753.

35. Bogojawlenskij K.N., Ris W.W., Nikolow S.S. Untersuchung des asymmetrischen Fließpressens// Fertigungstechnik und Betrieb. - 1979. - № 11. - S. 675-680.

36. Effect of Cold Rolling Deformation and Heat Treatment of the Coefficient of Anisotropy of Sheet Produced by Melt Rolling/ M.G. Afon'kin, K.N. Bogoyavlenskij, V.G. Borisov and V.V. Ris // Light Metal Age. - 1979. - № 3-4. - P. 14-16.

37. Сборка методами холодной объемной штамповки соединений металла с однонаправленным армированным пластиком/ К.Н.Богоявленский

ский, В.В.Рис, В.И.Ирхин, Э.П.Соловьев// Изготовление заготовок и деталей пластическим деформированием/ Под ред.К.Н.Богоявленского, В.В.Риса, А.М.Шелестеева. - Л.: Политехника, 1991. - С.178-194.

38. Рис В.Е., Гопиенко В.Г., Григорьев А.А. Холодная объемная пластическая деформация пористых спеченных заготовок из алюминиевых сплавов// Труды ЛПИ. - Л.: - 1987. - № 417. - С.46-49.

39. Свойства лент из алюминиевых сплавов, полученных на роторной литейной машине/ М.Г.Афонькин, К.Н.Богоявленский, В.Г.Борисов, В.В.Рис// Цветные металлы. - 1974. - № 10. - С.55-57.

40. А.с.№ 1204301 СССР. МКИ В21 Д 39/04. Способ сборки узла крепления полимерного изолятора/ В.И.Ирхин, В.В.Рис, В.П.Третьяков (СССР) - № 3731684/25-27. Опубл.15.01.86. Бюл.№ 2// Открытия. Изобретения - 1986. - № 2.

41. А.с.№ 1292044 СССР. МКИ Н01 В17/38. Узел крепления полимерного изолятора/ К.Н.Богоявленский, В.И.Ирхин, В.В.Рис, Третьяков В.П. (СССР) - № 3789970124. Опубл.23.02.87. Бюл.№ 7// Открытия. Изобретения. - 1987. - № 7.

42. А.с. № 742081 СССР. МКИ В23 К 23/00. Способ холодной сварки и устройство для его осуществления/ Ю.К.Морозов, И.М.Стройман, В.В.Рис (СССР) - № 2465852/25-27. Опубл.25.06.80. Бюл.№ 23 // Открытия. Изобретения. - 1980. - № 23.

Подл.к печ., 17.12.94. Объем 2 п.л.
Типография МГТУ им.Н.Э.Баумана

Тираж 100 экз.
зак.№ 1055