

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ ЛНР

**ЛУГАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени ВЛАДИМИРА ДАЛЯ**

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ
ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА И
ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ
МАТЕРИАЛОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Сборник научных трудов

№2 (19) 2017

Луганск 2017

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF LPR
VLADIMIR DAHL LUGANSK NATIONAL UNIVERSITY**

**RESOURCE-SAVING
TECHNOLOGIES OF PRODUCTION AND
FORMING MATERIALS IN MECHANICAL
ENGINEERING**

Collection of scientific works

№2 (19) 2017

Lugansk 2017

Сборник включен в Перечень научных специализированных изданий ЛНР
Свидетельство о регистрации: серия № ПИ 000101 от 08.06.2017 г.

Сборник включен в Перечень рецензируемых научных изданий
Министерства образования и науки ДНР (Приказ № 464 от 02.05.2017 г.)

Сборник входит в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

Рекомендовано к печати Ученым советом Луганского национального
университета имени Владимира Даля (Протокол № 10 от 27.06.2017 г.).

Редакционная коллегия:

Рябичева Л.А., д-р техн. наук, проф. (председатель редакционной коллегии), (ЛНУ им. В. Даля); Гутько Ю.И., д-р техн. наук, проф. (ЛНУ им. В. Даля); Яковченко А.В., д-р техн. наук, проф. (ДонНТУ, г. Донецк); Гедрович А.И., д-р техн. наук, проф. (ЛНУ им. В. Даля); Гальцов И.А., к-т техн. наук, доц. (ЛНУ им. В. Даля); Витренко В.А., д-р техн. наук, проф. (ЛНУ им. В. Даля); Мирошников В.В., д-р техн. наук, проф. (ЛНУ им. В. Даля); Половинка Д.В., к-т техн. наук, доц. (ЛНУ им. В. Даля); Шатова Н.А., к-т техн. наук, доц. (ЛНУ им. В. Даля); Алимов В.И., д-р техн. наук, проф. (ДонНТУ, г. Донецк); Егоров С.Н., д-р техн. наук, проф. (ЮРГПУ им. М.И. Платова, Россия); Скориков А.В., д-р техн. наук, проф. (ЮРГПУ им. М.И. Платова, Россия); Ефремов А.Н., д-р техн. наук, проф. (ДонНАСА, г. Макеевка); Назарова А.В., к-т техн. наук, доц. (ЛНАУ); Дейнека И.Г., д-р техн. наук, проф. (ЛНУ им. В. Даля); Малов В.А., к-т техн. наук, доц. (ЛНУ им. В. Даля); Никитин Ю.Н., к-т техн. наук, доц. (ЛНУ им. В. Даля).

Ответственный за выпуск: д-р техн. наук, проф. Рябичева Л.А.

Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении: Сб. науч. тр. №2 (19)
2017. – Луганск: изд-во ЛНУ им. В.Даля, 2017. – 120 с.

ISSN 2218-1806

Статьи сборника посвящены результатам теоретических и экспериментальных исследований в области обработки давлением и материаловедения, литья, резания. Рассмотрены вопросы фундаментальных и прикладных исследований, использования новых материалов, методов повышения качества изделий, новых технологий изготовления изделий и усовершенствования технологического оснащения и узлов машин.

Предназначен для научных и инженерных работников, аспирантов и студентов.

Материалы печатаются на языке оригинала.

Статьи прорецензированы членами редакционной коллегии.

ISSN 2218-1806

© Луганский национальный университет имени Владимира Даля, 2017

© Vladimir Dahl Lugansk National University, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

К 80-летию доктора технических наук, профессора
ДОРОШКО ВЛАДИМИРА ИВАНОВИЧА
Памяти УЧЕНОГО, ИНЖЕНЕРА И ПЕДАГОГА 8

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Дорошко В.И. 14
ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ
ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ ВСТАВОК МАТРИЦ ДЛЯ
ОБЪЁМНОЙ ШТАМПОВКИ

Дорошко В.И. 22
УСИЛИЕ ПРЯМОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ С РАЗДАЧЕЙ
В ШТАМПЕ С УМЕНЬШАЮЩИМСЯ КОНИЧЕСКИМ ЗАЗОРОМ

Дубасов В.М. 32
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ДЕФОРМАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА В
БИМЕТАЛЛИЧЕСКОМ ИСПОЛНЕНИИ

Семянка Л.И. 40
ШТАМПОВКА КОРПУСОВ ГИДРОЦИЛИНДРОВ

Магусевич И.И. 46
СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ ШТАМПОВКИ

Рябичева Л.А. 54
ПРИМЕНЕНИЕ ВЫДАВЛИВАНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Гальцов И.А. 66
ТЕХНОЛОГИЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ
РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ С ВНУТРЕННИМ
ТЕПЛОПОГЛАТИТЕЛЕМ

Шаповалова Г.Я., Бурмистр Д.А. 73
РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
РАСЧЁТНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ШПИНДЕЛЬНОГО УЗЛА

Третьяк А.Е., Ткаченко С.Н., Чернышов С.С. 83
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОДНОСТОРОННЕГО
ШЛИФОВАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН
СВОБОДНЫМ АБРАЗИВОМ

Витренко В.А., Сыровой Г.В., Ратушняк А.Ю...... 89
РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПОРЕЗКИ ДЛИННОМЕРНОГО
ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Войтенко В.В., Комаров Н.В...... 98
ПРИМЕНЕНИЕ ЧЕТВЕРТЬВОЛНОВЫХ СВЧ ЗОНДОВ ДЛЯ
КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ОТВЕРЖДЕНИЯ
КОМПОЗИТОВ-ДИЭЛЕКТРИКОВ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Рябичева Л.А., Засько В.В...... 108
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРИСТОСТИ БЕТОНА С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТАЛЛОАБРАЗИВНЫХ ОТХОДОВ

Дьяковская О.С. 116
ФИБРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ
БЕТОНОВ

Требования к оформлению статей 121

CONTENTS

Devoted to the 80th birthday anniversary
of the professor DOROSHKO VLADIMIR IVANOVICH,
Doctor of technical sciences. Dedicated to the memory of
the SCIENTIST, ENGINEER AND TEACHER8

METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE

Doroshko V.I.	14
THE ALTERNATIVE OF TECHNICAL DETERMINATION AT OPTIMIZATION OF CONSTRUCTION OF INSERTS OF MATRIXES FOR VOLUME STAMPING	
Doroshko V.I.	22
THE FORCE OF THE DIRECT EXTRUSION WITH DISTRIBUTION OF THE STRESS IN THE STAMP WITH THE DECREASING CONIC GAP	
Dubasov V. M.	32
DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE TECHNOLOGY DEFORMATION-THERMAL TREATMENT OF STAMP INSTRUMENT IN BIMETALLIC EXECUTION	
Semenjaka L.I.	40
STAMPING OF THE HYDRAULIC CYLINDER BODES	
Matusevich I.I.	46
COMPUTER-AIDED ENGINEERING SYSTEM OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF STAMPING	
Ryabicheva L.A.	54
APPLICATION OF EXTRUSION FOR THE PRODUCTION OF DETAILS FROM POWDER MATERIALS	

MECHANICAL ENGINEERING AND ENGINEERING SCIENCE

Galtsov I.A.	66
TECHNOLOGY OF MANUAL ARC WELDING OF DISSIMILAR STEELS WITH AN INTERNAL TELEOPEPTIDE	

Shapovalova G.Y., Burmistr D.A.	73
DEVELOPMENT OF THE MATHEMATICAL MODEL OF CALCULATING DYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE SPINDLE NODE	
Tretyak A.E., Tkachenko S.N., Chernyshov S.S.	83
SIMULATION PROCESS OF ONE-SIDED GRINDING FOR SILICON WAFER WITH FREE ABRASIVE	
Vitrenko V.A., Syrovoy G.V., Ratushnyak A.Y.	89
CUTTING TOOLS FOR CUTTING OF LONG POLYMER COMPOSITE MATERIAL	

INSTRUMENT MAKING, METROLOGY AND INFORMATION AND MEASURING DEVICES AND SYSTEM

Voytenko V.V., Komarov N.V.	98
APPLICATION OF THE QUARTER-WAVE MICROWAVE PROBES FOR MONITORING THE CURING PROCESS OF COMPOSITE-INSULATORS IN THE PRODUCTION	

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Ryabicheva L.A., Zasko V.V.	108
RESEARCH OF POROSITY OF CONCRETE FOR USE OF METALABRASIVE WASTE	
Dyakovskaya O.S.	116
FIBERS APPLIED FOR DISPERSED REINFORCED CONCRETE	
Requirements to registration of articles	121

*Этот выпуск сборника научных трудов
посвящается доктору технических наук,
профессору Дорошко Владимиру Ивановичу*

**К 80-ЛЕТИЮ ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК,
ПРОФЕССОРА ДОРОШКО ВЛАДИМИРА ИВАНОВИЧА.
ПАМЯТИ УЧЕНОГО, ИНЖЕНЕРА И ПЕДАГОГА**



В августе 2011 года ушел из жизни доктор технических наук, профессор Восточнoукраинского национального университета Владимир Иванович Дорошко – известный ученый в области обработки металлов давлением, человек, который благодаря своему опыту и неиссякаемой творческой энергии стал примером для нескольких поколений молодых специалистов и ученых. Его уважали за принципиальность, чуткость, жизнерадостность, готовность всегда прийти на помощь. Он обладал глубокими знаниями, прекрасными организаторскими способностями, отличался высокой работоспособностью и пользовался большим авторитетом в научных коллективах.

Владимир Иванович родился 6 июля 1937 года в г. Новоазовск Донецкой области. Учился в школе, потом в институте в г. Мариуполь. В 1960 году окончил Ждановский металлургический институт по специальности «Обработка металлов давлением». С 1960 по 1963 год работал инженером-технологом опытного технологического и конструкторского отдела Самарского (б. Куйбышевского) металлургического завода. В то время это был самый современный завод авиационной металлургии, кузнечный цех которого был оснащён самым мощным в мире гидравлическим прессом усилием 750 МН. Пресс был запущен в строй в конце 1960 года, его основным предназначением была штамповка точных крупногабаритных поковок для авиационной промышленности.

Специфика работы кузнечного цеха и опытного технологического отдела была такова, что постоянно требовалось осваивать новые технологии, многие из которых применялись в стране впервые. Это позволило молодому инженеру получить хорошую практическую подготовку, навыки и опыт работы технологом.

После 3-х лет работы на заводе В.И. Дорошко поступает в аспирантуру Ждановского металлургического института (г. Мариуполь). Тема его диссертации «Исследование распределения нормальных напряжений на контактной поверхности при осадке тонких тел». В ней предусматривалось решение задачи повышения эффективности штамповки тонких крупногабаритных ребристых панелей на мощных гидравлических прессах.

В начале 60-х годов только начинали осваивать штамповку на таком крупном оборудовании. Оказалось, что эти технологии имели ряд особенностей, с которыми кузнецы-штамповщики ранее не встречались. Инженеры Самарского металлургического завода вместе со специалистами и учеными Всесоюзных институтов НИИАТ, ВИЛС, ВНИИМТАШ много и упорно трудились, выполняя задание правительства по созданию самых совершенных технологических процессов штамповки поковок для авиапромышленности. Внёс свой вклад в решение этих задач и В. И. Дорошко. В 1968 г. он защитил кандидатскую диссертацию, результаты которой были внедрены на металлургическом заводе в г. Самаре.

С 1967 года после окончания аспирантуры В. И. Дорошко работает в Восточноукраинском национальном университете в должностях ассистента, старшего преподавателя, заведующего кафедрой, доцента, декана по работе с иностранными студентами, а с 1998 года – профессором кафедры «Оборудование для обработки металлов давлением». Тогда в 1967 году кафедра существовала всего два года, и преподавателям и сотрудникам требовалось ещё много сделать по совершенствованию лабораторной базы, учебной, методической и научной работы. Вместе с коллегами В. И. Дорошко активно взялся за выполнение этой работы. Разрабатывались методические указания, ставились лабораторные работы, осваивались лекцион-

ные курсы, курсовое, дипломное проектирование и научно-исследовательская работа студентов.

В 1971 году В. И. Дорошко организовал на кафедре научно-исследовательский коллектив точной штамповки. Более 20 лет этот НИК выполнял НИР по хоздоговорам с центральным научно-исследовательским технологическим институтом (г. Москва) Министерства машиностроения для оборонной промышленности, а также с рядом НИИ и предприятиями других отраслей машиностроения. Работы велись по научному направлению «Ресурсосберегающие технологии штамповки: теория процессов, оптимизация и автоматизированное проектирование». В результате исследований созданы экономичные материало- и энергосберегающие технологические процессы штамповки деталей с глубокой полостью применительно к производству изделий типа «стакан», корпусов гидроцилиндров, гидрофильтров, гидро- и пневмоаккумуляторов и др., а также ресурсосберегающие технологии штамповки точных заготовок биметаллических рабочих деталей штампов и пресс-форм, системы автоматизированного проектирования технологических процессов.

Созданные под руководством и при участии В. И. Дорошко технологические процессы неоднократно представлялись на ВДНХ СССР и Украины и отмечены рядом медалей и дипломов различного достоинства, а результаты исследований докладывались на международных и республиканских конференциях по обработке металлов давлением.

На основе выполненных исследований В. И. Дорошко подготовил и защитил в 1989 году докторскую диссертацию на тему «Научное обоснование и разработка методов автоматизированного проектирования технологических процессов штамповки деталей с глубокой полостью».

В 1991 году ему присвоено звание профессора.

Работая на кафедре ООМД, освоил 11 дисциплин: «Теория пластических деформаций», «Технология холодной штамповки», «САПР технологических процессов», «САПР штампов». «Пластичность, деформируемость и разрушение металлов» и др. Разработал более 30 методических указаний по читаемым дисциплинам, руководил аспирантурой и докторантурой.

Под научным руководством Дорошко В. И. подготовлено 6 кандидатов наук. В их числе: Андрияшук А.А. в 1980 году в специализированном совете Ростовского-на-Дону института сельскохозяйственного машиностроения защитил диссертацию на тему «Исследование теплого выдавливания качественных углеродистых и легированных сталей»; Бирюков В.П., главный металлург Центрального научно-исследовательского технологического института машиностроения (ЦНИТИМ) (г. Москва) по результатам совместных научно-исследовательских работ ЦНИТИМ и Ворошиловградского машиностроительного института в 1983 году в специализированном совете МВТУ им. Баумана защитил диссертацию на тему «Разработка,

научное обоснование и освоение точной комбинированной штамповки заготовок корпусов типа стаканов»; Морнева М.О., доцент кафедры «Технология машиностроения» в 1995 году в специализированном совете Восточноукраинского государственного университета защитила диссертацию на тему «Синтез высоконагруженных цилиндрических передач и разработка технологического процесса по их изготовлению (соруководитель профессор Шишов В.П.); Семеняка Л.И., доцент кафедры начертательной геометрии и графики Восточноукраинского национального университета в 1997 году в специализированном совете Восточноукраинского национального университета защитила диссертацию на тему «Разработка, исследование и освоение технологических процессов штамповки точных заготовок корпусов гидроцилиндров»; Дубасов В.М., доцент кафедры «Прикладное материаловедение» Восточноукраинского национального университета в 1997 году в специализированном совете Восточноукраинского национального университета защитил диссертацию на тему "Разработка и исследование технологии получения биметаллического штамповочного формообразующего инструмента методом пластического деформирования"; Сергиенко О.В., доцент кафедры машиноведения и оборудования промышленных предприятий Восточноукраинского национального университета имени В. Даля в 2002 году в специализированном совете Восточноукраинского национального университета защитила диссертацию на тему «Совершенствование процессов комбинированной вытяжки полых цилиндров из листовых заготовок на основе математического моделирования».

В. И. Дорошко – автор более 150 научных трудов, в том числе 3-х монографий, 2-х учебных пособий и 9 изобретений. Он длительное время руководил редакционной коллегией специализированного сборника научных трудов ВНУ «Ресурсозберігаючі технологи виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні», являлся членом двух специализированных советов по защите кандидатских и докторских диссертаций.

Канд. техн. наук, доцент,
зав.кафедрой «Обработка давлением и сварка»
Стоянов А.А.

**МЕТАЛЛУРГИЯ И
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

УДК 621.73.043

Дорошко В.И.

ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ ВСТАВОК МАТРИЦ ДЛЯ ОБЪЁМНОЙ ШТАМПОВКИ

Doroshko V.I.

THE ALTERNATIVE OF TECHNICAL DETERMINATION AT OPTIMIZATION OF CONSTRUCTION OF INSERTS OF MATRIXES FOR VOLUME STAMPING

Рассматривается методика выбора оптимального варианта конструкции вставок матриц, основанная на экспертном методе парных сравнений теории принятия решений.

Ключевые слова: оптимизация, ЛП-поиск, шпиндельный узел, критерий, таблица испытаний.

В современных условиях проблема принятия решений или выбора альтернатив - самый распространенный тип задач, с которыми сталкивается исследователь, инженер-конструктор, хозяйственный руководитель и т.д. В настоящее время разработано множество методов многокритериальной оценки и сравнения, являющихся объектами теории принятия решений. Их отбор приведен в работе [1].

Для выбора наилучшего варианта конструкции вставок матриц для объемной штамповки приемлемым является экспертный метод парных сравнений [1]. Он успешно использован для выбора материалов в машиностроении [2], выбора способа получения заготовок [3], а также для выбора технических решений при оптимизации технологии вырубki деталей из листовых материалов [4].

В общем виде задача выбора наилучшего варианта решения указанным методом может быть описана следующим образом. Имеется множество вариантов конструкций и ряд экспертных оценок для каждого решения. Вначале устанавливается расчетом или на основании данных практики веса каждой экспертной оценки (критерия) для проектируемой конструк-

ции. Затем вычисляются относительные приоритеты вариантов по всем экспертным оценкам и комплексные относительные приоритеты каждого варианта. Вариант с наибольшим комплексным критерием является наиболее предпочтительным.

Окончательный выбор варианта осуществляет лицо, принимающее решение. Наличие лица, принимающего решение, которое стремится к достижению некоторой цели, действуя на основе имеющейся информации оценки возможных последствий решений по всем критериям, является одной из важных особенностей задач принятия сложных решений. В результате обобщения объективных данных и информации, получаемой на основе процедуры экспертизы, а также собственных предпочтений лицо, принимающее решение выбирает наилучшую альтернативу.

Методику выявления предпочтительного варианта иллюстрируем задачей выбора наилучшей конструкции цилиндрической вставки матрицы для холодной объемной штамповки.

В результате анализа возможных конструкций вставок и схем их нагружения выбраны четыре конструкции, обеспечивающие получение в них штамповкой заготовки, удовлетворяющие заданным техническим требованиям. Варианты выбранных конструкций вставок следующие: цилиндрическая вставка, нагруженная на внутреннюю поверхность стенки в средней части (X1); цилиндрическая вставка, нагруженная на внутреннюю поверхность стенки в нижней части (X2); цилиндрическая вставка с внутренним фланцем, нагруженная на внутреннюю поверхность стенки в нижней части и на фланец (X3); цилиндрическая вставка с наружным фланцем, нагруженная на внутреннюю поверхность стенки в нижней части (X4).

Оценку перечисленных конструкций производили по следующим критериям оптимизации (экспертным оценкам): прочность вставки (Z1); точность получаемых изделий (Z2); трудоемкость изготовления вставки (Z3); металлоемкость вставки (Z4). Оценочными показателями Z1 и Z2 являются соответственно максимальные значения интенсивности напряжений σ_i и максимальные величины радиального перемещения на внутренней поверхности матрицы U_r . Значения σ_i и U_r получали расчетом напряженно-деформированного состояния вставки при идентичной нагрузке на внутреннюю поверхность стенки давлением 1000 МПа с помощью программного комплекса ANSYS, который реализует для этих целей метод конечных элементов.

Для определения численных значений критериев z_3 и z_4 используются данные практики, исходя из конфигурации и геометрических размеров вставок, записанных в определенном масштабе, отражающем меру материальных затрат на изготовление вставок.

В результате выполненного анализа и расчетов напряженно-деформированного состояния указанных конструкций вставок, нагружен-

ных на внутреннюю поверхность стенки, получены численные значения показателей для рассматриваемых вариантов, представленные в табл. 1.

Решение задачи выбора предпочтительного варианта конструкции вставки матрицы производится в такой последовательности: устанавливаются расчетные приоритеты и относительные приоритеты конкурирующих вариантов конструкции вставки матрицы последовательно по каждому критерию оптимизации; определяются значимости(веса) критериев оптимизации z_i ; вычисляются комплексные (обобщенные) относительные приоритеты конкурирующих вариантов конструкции матрицы по всей совокупности критериев оптимизации с учетом их веса.

Т а б л и ц а 1

Значения показателей Z_{ij} сравниваемых вариантов конструкции вставок

Вариант	i	Прочность, напряжения σ_i , МПа	Точность, деформация U_r , мм	Трудоёмкость, условн. единицы	Металлоёмкость, условн.единиц
		Z1	Z2	Z3	Z4
x1	1	1781	0.089	5	30
x2	2	2097	0.107	5	30
x3	3	1732	0.086	15	35
x4	4	2072	0.105	10	25

Определение веса критериев оптимизации и приоритетов вариантов конструкций матрицы по критериям оптимизации производится экспертным методом парных сравнений [26]. Для использования этого метода необходимо построить системы сравнения вариантов по каждому показателю. Системы сравнений строят по данным таблицы 1, учитывая качественную сторону полученных значений. При этом используемые математические знаки $>$; $=$; $<$ имеют только качественный смысл (“лучше”, “одинаково”, “хуже”). В результате система сравнений вариантов конструкций вставок будет иметь следующий вид:

по критерию Z1

$X1 > X2$; $X2 < X3$; $X3 > X4$;

$X1 < X3$; $X2 < X4$

$X1 > X4$

по критерию Z3

$X1 = X2$; $X2 > X3$; $X3 < X4$;

$X1 > X3$; $X2 > X4$;

$X1 > X4$;

по критерию Z2

$X1 > X2$; $X2 < X3$; $X3 > X4$;

$X1 < X3$; $X2 < X4$;

$X1 > X4$;

по критерию Z4

$X1 = X2$; $X2 > X3$; $X3 < X4$;

$X1 > X3$; $X2 < X4$;

$X1 < X4$.

Для определения значимости критериев оптимизации также применяется система сравнений, которая для рассматриваемой задачи имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} Z1=Z2; Z2>Z3; Z3<Z4; \\ Z1>Z3; Z2>Z4; \\ Z1>Z4. \end{aligned}$$

Используя систему сравнений, строят матрицу смежности для каждого показателя, где знаки $>$, $=$, $<$ заменяют коэффициентами предпочтения a_{ij} .

В матрице смежности все критерии или конкурирующие варианты конструкции вставок сопоставляются попарно по количественной или качественной мере соответствующего критерия или варианта, а результаты сравнения оцениваются числом, являющимся коэффициентом предпочтения a_{ij} . В зависимости от степени важности критерия или варианта конструкции в анализируемых объектах рекомендуемые значения a_{ij} принимаются согласно табл. 2. Заполнение клеток таблицы 3 значениями коэффициентов предпочтения a_{ij} производится по алгоритму, приведенному в табл. 2 для средней степени варьирования критериев в конструкциях. Значение абсолютного приоритета P'_{X_i/Z_i} и вариантов конструкции X_i по критерию оптимизации Z_i вычисляется путём умножения каждой строки матрицы на вектор-столбец $\sum_{j=1}^n a_{ij}$, т.е

$$P'_{X_i/Z_i} = \sum_{i=1}^m (Z_i \sum_{j=1}^n a_{ij}). \quad (1)$$

Определение относительного приоритета P_{X_i/Z_i} вариантов конструкций X_i по критерию оптимизации Z_i вычисляется путём деления значения абсолютного критерия P'_{X_i/Z_i} на сумму приоритетов их критериев, т.е.

$$P_{X_i/Z_i} = P'_{X_i/Z_i} / \sum_{i=1}^m P'_{X_i/Z_i} \quad (2)$$

Т а б л и ц а 2

Рекомендуемые коэффициенты предпочтения

Варьирование критерия в конструкциях	Значение коэффициента предпочтения a_{ij}		
	x_i предпочтительнее x_j	x_j предпочтительнее x_i	x_i и x_j имеют равную предпочтительность
Незначительное	1,1	0,9	1,0
Среднее	1,5	0,5	1,0
Сильное	2,0	0,1	1,0

Т а б л и ц а 3

Матрица смежности конкурируемых вариантов конструкции по критерию Z1

i	j					$\sum_{j=1}^n a_{ij}$	$P^i x_i / z_i$	Px_i / z_i
	x_1	x_2	x_3	x_4				
x_1	1	1.5	0.5	1.5	4.5	16.25	0,2475	
x_2	0.5	1	0.5	0.5	2.5	9.25	0,1567	
x_3	1.5	1.5	1	1.5	5.5	21.25	0,35	
x_4	0.5	1.5	0.5	1	3.5	12.25	0,2007	
Σ	-	-	-	-	-	59	0.9702	

Абсолютные приоритеты $P_i^i(1)$ конструкции матриц по критерию Z1

$$P_1^i(1) = 1 \cdot 4.5 + 1.5 \cdot 2.5 + 0.5 \cdot 5.5 + 1.5 \cdot 3.5 = 16.25$$

$$P_2^i(1) = 0.5 \cdot 4.5 + 1 \cdot 2.5 + 0.5 \cdot 5.5 + 0.5 \cdot 3.5 = 9.25$$

$$P_3^i(1) = 1.5 \cdot 4.5 + 1.5 \cdot 2.5 + 1 \cdot 5.5 + 1.5 \cdot 3.5 = 21.25$$

$$P_4^i(1) = 0.5 \cdot 4.5 + 1.5 \cdot 2.5 + 0.5 \cdot 5.5 + 1 \cdot 3.5 = 12.25$$

Аналогично рассчитываются приоритеты и относительные приоритеты с помощью матриц смежности конкурирующих вариантов конструкции матриц последовательно по каждому критерию оптимизации.

Для определения значимости критериев оптимизации также применяют метод расстановки приоритетов с той лишь разницей, что объектами теперь являются не варианты X_i , а критерии оценки Z_i . Задача решается по приведен-

ной выше схеме: на основе составленной системы сравнений разрабатывается квадратичная матрица смежности (таблица 4). Вычисленные приоритеты β_{z_i} и являются весовыми коэффициентами критериев.

Т а б л и ц а 4

Матрица смежности определения значимости критериев оптимизации

i	j					$\sum_{j=1}^n a_{ij}$	$P'x_i / z_i$	Px_i / z_i
	x_1	x_2	x_3	x_4				
x_1	1	1	1.5	1.5	5	19,00	0,33064	
x_2	1	1	1.5	1.5	5	19,00	0,33064	
x_3	0.5	0.5	1	0.5	2.5	9,25	0,14919	
x_4	0.5	0.5	1.5	1	3.5	12,25	0,19758	
Σ	-	-	-	-		59,50	1,00	

Абсолютные приоритеты критериев оптимизации Z.

$$\beta'_{z_1} = 1 \cdot 5 + 1 \cdot 5 + 1.5 \cdot 2.5 + 1.5 \cdot 3.5 = 19$$

$$\beta'_{z_2} = 0.5 \cdot 5 + 0.5 \cdot 5 + 1.5 \cdot 2.5 + 1.5 \cdot 3.5 = 19$$

$$\beta'_{z_3} = 0.5 \cdot 5 + 0.5 \cdot 5 + 1 \cdot 2.5 + 0.5 \cdot 3.5 = 9.25$$

$$\beta'_{z_4} = 0.5 \cdot 5 + 0.5 \cdot 5 + 1.5 \cdot 2.5 + 1 \cdot 3.5 = 12.25$$

По результатам расчётов матриц смежности вариантов конструкций вставок матриц по всем четырём критериям оптимизации и определения значимости вариантов критериев оптимизации вычисляются комплексные (обобщённые) относительные приоритеты конкурирующих вариантов конструкций вставок по всей совокупности критериев оптимизации с учётом их веса по формуле:

$$K_i = P_{xi(z1)} \cdot \beta_{z1} + P_{xi(z2)} \cdot \beta_{z2} + P_{xi(z3)} \cdot \beta_{z3} + P_{xi(z4)} \cdot \beta_{z4}$$

где K_i - комплексный относительный приоритет i-го варианта конструкции вставки.;

$P_{Xi(Z1)}, P_{Xi(Z2)}, P_{Xi(Z3)}, P_{Xi(Z4)}$ - относительные приоритеты i -го варианта конструкции по критериям $Z1, Z2, Z3, Z4$;

$\beta_{Z1}, \beta_{Z2}, \beta_{Z3}, \beta_{Z4}$ - значимости (веса) критериев оптимизации $Z1, Z2, Z3, Z4$.

$$K_1 = 0.248 \cdot 0.331 + 0.248 \cdot 0.331 + 0.312 \cdot 0.149 + 0.319 \cdot 0.198 = 0.274$$

$$K_2 = 0.157 \cdot 0.331 + 0.157 \cdot 0.331 + 0.319 \cdot 0.149 + 0.312 \cdot 0.198 = 0.214$$

$$K_3 = 0.359 \cdot 0.331 + 0.359 \cdot 0.331 + 0.155 \cdot 0.149 + 0.207 \cdot 0.198 = 0.302$$

$$K_4 = 0.207 \cdot 0.331 + 0.207 \cdot 0.331 + 0.206 \cdot 0.149 + 0.155 \cdot 0.198 = 0.266$$

Таким образом окончательно имеем значения всех комплексных критериев: $K_1 = 0.274, K_2 = 0.214, K_3 = 0.302, K_4 = 0.266$.

Из полученных результатов расчета, видно, что наиболее предпочтительным является третий вариант конструкции, имеющий наибольшее значение комплексного критерия $K_3 = 0.302$. Это - цилиндрическая вставка, с внутренним фланцем, нагруженная на внутреннюю поверхность стенки в нижней части.

Таким образом, получаемая с использования метода парных сравнений информация о расчетных значениях комплексных относительных приоритетов рассматриваемых вариантов конструкций вставок является вполне достаточной для окончательного выбора наилучшего варианта конструкции вставок матриц лицом, принимающим решение, из предложенного числа альтернатив.

Вывод

Разработана аналитическая методика выбора оптимального варианта конструкции вставки матрицы, в основе которой лежат научно обоснованные принципы и методы системного анализа: экспертный метод парных сравнений, линейное свертывание единичных критериев в обобщенный. Методика оперирует критериями, имеющими как качественную, так и количественную меру.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руа Б. Теория выбора и принятия решений: учебное пособие / Б.Руа . М.: Наука, 1982. - 328 с.
2. Алафёрдов О.Х. Аналитический метод выбора материалов в машиностроении / О.Х.Алафёрдов, Е.О.Габриэлян // Известия вузов. Машиностроение. - 1987. - 2. - С. 99-102.
3. Афонькин М. Г. Производство заготовок в машиностроении / М.Г.Афонькин, М.В.Магницкая. - Л.: Машиностроение, 1987. - 256 с.
4. Дорошко В.И. Выбор технических решений при оптимизации технологии

штамповки в автоматизированном проектировании / В.И.Дорошко // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Тематик. зб. наук. пр. – Краматорськ, 2002. – С. 32-36

Doroshko V. I. The alternative of technical determination at optimization of construction of inserts of matrixes for volume stamping.

The technique of the alternative of an optimal variant of a design of inserts of matrixes based on an expert method of pair comparisons of the theory of decision-making is considered.

Keywords: *optimization, LP-search, shpindelny knot, criterion, table of tests.*

Дорошко Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

Doroshko Vladimir – D.Sc (Eng), Associate Professor, Vladimir Dalh East Ukrainian National University, s. Lugansk.

*Статья поступила
12 апреля 2009 г.
© Дорошко В.И., 2009*

УДК 621.771.4

Дорошко В.И.

УСИЛИЕ ПРЯМОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ С РАЗДАЧЕЙ В ШТАМПЕ С УМЕНЬШАЮЩИМСЯ КОНИЧЕСКИМ ЗАЗОРОМ

Doroshko V. I.

THE FORCE OF THE DIRECT EXTRUSION WITH DISTRIBUTION OF THE STRESS IN THE STAMP WITH THE DECREASING CONIC GAP

Рассматривается решение задачи определения усилий на подвижном и неподвижном пуансонах, а также, усилия, действующего на матрицу при прямом выдавливании полых изделий в штампах с уменьшающимся зазором. Определены зависимости усилий на все рабочие элементы инструмента от параметров процесса. Получены формулы для расчета удельных усилий на подвижном и неподвижном пуансонах и осевого усилия, действующего на матрицу при прямом выдавливании полых изделий в штампах с уменьшающимся коническим зазором.

Ключевые слова: пуансон, матрица, осевое усилие, штамп, прямое выдавливание, напряжение.

Прямое выдавливание с раздачей (рис.1) является эффективным методом получения полых изделий из сплошной заготовки. В работе [1] на основе анализа геометрии кольцевого конического зазора в штампах прямого выдавливания определены соотношения его размеров, обуславливающих реализацию трех схем напряженного состояния металла в зазоре: всестороннее сжатие, двухосное сжатие с растяжением, сжатие с растяжением в меридиональном и тангенциальном направлениях с действием на стенку сжимающих напряжений.

Изучению этого способа посвящен ряд теоретических и экспериментальных исследований [2-4 и др.]. Однако в них рассматривается напряженное, деформированное, кинематическое состояния металла и усилия при выдавливании для случаев, когда в коническом зазоре между матрицей и пуансоном имеет место деформация по типу раздачи трубной заготовки, в связи с чем процесс получил название "выдавливание с раздачей". Случаи

выдавливания, когда в коническом зазоре реализуется всестороннее сжатие, что позволяет обрабатывать малопластичные материалы, в литературе не рассматривались.

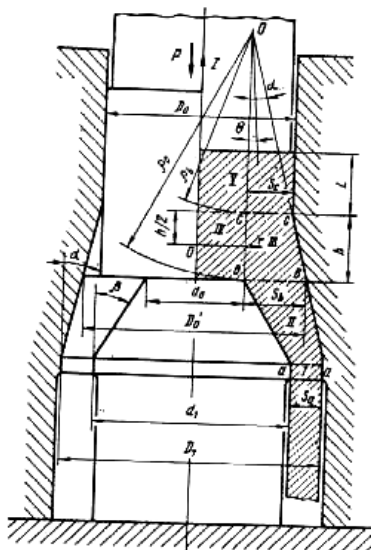


Рис. 1. Схема операции прямого выдавливания

Целью работы явилось определение зависимостей усилий на все рабочие элементы инструмента (подвижный, неподвижный пуансоны и матрица) от параметров процесса, расчетная схема которого показана на рис. 1.

Было принято, что зазор между коническими поверхностями матрицы и пуансона изменяется так, что площадь проходного сечения его уменьшается от входа к выходу и тем самым в зазоре реализуется схема всестороннее неравномерное сжатие. Деформируемый металл считается идеально жесткопластическим, не упрочняющимся. Пластическая деформация металла заготовки происходит в областях I, II, III, IV, в областях I и V металл жесткий.

Область II. Рассматривая деформацию в области II в штампах с уменьшающимся зазором, можно отметить следующее. Так как угол конусности матрицы мал (по крайней мере меньше 15°) и угол конусности неподвижного пуансона всегда больше угла конусности матрицы, а увеличение диаметра ограничивается матрицей, то длина кольцевых волокон при достаточно большой величине отношения их диаметра к толщине стенки претерпевает небольшие изменения. В этой связи в коническом

зазоре тангенциальные (окружные) деформации, связанные с увеличением диаметра кольцевых волокон, значительно меньше, чем деформации уменьшения толщины стенки. Это позволяет приближенно считать, что деформирование в области II осуществляется по схеме, близкой к схеме плоской деформации.

Принимаем полярную систему координат ρ и Θ с началом в вершине углов α и β (рис. 2).

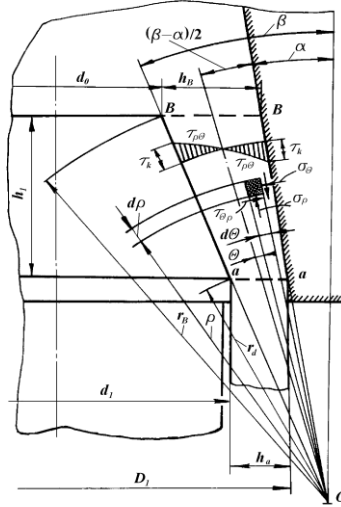


Рис. 2. Схема напряжений в области II

Дифференциальные уравнения равновесия и условие пластичности для плоской задачи в полярной системе координат имеют вид [5]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_\rho}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{\rho\Theta}}{\partial \Theta} + \frac{\sigma_\rho - \sigma_\Theta}{\rho} &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{\rho\Theta}}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \sigma_\Theta}{\partial \Theta} + \frac{2\tau_{\rho\Theta}}{\rho} &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

$$\sigma_\rho - \sigma_\Theta = \pm 2k \sqrt{1 - \left(\frac{\tau_{\rho\Theta}}{k} \right)^2}. \quad (2)$$

Считаем, что касательные напряжения $\tau_{\rho\Theta}$ в очаге деформации изменяются по линейному закону, переходя через нулевое значение при $\Theta = (\beta + \alpha)/2$:

$$\tau_{\rho\Theta} = \tau_k \frac{2\Theta - (\beta + \alpha)}{\beta - \alpha}, \quad (3)$$

где $\tau_k = \mu 2k$ – значение касательного напряжения на контактной поверхности;

μ – коэффициент трения - величина постоянная по всей контактной поверхности;

k – постоянная пластичности.

Целесообразность использования такого закона контактного трения диктуется тем, что в процессах деформации, характеризуемых достаточно выраженным всесторонним сжатием и соответственно значительной величиной среднего главного нормального напряжения, к которым относится выдавливание, как показали исследования [6], линейная зависимость сил трения от нормальной нагрузки теряется. Делая подстановку в (3), получаем распределение касательных напряжений в очаге деформации в виде:

$$\tau_{\rho\Theta} = \mu 2k \frac{2\Theta - (\beta + \alpha)}{\beta - \alpha}. \quad (4)$$

При условии (4) система уравнений (1), (2) имеет замкнутое решение. Выполнив интегрирование, определив при этом произвольные функции из условия удовлетворения интегралов каждого из уравнений (1) уравнению пластичности (2) и найдя постоянную интегрирования из условия, что на границе контактной поверхности области II при $\rho = \rho_a$ и $\Theta = \alpha$ начальные напряжения $\sigma_\Theta = -2k$, получаем:

$$\sigma_\Theta = -2k \left[1 + \left(\frac{2\mu}{\beta - \alpha} + \sqrt{1 - 4\mu^2} \right) \cdot \ln \frac{\rho}{r_a} \right], \quad (5)$$

$$\sigma_\rho = -2k \left[1 + \left(\frac{2\mu}{\beta - \alpha} + \sqrt{1 - 4\mu^2} \right) \cdot \ln \frac{\rho}{r_a} - \sqrt{1 - 4\mu^2} \left[\frac{2\Theta - (\beta + \alpha)}{\beta - \alpha} \right] \right]. \quad (6)$$

Область III. Аналогично изложенному выше, т. к. угол α мал, допускаем, что металл, заполняющий область III, ограниченную конической поверхностью матрицы и условной цилиндрической поверхностью разрыва между областями III и IV, находится в условиях плоского деформированного состояния.

Считаем также, что течение металла на границах области происходит как перемещение по контактной поверхности матрицы и осуществление сдвига по цилиндрической поверхности разрыва между областями III и IV.

В анализе используем полярную систему координат ρ и Θ с началом в вершине угла α (рис. 3). Дифференциальные уравнения равновесия для элемента деформируемого металла имеют вид (1).

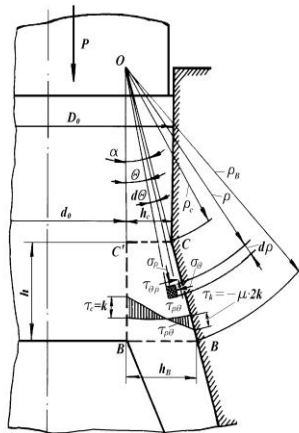


Рис. 3. Схема напряжений в области III

Считаем, что касательные напряжения на контактной поверхности матрицы τ_k постоянны и пропорциональны напряжению текучести $\tau_k = -\mu 2k$; напряжение сдвига на поверхности разрыва между областями III и IV - постоянны и равны $\tau_c = k$, поскольку при меньших напряжениях пластический сдвиг невозможен.

Принимаем линейный закон распределения касательных напряжений $\tau_{\rho\theta}$, согласно которому при изменении угла от 0 до α они изменяются от $\tau_c = k$ до $\tau_k = -\mu 2k$, переходя через нулевое значение в очаге деформации. Такое несимметричное распределение касательных напряжений в зависимости от угла представляется в виде:

$$\tau_{\rho\Theta} = k - k \frac{1+2\mu}{\alpha} \cdot \Theta. \quad (7)$$

Подстановка значения $\tau_{\rho\Theta}$ из (7) в дифференциальные уравнения равновесия (1) с использованием условия пластичности (2) позволяет получить замкнутое решение аналогично приведенному выше для области II, определяя при этом постоянную интегрирования из условия, что на границе областей II и III на контактной поверхности матрицы при $\rho = \rho_B$, $\Theta = \alpha$, $\sigma_\Theta = \sigma_{\Theta B}$, где значение $\sigma_{\Theta B}$ находится по выражению (5). Выполнив интегрирование, получаем:

$$\sigma_\Theta = -2k \left[1 + \left(\frac{1+2\mu}{2\alpha} - \sqrt{1-4\mu^2} \right) \cdot \ln \frac{\rho_B}{\rho} + \left(\frac{1+2\mu}{2\alpha} - \sqrt{1-4\mu^2} \right) \cdot \ln \frac{r_B}{r_a} \right], \quad (8)$$

$$\sigma_\rho = -2k \cdot \left[1 + \left(\frac{1+2\mu}{2\alpha} - \sqrt{1-4\mu^2} \right) \cdot \ln \frac{\rho_B}{\rho} + \left(\frac{2\mu}{\beta-\alpha} - \sqrt{1-4\mu^2} \right) \cdot \ln \frac{r_B}{r_a} - \sqrt{1 - \left[1 - \frac{\Theta}{\alpha} (1+2\mu) \right]^2} \right]. \quad (9)$$

Область IV. Считаем, что процесс пластического деформирования в области IV представляет собой осадку цилиндрического объема металла диаметром d_0 и высотой h при наличии бокового давления со стороны области III (рис. 4).

Согласно данным работы [7] с учетом допущений инженерного метода для предельного случая трения $\tau = k$ рассматриваемая задача сводится к одномерной, которая описывается одним приближенным уравнением равновесия:

$$\frac{d\sigma_z}{dr} - \frac{2k}{h} = 0. \quad (10)$$

Решая это уравнение и найдя постоянную интегрирования из условия, что на верхней кромке боковой поверхности цилиндра при $r = d_0/2$ и $z = h/2$.

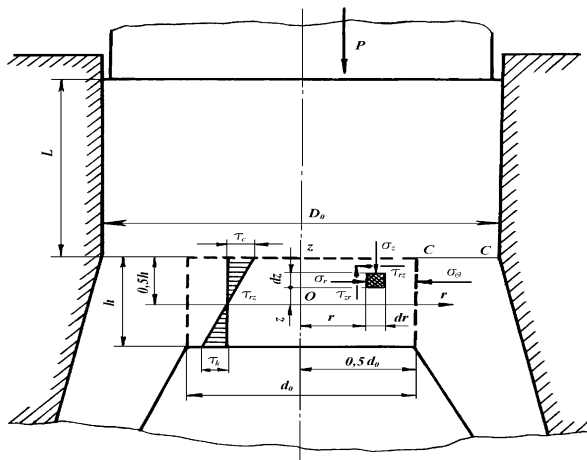


Рис. 4. Схема напряжений в области IV

Имеем $\sigma_\rho = \sigma_{\Theta c}$, где $\sigma_{\Theta c}$ – боковое давление со стороны области III, определяемое выражением (8), получаем распределение нормальных напряжений на поверхности разрыва между областями IV и V в виде:

$$\sigma_z = -2k \cdot \left[1 + \frac{1}{h} \left(\frac{d_0}{2\alpha} - r \right) \cdot \ln \frac{\rho_B}{\rho_c} + \left(\frac{2\mu}{\beta - \alpha} - \sqrt{1 - 4\mu^2} \right) \cdot \ln \frac{\rho_B}{\rho_c} \frac{r_B}{r_a} + \left(\frac{2\mu}{\beta - \alpha} + \sqrt{1 - 4\mu^2} \right) \cdot \ln \frac{r_B}{r_a} \right]. \quad (11)$$

Усилие выдавливания, действующее на подвижный пуансон, с учетом силы трения металла области V о стенки контейнера будет:

$$P = \iint_{S_{III}} |\sigma_{\rho c}| \cdot dS + \iint_{S_{IV}} [\sigma_z] \cdot dS + \mu \sigma_{S_0} \pi D_0 L, \quad (12)$$

где S_{III} и S_{IV} – площади верхних торцовых поверхностей областей III и IV.

Производя подстановки и интегрирование в выражении (12), а также отнеся к единице площади поперечного сечения пуансона, получаем формулу для удельного усилия выдавливания, в которой отношение радиусов заменено отношением разности диаметров согласно равенству, а радиусы и толщина стенки R_a , R_b и S_a выражены через соответствующие диаметры:

$$\begin{aligned}
P = 2k \cdot & \left[1 + \frac{1}{6h} \frac{d_0^3}{D_0^2} + \left(\frac{1+2\mu}{2\alpha} - \sqrt{1-4\mu^2} \right) \cdot \ln \frac{D_0' - d_0}{D_0 - d_0} + \right. \\
& \left. + \left(\frac{2\mu}{\beta - \alpha} + \sqrt{1-4\mu^2} \right) \cdot \ln \frac{D_0' - d_0}{D_0 - d_0} - \frac{\pi}{4} \left(1 - \frac{d_0^2}{D_0^2} \right) \right] + 4\mu\sigma_{s_0} \frac{L}{D_0}.
\end{aligned} \quad (13)$$

Удельное усилие, действующее на неподвижный пуансон, найдем как сумму проекций всех сил, возникающих от нормальных и касательных напряжений на вертикальную ось и отнесенную к единице максимальной площади пуансона, т.е.:

$$\begin{aligned}
q = 2k \cdot & \left\{ \frac{d_0^2}{d_1^2} \left[1 + \frac{d_0^2}{d_1^2} + \left(\frac{1+2\mu}{2\alpha} - \sqrt{1-4\mu^2} \right) \frac{2\mu}{\beta - \alpha} + \sqrt{1-4\mu^2} + \right. \right. \\
& \left. \left. + \left(\frac{2\mu}{\beta - \alpha} + \sqrt{1-4\mu^2} \right) \cdot \ln \frac{D_0' - d_0}{D_0 - d_0} \right] \frac{(d_0 + d_1)(c - d_1)}{d_1^2} \left[\left(\frac{2\mu}{\beta - \alpha} - \right. \right. \right. \\
& \left. \left. - \sqrt{1-4\mu^2} \right) \cdot \left(\frac{D_0' - d_0}{D_0 - d_0} - 1 \right) + \frac{D_0' - d_0}{D_0 - d_0} \left(\frac{2\mu}{\beta - \alpha} + \sqrt{1-4\mu^2} \right) \cdot \ln \frac{D_0' - d_0}{D_0 - d_0} \right] + \right. \\
& \left. + \frac{\mu}{\operatorname{tg}\beta} \left(1 - \frac{d_0^2}{d_1^2} \right) \right\}.
\end{aligned} \quad (14)$$

Осевое усилие, действующее на матрицу, определим, взяв сумму проекций всех сил, возникающих от нормальных и касательных напряжений на контактной поверхности матрицы, и силы трения металла о стенки контейнера, т.е.:

$$\begin{aligned}
F = \mu\sigma_{s_0}\pi D_0 L + 2k \frac{\pi}{4} & \left\{ \frac{\mu}{\operatorname{tg}\alpha} (D_1^2 - D_0^2) - (D_0' + D_1)(c - D_1) \times \right. \\
& \times \left[\left(1 - \frac{2\mu}{\beta - \alpha} - \sqrt{1-4\mu^2} \right) \left(\frac{D_0' - d_0}{D_1 - d_1} \right) + \frac{D_0' - d_0}{D_1 - d_1} \left(\frac{2\mu}{\beta - \alpha} + \right. \right. \\
& \left. \left. + \sqrt{1-4\mu^2} \right) \cdot \ln \frac{D_0' - d_0}{D_1 - d_1} \right] - \left[1 + \frac{1+2\mu}{2\alpha} - \sqrt{1-4\mu^2} + \right. \\
& \left. + \left(\frac{2\mu}{\beta - \alpha} + \sqrt{1-4\mu^2} \right) \cdot \ln \frac{D_0' - d_0}{D_0 - d_0} - \frac{D_0' - d_0}{D_0 - d_0} \left(\frac{1+2\mu}{2\alpha} - \sqrt{1-4\mu^2} \right) \times \right. \\
& \left. \left. \times \ln \frac{D_0' - d_0}{D_0 - d_0} \right] (D_0^2 - D_0'^2) \right\}.
\end{aligned} \quad (15)$$

Для оценки результатов расчета усилия производили выдавливание на испытательном гидравлическом прессе П-59 заготовок из свинца ($S_t=20$ МПа) с размерами: $D_0=40$ мм; $d_0=28.8$ мм; $D_1=56$ мм; $d_1=40$ мм; $\alpha=10$ град; $\beta=30$ град; $L=100$ мм. Заготовки и штамп смазывали машинным маслом.

Максимальное усилие выдавливания составило 85.9 кН. Расчетное значение усилия с использованием формулы (13) при $\mu=0.15$ составило 92.9 кН.

Выводы. Получены формулы для расчета удельных усилий на подвижном и неподвижном пуансонах и осевого усилия, действующего на матрицу при прямом выдавливании полых изделий в штампах с уменьшающимся коническим зазором. Показано соответствие расчетного усилия выдавливания и экспериментальных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорошко В.И. Анализ возможных вариантов прямого выдавливания полых изделий из сплошной заготовки / Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні; 3б. наук. пр. - Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2005. – С. 3-10.

2. Особенности напряженно-деформированного состояния и структуры стального полуфабриката при прямом выдавливании с раздачей / А.В.Хабаров, А.Г.Овчинников, Е.П.Добрянов и др. / Кузнечно-штамповочное производство. 1984. - № 11. – С. 21-23.

3. Овчинников А.Г., Хабаров А.В., Добрянов Е.П. Штамповка прямым выдавливанием с раздачей / Кузнечно-штамповочное производство, 1984. - №3. – С. 21-23.

4. Дорошко В.И. Усилие прямого выдавливания в равновеликий конический зазор / Известия ВУЗов. Черная металлургия, 1988. - №12. – С. 47-51.

5. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. – Машиностроение, 1977. – С. 423.

6. Макушок Е.М. Механика трения. – Минск: Наука и техника, 1974. – С. 252.

7. Теория пластических деформаций металлов / Е.П.Унков, У.Джонсон, В.Л. Коммогор и др. – М.: Машиностроение, 1983. – С. 598.

Doroshko V.I. The force of the direct extrusion with distribution of the stress in the stamp with the decreasing conic gap.

The problem of definition of the force on mobile and motionless punches, and also, the force operating on a matrix at direct extrusion of hollow products in stamps with the decreasing gap is considered. Dependences of force to all working elements of the tool on

process parameters are defined. Formulas for calculation of specific force on mobile and motionless punches and the axial force operating on a matrix at direct extrusion of hollow products in stamps with the decreasing conic gap are received.

Keywords: *punch, matrix, axial force, stamp, direct extrusion, stress.*

Дорошко Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

Doroshko Vladimir – D.Sc (Eng), Associate Professor, Vladimir Dal' East Ukrainian National University, s. Lugansk.

*Статья поступила
12 апреля 2007 г.
© Дорошко В.И., 2007*

УДК 621.73.043

Дубасов В.М.

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ДЕФОРМАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА В
БИМЕТАЛЛИЧЕСКОМ ИСПОЛНЕНИИ**

Dubasov V.M.

**DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE TECHNOLOGY
DEFORMATION-THERMAL TREATMENT OF STAMP
INSTRUMENT IN BIMETALLIC EXECUTION**

Рассмотрены экспериментальные исследования деформированного состояния и формы очага деформации в процессах выдавливания полостей биметаллических заготовках: теоретические исследования энергосиловых, кинематических параметров и усилия при выдавливании полостей в биметаллической заготовке. Выполнено исследование физико-механических свойств и структуры металла элементов биметаллических деталей штампов после полугорячего выдавливания и термической обработки. Найдены экономические способы получения надежного соединения элементов биметалла с равномерным распределением плакирующего слоя.

Ключевые слова: биметалл, штамп, полугорячее выдавливание, очаг деформации, полость, плакирующий слой, термическая обработка.

Введение

Повышение эффективности технологии машиностроения в направлении экономии материальных и энергетических ресурсов является весьма актуальной проблемой экономики. Значительное место здесь занимает совершенствование заготовительного и, в частности, штамповочного производства. В отраслях машиностроения задача ресурсосбережения решается созданием прогрессивных технологических процессов обработки металлов давлением, которые возможно эффективно реализовать на основе использования недорогой высокостойкой штамповой оснастки.

Важным резервом снижения расхода штамповых сталей являются способы изготовления деформирующих деталей инструмента в биметаллическом исполнении. Существующие способы изготовления выдавливанием

являются достаточно эффективными и реально осуществимыми в условиях кузнечно-штамповочного производства. Кроме того, важным преимуществом этих способов, связанным с формообразованием гравюры пластическим деформированием, является высокое качество изделий как по физико-механическим свойствам, так и по точности геометрических размеров, что в конечном итоге обуславливает повышение стойкости штампов [1-4].

В известных технологиях выдавливания гравюр в биметаллической заготовке не использовался прогрессивный метод полугорячего деформирования, который может применяться для обработки любых сталей и обеспечивает получение точности геометрических размеров изделий по 9...11 квалитетам и шероховатости поверхности $R_a \approx 0,32$ мкм.

Эффект от применения биметаллического инструмента заключается в уменьшении расхода дорогостоящей штамповой стали в 5-7 раз и в повышении стойкости его в 2-4 раза в связи с применением для плакирования высокопрочных и теплостойких сталей и сплавов, а также возможности их дополнительного термомеханического упрочнения. Таким образом, задача расширения использования на производстве биметаллического штампового инструмента является актуальной.

Целью работы является снижение расхода штамповых сталей, уменьшение энергетических и трудовых ресурсов на основе разработки и совершенствования технологии изготовления биметаллических рабочих деталей штампов.

Методы исследования

Теоретические исследования напряжённо-деформированного состояния и усилий при выдавливании полостей в составной биметаллической заготовке базируются на законах механики сплошной среды, теории пластичности, теории обработки металлов давлением и математическом моделировании.

Экспериментальные исследования основаны на физическом моделировании, математическом планировании, статистических методах обработки экспериментальных данных.

Теоретические решения и результаты автоматизированного проектирования подтверждены экспериментально на реализованных технологиях изготовления биметаллических штампов.

Результаты исследования

Экспериментальное исследование по установлению формы очага пластической деформации, а также характера деформации выполнено с использованием метода координатной сетки. Обработка деформированной координатной сетки произведена по методике Г. А. Смирнова – Аляева [5].

В эксперименте использованы составные цилиндрические заготовки с плоскостью разреза по меридиальному сечению. В качестве основы биметаллического образца использованы заготовки из алюминия марки А1 наружным диаметром 60 мм и высотой 45 и 35 мм. В заготовках выполнялись углубления (глухие отверстия) диаметром 30 и 24 мм, куда помещалась вставка из предварительно отожженного дуралюмина марки Д16 различной высоты. На плоскость одной из половинок биметаллической заготовки наносилась квадратная координатная сетка с шагом 2 мм. Собранный заготовка помещалась в матрицу штампа и производился процесс выдавливания. Выдавливание осуществлялось на гидравлическом прессе КИРУ - 100 усилием 1000 кН со скоростью 5... 10 мм/мин в специальном штампе, обеспечивающем соосность пуансона относительно матрицы и ориентацию заготовки. В заготовках выдавливали цилиндрическую полость пуансоном диаметром 20 мм с плоским торцом и донным радиусом 3 мм. Для исследования формы и характера очага деформации вставки выполнялись различной высоты.

В результате экспериментальных исследований деформированного состояния биметаллических заготовок установлен механизм деформации при выдавливании полости со стороны лакирующего слоя, состоящего из более прочного материала, чем основа. В зависимости от условий деформирования, определяющих сопротивление деформации отдельных частей заготовки возможны две схемы течения: без осевого сдвига и со сдвигом лакирующей части в направлении движения пуансона. При деформировании по первой схеме на протяжении всего процесса происходит формообразование полости в лакирующей части с деформацией либо только в лакирующей части, либо обеих частей заготовки совместно [6].

По второй схеме вначале деформируется только основа путем вдавливания в нее лакирующей части, а затем происходит течение аналогично первой схеме. Экспериментальным исследованием деформированного состояния металла в меридиальном сечении биметаллической заготовки также показано, что при внедрении цилиндрического пуансона с плоским торцом в условиях деформации без осевого сдвига лакирующей части, форма и размер очага пластической деформации подобны выдавливанию полости в монометаллической заготовке. При этом в случае совместного деформирования частей заготовки по всей поверхности контакта элементов биметалла относительные смещения практически отсутствуют (рис. 1).

Для теоретического анализа напряжённо-деформированного состояния очага пластической деформации с определённым допущением можно представить в виде объёма, ограниченного сверху и снизу сферическими поверхностями и конической поверхностью, расположенной между кромками пуансона и матрицы.



Рис. 1. Искривленная координатная сетка образцов с высотой лакирующей части 10 мм. Деформация без сдвига лакирующей части

При исследовании физико-механических свойств и структуры элементов биметаллических деталей штампов после полугорячего выдавливания и термической обработки использованы стали марок 5ХЗВЗМФС (Ди23), 4Х5МФС, 7ХЗ и 45Х.

Выдавливание осуществляли на гидравлическом прессе, имеющем скорость рабочего хода 15 мм/с. Из заготовок диаметром 40 мм прямым способом выдавливали образцы со степенью деформации 40%. Из таких заготовок получали стандартные образцы на растяжение с диаметром рабочей части 5 мм.

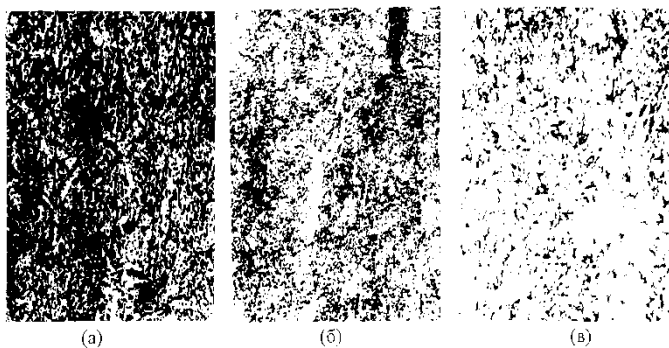
Исследуемые режимы интервала температур 600 – 800 °С разделены на три группы:

1. Пластическая деформация при температурах ниже критической точки A_{c1} ;
2. Пластическая деформация с протеканием фазовых превращений в интервале температур $A_{c1} - A_{c3}$;
3. Пластическая деформация при температурах выше критической точки A_{c3} .

Процесс деформации по первому режиму увеличения температуры приводит к снижению прочности и повышению пластичности изделий за счет протекающих процессов возврата и рекристаллизации. Характерной особенностью второго режима является существенное повышение прочности после выдавливания по сравнению с деформацией по первому режиму. После деформации при 800°С сталей 5ХЗВЗМФС и 7ХЗ в аустенитно-ферритном состоянии $\sigma_{0,2}$ увеличилось соответственно на 180 и 110 МПа по сравнению с выдавливанием при 600 °С, причем пластичность здесь значительно снижается и остается на достаточно высоком уровне ($\psi = 30-40\%$).

Выполненные микроструктурные исследования и их анализ показывают, что получение высоких прочностных и пластичных свойств сталей после полугорячей штамповки в аустенитно-ферритном состоянии при оптимальной температуре достигается за счет сформированной в процессе деформации мелкозернистой перлитно-ферритной структуры, имеющей дисперсные, сфероидизированные и ориентированно расположенные кар-

бидные частицы в перлите и тонкую субзеренную структуру в феррите (рис. 2).



а - температура 600 °С, $\times 340$; б, в - температура 800 °С, $\times 1000$.

Рис. 2. Микроструктура стали 5X3B3MFC после полугорячей деформации ($\epsilon = 40\%$)

Структурные изменения тем более значительные, чем больше легирована сталь. Полученная в результате полугорячей деформации рациональная структура сталей устойчива, она наследуется при нагреве под термическую обработку и оказывает положительное влияние на свойства после термообработки [7].

Предлагаемый технологический процесс получения биметаллических матриц предусматривает выдавливание гравюры в составной цилиндрической заготовке, состоящей из основы с соосной полости, в которую вставлен цилиндрический вкладыш. Процесс формоизменения такой заготовки характеризуется неравномерностью деформации, в результате чего распределение лакирующего слоя неравномерно. Эта неравномерность зависит от режимов технологии, а также от геометрических размеров вкладыша (лакирующего слоя) и обоймы (основного материала).

Экспериментальные исследования по выбору минимальных размеров вкладыша и достаточной для эксплуатации толщины лакирующего слоя выполнены с математическим планированием. В качестве переменных выбраны: относительная толщина вкладыша - h вкладыша / d полости, его относительный диаметр - d вкладыша / d полости, соотношение прочности компонентов биметалла при температуре 700 °С - σ_v вкладыша / σ_b обоймы, а также температура нагрева заготовки. Зависимой переменной является минимальная толщина лакирующего слоя, получаемая после выдавливания. Интервалы варьирования выбраны по результатам проведённых ранее

экспериментов и результатов анализа конструкций рабочих деталей штампов и данных об износе их гравюры. В качестве материала обоймы использовалась сталь 40Х, а для вкладыша 40Х и 4Х5МФС. Варьирование первых двух факторов осуществлялось изменением размеров вкладыша [8].

Выдавливание осуществлялось одним пуансоном диаметром 30 мм на глубину 20 мм в заготовках с наружным диаметром 70 мм и высотой 40 мм, имеющих вкладыш с размерами: диаметр 54 мм и 36 мм, высоту 32 мм и 10 мм. Штамповка осуществлялась на кривошипном прессе, усилением 1000 кН. Заготовки нагревались в электрической печи сопротивления в древесном угле для предотвращения образования окисной плёнки на сопрягаемых поверхностях вкладыша и обоймы (рис. 3).



Рис. 3. Штампованные заготовки, полученные полугорячим выдавливанием

Был поставлен полный четырёхфакторный эксперимент, включающий 16 опытов (каждый опыт повторялся 3 раза), с варьированием факторов на двух уровнях. В результате обработки эксперимента получено уравнение регрессии, представляющие зависимость минимальной толщины плакирующего слоя в изделии в виде неполного квадратичного полинома, адекватно описывающие экспериментальные данные, согласно которому с увеличением всех факторов минимальная толщина плакирующего слоя растёт. При этом наибольшее влияние на величину минимальной толщины плакирующего слоя оказывает толщина вкладыша, наименьшее - температура нагрева заготовки. Используя полученную модель, были определены соотношения размеров заготовки, которые положены в основу созданного способа изготовления биметаллических изделий.

Выводы

Представленная технология предусматривает выдавливание в режиме полугорячей обработки, что позволяет получить точность геометрических размеров в пределах 11 качества и шероховатость поверхности в пределах $R_a = 0.8$ мкм; исключает последующую доводку гравюры слесарной обработкой.

Стойкость биметаллических пуансонов по сравнению с применяемыми в производстве пуансонами из стали 7ХЗ повысилась в 1,5 - 2 раза. Технико-экономические показатели новых технологий: уменьшение расхода дорогостоящей штамповой стали в 5 - 7 раз, снижение трудоемкости изготовления штампового инструмента в 5 - 8 раз, повышение стойкости его в 2 - 4 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Довнар С. А. Термомеханика упрочнения и разрушения штампов объемной штамповки. М.: Машиностроение, 1975. 225 с.
2. Рева И. Л., Кочеров В. В. Изготовление штамповых вставок методом точного литья. // Прогрессивная технология фасонного литья. Куйбышев. 1971. С. 108-112.
3. Грауманис Я. В., Рудзитис А. А. Выдавливание формообразующих полостей штампов и пресс-форм. Рига: Лат ИНТИ, 1971. 78 с.
4. Хыбеяги А.И., Лернер П. С Выдавливание точных заготовок деталей штампов и пресс-форм. М: Машиностроение, 1986. 152 с.
5. Смирнов - Аляев Г. А. Сопrotивление материалов пластическому деформированию. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, 1978. 368 с.
6. Дорошко В. И., Семеняка Л. И., Дубасов В. М. Исследование выдавливания гравюр биметаллических штампов // Вестник Восточноукраинского государственного университета. Серия машиностроение. 1996. С. 50-52.
7. Дорошко В. И., Карташова Л. И., Дубасов В. М. Исследование влияния полугорячей пластической деформации на структуру и свойства легированных сталей // II Вісник Східноукраїнського державного університету. Ресурсозберігаючі технології одержання та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні 1997. - N 1 151. С. 28.
8. Спосіб виготовлення біметалевих виробів: пат 17078 А Україна. № 95115007; заявл. 18.03.97. Бюл. №12. С.33.

Dubasov V.M. Development and research of the technology deformation –thermal treatment of stamp instrument in bimetallic execution.

Experimental researches of the deformed state and form of hearth of deformation are considered in the processes of squeezing out of cavities bimetallic purveyances: theoretical researches of energy power, kinematics parameters and effort at squeezing out of cavities in a bimetallic purveyance. Research of physics –mechanical properties and structure of metal of elements of bimetallic details of stamps is executed after the hearth of deformation squeezing out and heat treatment. The economic methods of receipt of reliable connection of elements of bimetal are found with even distribution of plating layer.

Keywords: *bimetallic, stamp, semi-hot extrusion, squeezing out, hearth of deformation, cavity, plating layer, heat treatment.*

Дубасов В. М. – канд. техн. наук, доцент Луганского национального университета им. В. Даля, г. Луганск. Научные интересы: совершенствование технологических процессов в металлургии.
e-mail: dubasov1955@mail.ru.

Dubasov V.M. - candidate of technical sciences, associate professor Vladimir Dalh Lugansk National University, s. Luhansk Scientific interests: improvement of technological processes in metallurgy.
e-mail: dubasov1955@mail.ru.

*Статья поступила
15 мая 2017 г.
© Дубасов В.М., 2017*

Семеняка Л.И.

ШТАМПОВКА КОРПУСОВ ГИДРОЦИЛИНДРОВ

Semenjaka L.I.

STAMPING OF THE HYDRAULIC CYLINDER BODES

Разработана технология изготовления точных заготовок корпусов гидроцилиндров пластическим деформированием. Произведен анализ технологичности корпусов гидроцилиндров. Выявлено превышение допусков на диаметральные размеры полости, что объясняется температурным колебанием заготовки и инструмента. Выполнен факторный эксперимент для определения параметров дорнования заготовок, полученных штамповкой. Представлена конструкция штампованного корпуса гидроцилиндра.

Ключевые слова: гидроцилиндр, корпус гидроцилиндра, гильза, пластическое деформирование, дорнование, штамповка.

Введение

В связи с широким применением гидравлики и автоматики в любой сфере деятельности человека увеличивается потребность в производстве гидроцилиндров. Основной деталью цилиндров является корпус. Он является наиболее трудоемкой деталью гидроцилиндра. К нему предъявляются высокие требования по точности внутреннего диаметра (8-9 квалитет) и шероховатости поверхности отверстия ($0,32 > R_a > 0,16$), что обуславливает применение многооперационной технологии.

К методам изготовления корпуса гидроцилиндра можно отнести пластическое деформирование и обработку резанием.

В Германии и США используется метод холодной объемной штамповки с промежуточными химико-термическими операциями. К пластическому деформированию также относятся процессы изготовления гильз гидроцилиндров ротационным обжатием и дорнованием трубной заготовки. В настоящее время в университете СТАНКИН представлена методика разработки технологии производства корпус гидроцилиндра из железного по-

рошка. Управление процессом обжима осуществляется за счет параметров индукционного нагрева [1].

Но основной технологией изготовления корпуса гидроцилиндра является обработка резанием с использованием трубной заготовки. При этом реализуется конструкция корпуса гидроцилиндра, состоящая из гильзы и двух крышек, одна из которых соединяется сваркой.

Раскрой труб на заготовки производится на ленточно-отрезных станках. Эти станки обеспечивают низкие силы резания и как следствие невысокое усилие зажима, что необходимо для предотвращения деформации при зажиме.

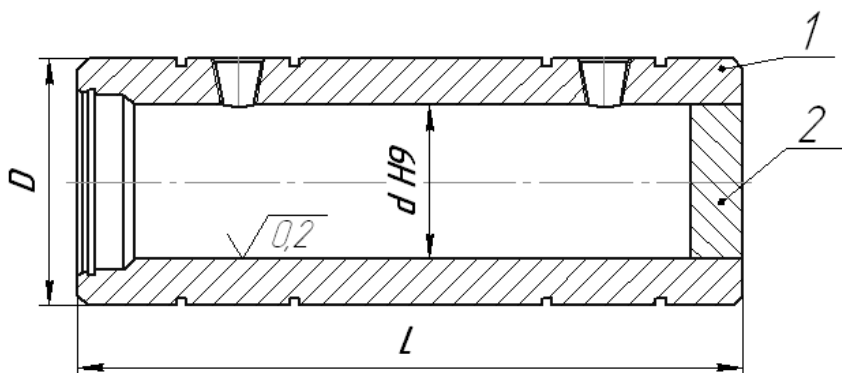


Рис. 1. Сборно-сварная конструкция корпуса гидроцилиндра:
1 – гильза, 2 – дно

Обработка гильзы заключается в снятии фаски и разделке под сварку со стороны задней крышки, а так же в обработке противоположного конца для установки и крепления передней крышки.

Основными операциями при обработке отверстия трубы являются черновая расточка отверстия гильзы гидроцилиндра, чистовая расточка и доводка отверстия гильзы [2].

Использование дорогостоящей трубной заготовки, высокие требования к точности размеров и шероховатости, предъявляемые к внутренней поверхности корпуса гидроцилиндра при изготовлении резанием обуславливает высокую трудоемкость производства и низкий коэффициент использования металла.

Европейские фирмы, изготовители гидроцилиндров, используют качественные, с обработанной внутренней поверхностью готовые трубы, произведенные на специализированных предприятиях.

В России «ООО СпецГидроСервис» предлагает для российских производителей новый подход к производству гидроцилиндров и предусматривает использование холоднотянутых хонингованных или раскатанных труб. При этом хонингованные трубы поставляются длинами от 2 метров до 9 метров, в зависимости от диаметра, с чистой рабочей поверхностью 0,2-0,4 мкм, торцы труб закрыты пластмассовыми пробками. Что исключает попадание влаги и инородных тел при транспортировке [3].

Производители гидроцилиндров стали применять сварочные аппараты с импульсным источником питания. При этом улучшается качество сварного шва и уменьшается искажение поперечного сечения гильзы [4].

Целью работы является разработка технологии изготовления точных заготовок корпусов гидроцилиндров пластическим деформированием и замена сборной конструкции корпуса на цельноштампованную.

Методика исследования

Анализ технологичности корпусов гидроцилиндров показал, что для их изготовления можно использовать технологию штамповки точных заготовок деталей с глубокой полостью, разработанную в Луганском национальном университете имени Владимира Даля под руководством профессора, д.т.н. Дорошко В.И.

Эта технология представляет собой сочетание операций штамповки, осуществляемых в режимах горячего или полугорячего деформирования с финишной операцией дорнования при комнатной температуре.

Для реализации такой технологии возникла необходимость в изменении конструкции корпуса гидроцилиндра с целью повышения технологичности при выполнении штамповочных операций.

У дна цилиндра существует мертвая зона – место для гайки, крепящей поршень на штоке. Конструктивное изменение этого нерабочего участка полости в виде конуса дает возможность усилить донную часть штампованной заготовки. Установлено, что соотношения размеров конусной части полости следующие:

$$d_{0\min} = 0,72d, h_{\max} = 0,26d,$$

где $d_{0\min}$ - минимальный диаметр основания конуса;

h_{\max} - наибольшая высота конуса;

d - внутренний диаметр корпуса гидроцилиндра).

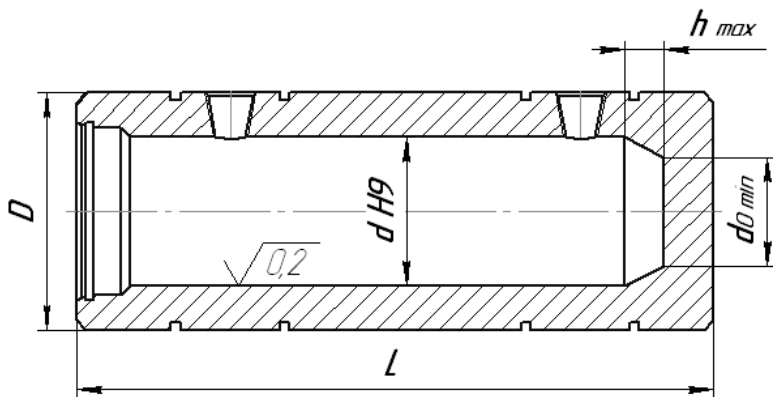


Рис. 2. Корпус цилиндра из штампованной заготовки

Эксперименты показали, что благодаря изменению формы корпуса гидроцилиндра исключается возможность отрыва или выпучивания дна заготовки при полугорячей вытяжке с утонением стенки.

Технология штамповки следующая: калибровка заготовки и обратное выдавливание, осуществляемые в режиме горячего или полугорячего деформирования, полугорячая вытяжка с утонением стенки, что позволяет изготавливать заготовки корпусов гидроцилиндров из высокопрочных сталей [5].

При измерении всех параметров штампованных заготовок выявлено превышение допусков на диаметральные размеры полости, что объясняется температурным колебанием заготовки и инструмента. Поэтому в качестве финишной операции приняли деформирование заготовки в холодном состоянии – свободное дорнование, обеспечивающее требуемые шероховатость поверхности и точность диаметральных размеров полости заготовок корпусов гидроцилиндров.

Технологический процесс изготовления точных заготовок корпусов гидроцилиндров следующий: резка горячекатаного прутка на мерные заготовки, очистка заготовок, калибровка заготовок с наметкой отверстия, обратное выдавливание. Эти операции осуществляются при температуре горячей или полугорячей штамповки. Следующая операция – полугорячая вытяжка с утонением стенки. После очистки полости заготовки следует свободное дорнование полости.

Для определения параметров дорнования заготовок, полученных штамповкой, выполнен факторный эксперимент, в результате чего установлена зависимость высоты микронеровностей поверхности полости от

числа дорнов, величины суммарного натяга дорнования, относительной толщины стенки и рабочего угла дорнов.

Используя формулу можно рассчитать, что для получения шероховатости поверхности полости $Ra=0,2$ мкм корпуса гидроцилиндра с внутренним диаметром 40 мм и наружным – 56 мм, потребуется дорнование отожженной заготовки тремя дорнами, суммарным натягом 1,7 мм и углом на дорнах $\alpha=4^\circ$.

Результаты исследований

Анализ номенклатуры корпусов гидроцилиндров позволил сделать вывод о возможности изменения конструкции корпуса с целью создания цельноштампованного корпуса гидроцилиндра.

Разработана технология изготовления точных заготовок корпусов гидроцилиндров пластическим деформированием.

Получена формула для расчета параметров свободного дорнования штампованной заготовки корпуса гидроцилиндра.

Выводы

Разработан материало- и энергосберегающий технологический процесс штамповки точных заготовок корпусов гидроцилиндров. Он позволяет обеспечить экономию материала, повысить коэффициент использования материала, снижение трудоемкости изготовления и повышение работоспособности гидроцилиндров за счет применения цельноштампованного корпуса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев А.М., Коробова Н.В., Петров М.Д. Разработка технологии производства корпуса гидроцилиндра из железного порошка. Вестник МГТУ СТАНКИН. № 1(28) 2014. С. 54-58.
2. [Электронный ресурс] Новые технологии изготовления гидроцилиндров. <http://s-gidro-s.ru/services/> Изготовление гидроцилиндров.
3. [Электронный ресурс] Производство гидроцилиндров в России. <http://kakkbiz.ru/proizvodstvo/gidrossilidrov>.
4. Дорошко В.И. Семеняка Л.И. Точность размеров изделий типа стаканов при полугорячей штамповке // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. №2(156) ч.2, 2011, С.34-39.
5. Болотин В.З. Технологические особенности изготовления длинноходовых гидроцилиндров для испытательных динамических стендов. // Актуальные проблемы Российской космонавтики. Труды XXX академических чтений по космонавтике. М., 2006. С.413-414.

Semenjaka L.I. Stamping of the hydraulic cylinder bodies.

The developed technology for producing accurate parts of the buildings of the hydro-cylinders of plastic deformation. The analysis of the technological-ness of the buildings of the cylinders. Exceeded tolerances at diametric size of the cavity, due to temperature fluctuations of the workpiece and the tool. Performed a factorial experiment to determine the parameters of dornning blanks, obtained by stamping. The design of the extruded housing hydration-DRA.

Keywords: *hydro cylinder, hydraulic cylinder body, sleeve, plastic deformation, mandrel, stamping.*

Семеняка Л.И. – канд. техн. наук, доцент Луганского национального университета им. Владимира Даля, г. Луганск. Научные интересы: совершенствование специальных приспособлений инструментального производства.

e-mail: siiig@i.ua

Semenjaka L.I. is Candidate of Technical Sciences, the associate professor of the Luhansk national university of V. Dahl, Luhansk. Scientific interests: improving special tools tool production.

e-mail: siiig@i.ua

Статья поступила

15 мая 2017 г.

© Семеняка Л.И., 2017

УДК 621.73

Матусевич И.И.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ШТАМПОВКИ

Matusevich I.I.

COMPUTER-AIDED ENGINEERING SYSTEM OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF STAMPING

Представлена методика автоматизированного проектирования технологического процесса штамповки деталей с глубокой полостью с осуществлением технологии в условиях горячей, полугорячей и холодной обработки, позволяющей получать полуфабрикаты, имеющие произвольную конфигурацию донной части, цилиндрическую или коническую полость с произвольным количеством конических и цилиндрических участков и цилиндрическую наружную поверхность стенки. В работах использованы программы CONT, RZVD, OPTVD, RRS DPS, IRPPS, IRPOD, HMTK.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, детали с глубокой полостью, калибровка, наметка отверстия, вытяжка с утонением стенки.

Введение

В настоящее время приоритетной задачей машиностроения является совершенствование выполнения расчетных и графических работ на основе применения современных средств компьютерного проектирования. Одним из направлений научной деятельности профессора Владимира Ивановича Дорошко было совершенствование системы автоматизированного проектирования технологических процессов обработки давлением. К ним относятся: разработка методики и алгоритм анализа выдавливания полости в составной биметаллической заготовке [1], компьютерное моделирование процесса вытяжки с утонением заготовки с переменной толщиной стенки [2], вычислительные эксперименты, поставленные на основе компьютерного моделирования процесса комбинированной вытяжки [3], автоматизированное проектирование операции дорнования, позволяющее рассчитать

процесс дорнования минимально возможным числом дорнов, обеспечивающий получение изделий с требуемыми шероховатостью поверхности, точностью диаметра полости и с остаточной пластичностью металла, не превышающей заданного значения [4], предложения по классификации полых ступенчатых деталей и алгоритм их проектирования [5].

Большое внимание уделялось разработке системы автоматизированного проектирования операций штамповки глубоких полых деталей, математическому моделированию, алгоритмам проектирования технологий в условиях горячей, полугорячей и холодной обработки [6]. Это обусловлено тем, что в промышленности большое распространение имеют детали с глубокой полостью. К ним относятся – корпуса гидро- и пневмоцилиндров, автомобильных амортизаторов, фильтров высокого давления, снарядов, шахтных гидростоек и другие детали, у которых отношение глубины полости к ее диаметру составляет более трех. Конфигурация таких деталей при изготовлении их методами механической обработки предусматривает большой расход металла и трудоемкость изготовления. Применение многооперационных методов пластического деформирования в режимах холодной и полугорячей обработки в связи с облегчением процессов, позволяет получать штамповкой изделия из высокопрочных углеродистых и легированных сталей, обеспечивает экономию металла и достижение точности размеров в пределах 10...11 качествен.

Для получения заготовок с глубокой полостью использование технологий с применением кузнечно-прессового оборудования является наиболее экономичным. Они могут включать в себя такие штамповочные операции, как калибровка заготовки и наметка отверстия, прошивка с получением толстостенного полуфабриката, увеличение высоты за счет утонения стенки выдавливанием или вытяжкой с утонением.

Целью работы являлась разработка системы автоматизированного проектирования технологических процессов штамповки деталей с глубокой полостью с использованием математических моделей и алгоритмов проектирования основных штамповочных операций: для проектирования чертежа поковки – программа CONT, расчета размеров полуфабриката – программа RZVD, оптимизации степени деформации по расходу металла припусков на промежуточную механическую обработку – OPTVD, проектирование операции вытяжки с утонением стенки – RRSDPS, IRPPS, IRPOD, проектирование операции калибровки с наметкой отверстия – HMTK.

Постановка задачи

Схема технологического процесса изготовления деталей с глубокой полостью такова. Из сплошной заготовки при помощи операций прошивки,

прямого или обратного выдавливания получают полый укороченный полуфабрикат, а затем вытяжкой с утонением стенки – окончательные размеры.

За основу предлагается принять три типа технологии штамповки:

- горячая штамповка на всех операциях;
- полугорячая или холодная штамповка на всех операциях;
- комбинированная штамповка (горячая прошивка, полугорячая или холодная вытяжка с утонением стенки).

Предполагается многовариантное проектирование за счет изменения параметров в алгоритмах, оценка варианта технологии по экономическому критерию, выбор оптимального варианта для данного типа технологии и наилучшего технологического процесса для конкретных условий производства.

Полуфабрикаты, полученные в результате технологического процесса, представлены на рис. 1.

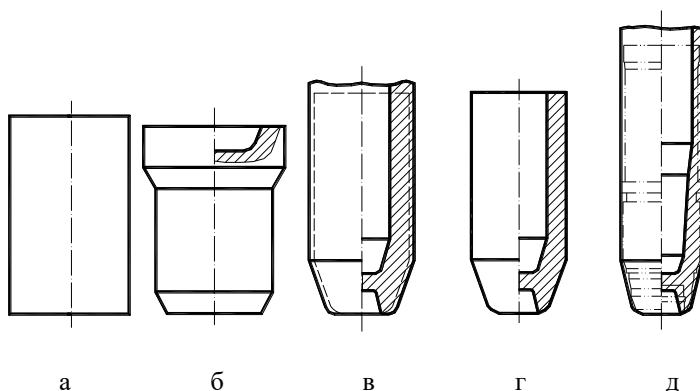


Рис 1. Схема технологического процесса штамповки деталей с глубокой полостью: а – исходная заготовка круглого или квадратного сечения, отрезанная от прутка на пресс-ножницах; б – калибровка с наметкой отверстия; в – прошивка; г – механическая обработка; д – вытяжка с утонением стенки

При обратном выдавливании необходима операция калибровки с наметкой отверстия (рис. 1, б). При этом происходит распрессовка заготовки по матрице и наметка отверстия, соответствующего торцу прошивного пуансона.

На операции прошивки (рис. 1, в) формируется полость, а также одновременно оформляется донная часть поковки. Механическая обработка наружной поверхности, полученной прошивкой заготовки (рис. 1, г), производится только при комбинированной штамповке с целью удаления дефектного слоя и устранения разностенности.

Операция вытяжки с утонением стенки (рис. 1, д) происходит в одной или нескольких матрицах с использованием одного и того же пуансона. Общая схема алгоритма проектирования представлена на рис. 2.

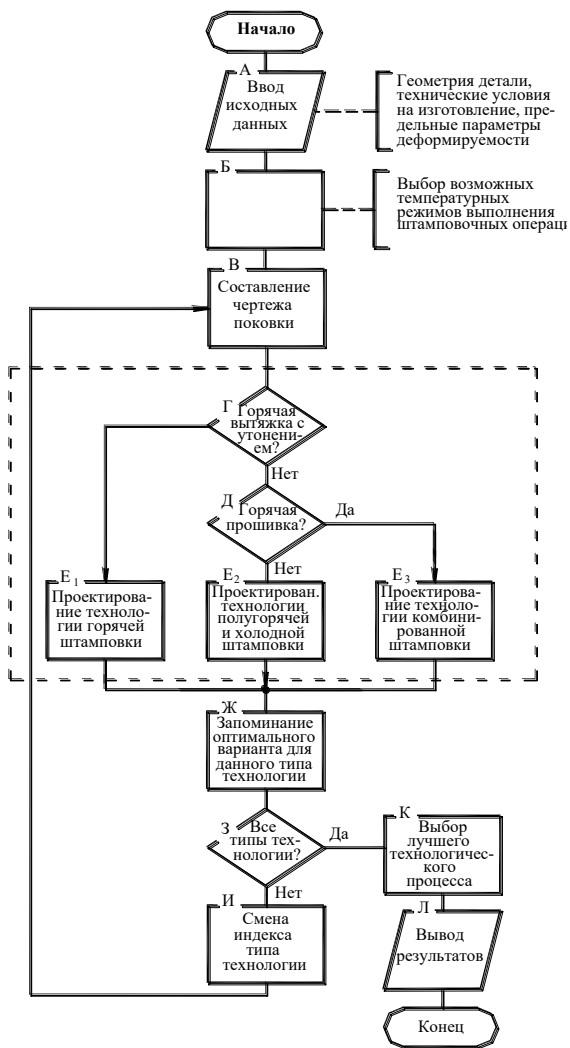


Рис. 2. Схема алгоритма автоматизированной системы проектирования технологии штамповки деталей с глубокой полостью

Исходными данными (блок А), необходимыми для проектирования, являются: чертеж чистовой детали в кодированной форме, технические условия на ее изготовление (механические свойства, точность и т.д.), нормативно-справочная информация, включающая нормативы, необходимые для составления чертежа поковки, выбора размера исходной заготовки и выполнения технико-экономических расчетов, данные о свойствах материала детали (напряжение текучести, параметры кривой упрочнения), предельные параметры деформируемости на операциях прошивки и вытяжки с утонением стенки.

В блоке Б выбираются возможные температурные режимы штамповочных операций: горячее, полугорячее, холодное выдавливание и вытяжка с утонением стенки.

Составление чертежа поковки происходит в блоке В. В основу метода принята координатная форма задания исходного контура осевого сечения детали.

Для осесимметричных деталей применим метод кодирования геометрического образа, основанный на задании координат вершин многоугольника, являющихся точками пересечения прямолинейных отрезков контура половины осевого сечения чистовой детали.

Геометрия и размеры детали в кодированной форме представляются упорядоченным множеством координат вершин многоугольника x_i , y_i и радиусов закруглений в соответствующей вершине R_i , т.е. $\{x_i, y_i, R_i\}$, $i = 1, N$.

Такая система кодирования позволяет создавать алгоритмы, в которых возможно распознавать особенности формы детали и решать вопросы преобразования таблицы координат чертежа детали – в таблицу координат поковки и пооперационных полуфабрикатов, а также с графическим представлением проектируемых заготовок.

В блоках Е1, Е2, Е3 проектируются горячая, полугорячая или холодная и комбинированная технологии штамповки.

Далее в блоке Ж запоминается оптимальный вариант для каждого типа технологии: номер варианта технологии, код температурного режима штамповки, представленные в координатной форме массивы геометрического образа контуров полуфабрикатов после операций штамповки, массивы геометрических параметров полуфабрикатов (объем, диаметры, высоты, припуск на промежуточную механическую обработку и т.д.), массивы величин степеней деформации и использования ресурса пластичности, массивы основных размеров инструмента (матриц, пуансонов, хода пуансона и т.п.), массив значений деформирующих усилий на операциях.

В блоках З и И происходит перебор возможных вариантов типов технологии. Выбор технологического процесса по минимальным затратам на

реализацию происходит в блоке К. Оценку эффективности варианта технологии по экономическому критерию желательно вести с учетом затрат как в штамповочном производстве, так и на последующем переделе, принимая во внимание повышение эксплуатационных характеристик детали.

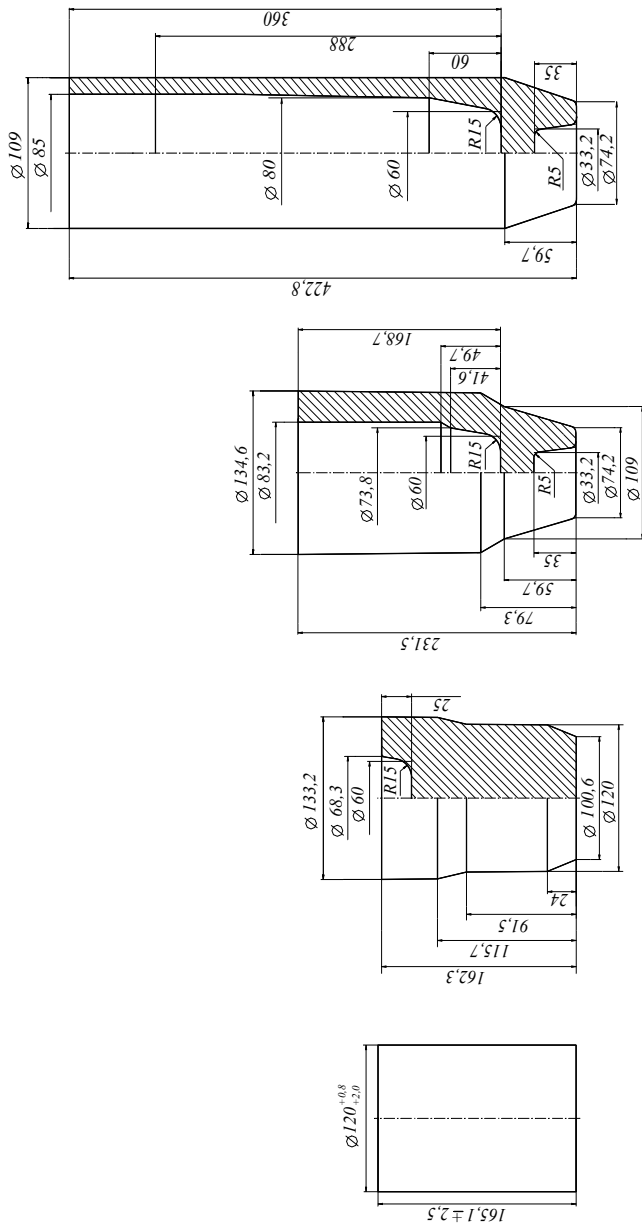
Результаты проектирования оптимального варианта технологии формируются в блоке Л в виде технологической карты штамповки, содержащей эскизы поковки и полуфабрикатов после каждой операции, информацию о поковке и полуфабрикатах в виде таблиц координат вершин контуров половин осевого сечения и радиусов закруглений в вершинах, значений расчетных усилий и степеней деформации на операциях, таблицы деформационных параметров и расчетных значений усилий на операциях штамповки.

Выводы

Автоматизированное проектирование операций штамповки деталей с глубокой полостью позволяет выбрать наиболее экономически выгодный вариант технологии за счет расчета деформируемости в процессах штамповки, повышения качества изделий, экономии металла и энергетических ресурсов, сокращения сроков подготовки производства. Примером может служить технологический процесс получения поковки корпуса гидрофилтра, спроектированный по описанной методике (рис. 3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорошко В.И., Дубасов В.М. Алгоритм расчета параметров технологии выдавливания биметаллических рабочих деталей штампов // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Вісник СУДУ. Луганськ: вид-во СУДУ, 1997. С. 155-159.
2. Дорошко В.И., Сергиенко О.В. Моделирование процесса вытяжки с утонением заготовок с переменной толщиной стенки // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у металургії і машинобудуванні: Зб. наук. пр. Краматорськ, 2000. С. 102-106.
3. Дорошко В.И., Сергиенко О.В. Исследование на компьютерных моделях процесса комбинированной вытяжки // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Тематич. зб. наук. пр. ДДМА, Краматорськ, 2003. С. 388-391.
4. Дорошко В.И., Семеняка Л.И., Матусевич И.И. Автоматизация проектирования операции дорнования // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Зб. наук. пр. В 2-х ч. Ч. 1. Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2004. С. 211-217.
5. Дорошко В.И., Городовиков М.В. Алгоритм проектирования операций вытяжки ступенчатых деталей // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Зб. наук. пр. Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2005. С. 54-61.



а б в г

Рис. 3. Операции технологического процесса горячей штамповки поковки корпуса гидрофилтра:
а – исходная заготовка; б – полуфабрикат после калибровки с наметкой отверстия;
в – полуфабрикат после прошивки; г – полуфабрикат после вытяжки с утонением стенки

6. Дорошко В.І. САПР операцій технології штампування деталей з глибокою порожниною: Навчальний посібник. Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2005. 88 с.

Matusevich I.I. Computer-aided engineering system of technological processes of stamping.

The method of automated design of technological process of stamping parts with deep cavity, allowing to receive semi-finished products having any configuration of a bottom part, a cylindrical or conic cavity with any number of conic and cylindrical sections and a cylindrical outer surface of the wall in the conditions of hot, semi-hot and cold processing is presented.

Keywords: *automated design, parts with deep cavity, calibrate, opening basting, extract with thinning of a wall.*

Матусевич Инна Ивановна – старший преподаватель Луганского национального университета им. В. Даля, г. Луганск. Научные интересы: совершенствование технологических процессов в металлургии.

e-mail: oomdis@yandex.ru

Matusevich I.I., is senior lecturer the Luhansk national university of V. Dahl, Luhansk. Scientific interests: improvement of technological processes in metallurgy.

e-mail: oomdis@yandex.ru

Статья поступила

15 мая 2017 г.

© Матусевич И.И., 2017

УДК 621.742

Рябичева Л.А.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫДАВЛИВАНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ryabicheva L.A.

APPLICATION OF EXTRUSION FOR THE PRODUCTION OF DETAILS FROM POWDER MATERIALS

Выполнен анализ технологических процессов выдавливания порошковых пористых заготовок, на основании которого разработана классификация схем прямого, обратного и комбинированного выдавливания. Показаны преимущества и недостатки каждой из схем выдавливания и рекомендованы области применения каждой схемы. Рассмотрены этапы разработки технологического процесса выдавливания, который состоит из анализа условий работы детали, выбора материала и способа изготовления детали; анализа геометрической формы детали и ее отдельных элементов на технологичность и разработка чертежа порошковой детали с учетом возможностей технологии; разработка схемы выдавливания и формы заготовки; расчет размеров штампа и заготовки; разработка технологического процесса получения заготовки, назначение режимов, выбор оборудования; проектирование пресс-формы для прессования заготовки; разработка технологического процесса выдавливания детали, назначение режимов, выбор оборудования; проектирование штампа для выдавливания; назначение дополнительных операций, разработка режимов, выбор оборудования.

Ключевые слова: порошковая пористая заготовка, выдавливание, схема деформирования, плотность, штамп, давление.

Введение

Повышение эффективности и расширение областей применения процессов порошковой металлургии немислимо без поиска и разработки новых высокопроизводительных технологий изготовления высокоплотных деталей различного назначения. Одним из таких методов является выдавливание порошковых заготовок, основными преимуществами которого является возможность изготавливать высокоплотные детали повышенной сложности и размерной точности; снижение силы пластического деформи-

рования по сравнению с компактным материалом в среднем на 20-25% [1]. По физико-механическим свойствам штампованные детали из порошковых материалов не уступают компактным. Наибольшая эффективность штамповки порошковых заготовок достигается при изготовлении осесимметричных деталей с центральной полостью, большими перепадами сечения и сложной внешней конфигурацией. Это обширная группа изделий типа гильз, колпачков, стаканов с глухой и сквозной полостью, которые широко применяются в различных узлах машин.

Успешная реализация процессов пластического деформирования порошковых заготовок зависит от правильного определения числа и последовательности технологических переходов при формообразовании [2]. Анализ условий, влияющих на формообразование пористых заготовок, показывает, что дефицит пластичности порошкового материала снижает штампуемость заготовок. В связи с этим при проектировании рационального технологического процесса необходимо обеспечить наилучшее использование деформируемости материала за счет создания напряженного состояния сжатия, соответствующей формы и размеров исходной пористой заготовки. Для получения деталей сложной формы из компактных материалов широко используют процессы выдавливания [3, 4]. Применение таких схем позволяет расширить номенклатуру порошковых деталей, обеспечив при этом высокий уровень свойств материалов [5].

Целью работы является обобщение результатов исследования применения выдавливания для изготовления деталей из порошковых материалов.

Постановка задачи

Как и для компактных материалов, для порошковых материалов применяются прямое, обратное и комбинированное выдавливание. Но в данном случае выдавливание используется не только для выполнения формоизменения, но и для получения деталей с высокой и равномерной плотностью с заданными физико-механическими свойствами. Поэтому операция выдавливания для порошковой пористой заготовки (ППЗ) имеет свои особенности. В соответствие с выбором схемы деформирования на практике возможны различные варианты выполнения выдавливания. Это позволило объединить схемы деформирования в некоторую классификацию, применение которой поможет разработать стандартный технологический процесс изготовления детали.

Результаты исследования

Прямое выдавливание ППЗ осуществляется без противодействия в неподвижной матрице. Недосток такого способа – разнородность детали по высоте, образование трещин на переднем торце. Таким образом полу-

чают порошковые детали из заготовок с высокой плотностью (относительная плотность 90-95%) из пластичных материалов с отношением размеров выдавленной части к размерам пресс-остатка не превышающим некоторую предельную величину, зависящую как от выше перечисленных факторов, так и от геометрических размеров детали.

Более высокие свойства обеспечивает выдавливание с противодавлением (рис. 1, а, б). При такой схеме выдавливание выполняется в неподвижной (рис. 1, а) или подвижной матрице (рис.1, б), а противодавление осуществляется стержнем (рис. 1, а) или нижним пуансоном (рис. 1, б). На первой стадии деформирования осуществляется осадка до заполнения полости матрицы и уплотнение заготовки, затем начинается течение металла и формообразование детали. При получении изделий с внутренней полостью перемещение матрицы способствует течению наружных слоев металла в кольцевую полость, тогда как слои, прилегаемые к неподвижному стержню, тормозятся. Противодавление должно быть таким, чтобы обеспечить неразрывность перемещающегося объема металла. По данным работы [6], величина противодавления при выдавливании деталей из компактных металлов составляет 0,1 силы штамповки. Для получения материалов с высокими характеристиками прочности и пластичности авторы работы [7] деформировали заготовки через винтовую матрицу, прикладывая противодавление величиной не менее предела текучести деформируемого металла. В этом случае в процессе обработки создается схема всестороннего сжатия, благоприятствующая получению высоких свойств.

Обратное выдавливание может осуществляться в неподвижной матрице без противодавления. Для получения деталей с высоким уровнем равноплотности авторы работы [8] рекомендуют выдавливание вести в подвижной матрице с активными силами трения. Однако для реализации такой схемы необходимо специальное оборудование.

Схема обратного выдавливания с противодавлением (рис. 1, в) осуществляется в неподвижной матрице, а противодавление создается подвижным пуансоном. При такой схеме используется заготовка простой формы. На первом этапе происходит осадка и уплотнение заготовки, а затем течение металла в полость, образованную стенкой матрицы и подвижным стержнем.

Схема радиального выдавливания с противодавлением, создаваемым за счет подвижной («плавающей») матрицы, состоящей из двух полуматриц, показана на рис. 1, г. Заготовка имеет простую форму. Формообразование осуществляется за счет осадки и последующего выдавливания фланцевой части. Применение данного способа ограничено деформируемостью материала заготовки и геометрией детали. Для извлечения детали из штампа при холодной штамповке площадь верхней кольцевой поверхности детали должна быть меньше, чем площадь поверхности детали, находящейся в нижней полуматрице.

На рис. 1, д показана схема радиального выдавливания детали в двух полуматрицах пуансоном, заходящим в полость матрицы. Заготовка простой формы устанавливается на нижний пуансон, осуществляется смыкание полуматриц и деформирование заготовки верхним пуансоном.

Радиальное выдавливание стержнем с конусной рабочей частью позволяет получать детали типа гладких втулок с тонкими стенками и отношением высоты к диаметру больше 1. Заготовка изготавливается с припуском на уплотнение по внутреннему диаметру и с фаской на нижнем торце (рис. 1, е). При внедрении конусного стержня в пористую заготовку происходит течение металла в радиальном направлении, уплотнение и смещение материала в осевом направлении, которое ограничивают вставки.

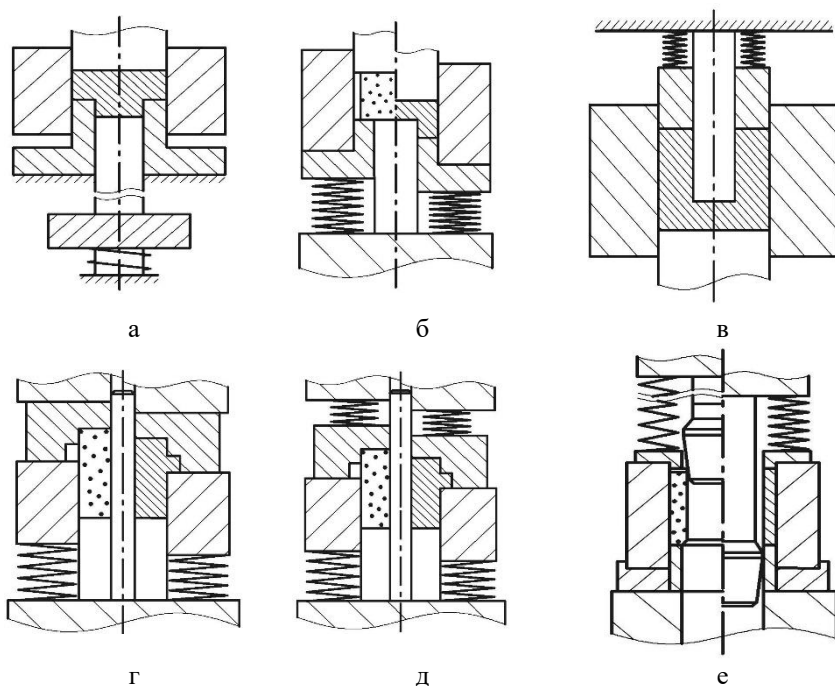


Рис. 1. Схемы штамповки выдавливанием

Наибольший интерес представляют комбинированные процессы выдавливания, применяемые для изготовления деталей сложной формы (рис. 2). Пористая заготовка может иметь простую форму, либо приближенную по форме к получаемой детали. Штамповка осуществляется без радиального течения металла, либо с радиальным, когда заготовка устанавливается в

матрицу с зазором и на первом этапе происходит ее осадка и уплотнение, а затем выдавливание.

Комбинированная схема, совмещающая прямое и обратное выдавливание детали сложной формы, пуансоном, не заходящим в полость матрицы, в подвижной (плавающей) матрице из заготовки простой формы показана на рис. 2, а. При штамповке происходит осадка фланцевой части, заполнение верхней сферы и формирование кольца за счет противодействия, создаваемым подпружиненным стержнем.

Схема получения тонкостенных деталей типа втулок с фланцем в плавающей матрице из заготовки простой формы показана на рис. 2, б. При штамповке происходит осадка и уплотнение заготовки, выдавливание фланца (например, шестигранной формы) и радиальное деформирование стенки детали.

Согласно схеме, показанной на рис. 2, в, выдавливание осуществляется в штампе с плавающей матрицей и подвижным стержнем. Форма заготовка приближена к форме детали: в верхней ее части предусмотрена выборка, соответствующая выборке в готовой детали. Такую заготовку легко получить прессованием порошка, а при выдавливании наличие выборки облегчает процесс деформирования. На первом этапе происходит осадка и уплотнение заготовки, а затем прямое выдавливание донной части и радиальное формообразование фланца.

На рис. 2, г, 2, д и 2, е показаны схемы выдавливания деталей с внутренней полостью и переходами по наружному диаметру. Выдавливание осуществляется с использованием заготовки простой формы (рис. 2, г) или приближенной по форме к готовой детали (рис. 2, д и 2, е), не заходящим (рис. 2, г) или заходящим (рис. 2, д и 2, е) в полость матрицы пуансоном, в плавающей (рис. 2, г и 2, д) или неподвижной (рис. 2, е) матрице, с неподвижным (рис. 2, г) или подвижным стержнем (рис. 2, д и 2, е). Во всех случаях на первом этапе происходит уплотнение заготовки, а затем течение уплотненного металла в свободные полости штампа. Процесс деформирования определяется деформационной способностью пористого материала и необходимой для формообразования степенью деформации.

Многочисленные экспериментальные данные позволяют сформулировать некоторые общие требования и рекомендации к разработке технологического процесса [9]. При всем разнообразии конструкций деталей и предъявляемых к ним требований разработка технологического процесса штамповки включает следующие этапы: анализ условий работы детали, выбор материала и способа изготовления детали; анализ геометрической заготовки, назначение режимов, выбор оборудования; проектирование пресс-формы для прессования заготовки; разработка технологического процесса выдавливания детали, назначение режимов, выбор оборудования; проекти-

рование штампа для выдавливания; назначение дополнительных операций, разработка режимов, выбор оборудования.

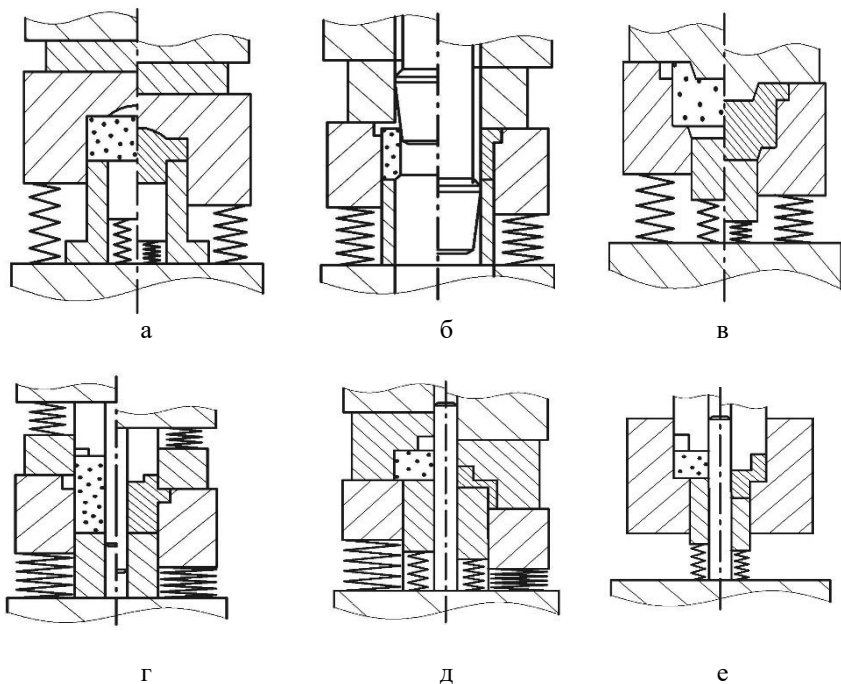


Рис. 2. Схемы штамповки комбинированным выдавливанием

Расчет параметров технологического процесса рекомендуется вести в следующей последовательности.

По условиям работы детали выбирается материал и определяется его плотность. Рассматривается способ ее изготовления. Рассчитывается плотность порошковой шихты, г/см³:

$$\gamma_k = \frac{100}{\frac{N_1}{\gamma_1} + \frac{N_2}{\gamma_2} + \frac{N_3}{\gamma_3} + \dots}, \quad (1)$$

где N_1, N_2, N_3, \dots – содержание компонентов, входящих в состав порошкового материала, %;

$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ – теоретическая или пикнометрическая плотность компонентов, г/см³.

Определяется масса детали. Для этого деталь разбивается на элементы, представляющие собой геометрические фигуры простой формы и находятся их объемы. Объем детали V_{∂} равен сумме составляющих ее элементов. Масса детали определяется по формуле, г:

$$M_{\partial} = V_{\partial} \cdot \gamma_k \cdot \eta, \quad (2)$$

где V_{∂} – объем детали, рассчитанный по номинальным размерам, без учета допусков, см³;

η – заданная относительная плотность детали в долях единицы:

$$\eta = \frac{\gamma_{\partial}}{\gamma_k}, \quad (3)$$

где γ_{∂} – плотность детали.

Рассчитывается навеска порошковой шихты для получения заготовки, г:

$$M_H = M_{\partial} \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (4)$$

где K_1, K_2 – коэффициенты, учитывающие потери порошка при прессовании и спекании.

Выбирается схема выдавливания на основе анализа конфигурации детали.

Проектируется форма заготовки с учетом схемы выдавливания, способ прессования и спекания, определяется ее плотность и размеры.

Выполняется расчет размеров штампа. Определяются размеры прессформы для прессования заготовки. Рассчитывается сила прессования заготовки по соотношению, Н:

$$P = p \cdot F \quad (5)$$

где p – давление прессования, МПа;

F – площадь прессования, мм².

Величина давления p для различных материалов и условий прессования определяется экспериментально или берется из справочной литературы (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Плотность прессовок из чистых порошков железа и меди, г/см³

Материал	Д а в л е н и е п р е с с о в а н и я, М П а									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Железо	4,02	4,66	5,28	5,59	5,94	6,20	6,37	6,44	6,62	6,74
Медь	5,00	5,56	6,30	6,74	7,06	7,38	7,53	-	-	-

Сила формующего пресса определяется по формуле, Н:

$$P_n = p \cdot m, \quad (6)$$

где m – коэффициент запаса мощности пресса ($m = 1,25-1,35$).

Температура спекания выбирается из справочной литературы [1] или ориентировочно по соотношению:

$$T_{cn} = (0,7 - 0,9)T_{пл}, \quad (7)$$

где $T_{пл}$ – температура плавления основного компонента шихты.

Время спекания выбирается по справочной литературе или ориентировочно из эмпирического соотношения, с:

$$\tau = K_c + W, \quad (8)$$

где K_c – время нагрева деталей (или контейнера с деталями) до температуры спекания, с;

W – время изотермической выдержки, с.

Давление выдавливания пористой заготовки определяется по формулам в зависимости от схемы деформирования. Сила выдавливания определяется по соотношению, Н:

$$P = p_{III} F, \quad (9)$$

где p_{III} – давление, МПа;

F – площадь контакта заготовка-инструмент, мм².

Для порошковых углеродистых и низколегированных сталей давление выдавливания составляет 1000-1200 МПа, для сплавов на основе меди – 900-1000 МПа.

Режимы термической обработки порошковых материалов, полученных выдавливанием пористых заготовок, назначаются с учетом структурных особенностей порошковых материалов.

Выводы

Разработана классификация схем выдавливания с учетом особенностей деформирования порошковой пористой заготовки. Отмечены основные особенности и недостатки схем и возможные случаи применения.

Представлена последовательность разработки технологического процесса выдавливания детали из порошковой пористой заготовки.

Представленный материал рекомендуется использовать при выборе схемы деформирования и разработке технологического процесса изготовления деталей из порошковых материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Либенсон Г.А., Лопатин В.Ю., Копарницкий Г.В. Процессы порошковой металлургии: в 2 т. / – Т 1.: Производство металлических порошков. М.: МИСИС, 2001. 368 с.
2. Дорофеев Ю.Г. Динамическое горячее прессование порошковых заготовок. М.: Металлургия, 1977. 216 с.
3. Овчинников А. Г. Основы теории штамповки выдавливанием на прессах. М.: Машиностроение, 1983. 200 с.
4. Алиев И. С. Технологические процессы холодного поперечного выдавливания // Кузнечно-штамповочное производство. 1988. № 6. С. 1-4.
5. Горохов В.М., Дорошкевич Е.А., Ефимов Г.М. Объемная штамповка порошковых материалов. Минск: Наука и техника, 1993. 272 с.
6. Штерн М. Б. Развитие теории прессования и пластического деформирования порошковых материалов // Порошковая металлургия. 1992. № 9. С. 12-24.
7. Бейгельзимер Я.Е., Варюхин В.Н., Орлов Д.В. Винтовая экструзия – процесс накопления деформаций. Донецк: вид-во ТЕАН, 2003. 87 с.
8. Волкогон Г.М., Дмитриев А.М., Добряков Е.П. Прогрессивные технологические процессы штамповки деталей из порошков и оборудование. М.: Машиностроение, 1991. 320 с.
9. Рябичева Л.А., Цыркин А.Т. Технология изготовления порошковых деталей методами пластического деформирования. Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2011. 180 с.

Ryabicheva L.A. Application of extrusion for the production of details from powder materials.

Extrusion processes of porous powder billets have been analyzed and classification of the direct, back and combined extrusion schemes is developed. Advantages and short-

comings of each extrusion scheme are presented and scopes of each scheme have recommended. The development stages of the extrusion technology are including the operating conditions analysis for a detail, selection of material and production technique of considered detail; analysis the influence of shape and separate elements of detail on technological efficiency and development of the powder detail drawing while taking into account technology opportunities; development of the extrusion scheme and shape of the billet; calculation of the mold and billet dimensions; development of technological process for obtaining billets, determination of modes, selecting equipment; designing of compression mold for pressing of billets; development of extrusion technology for a detail, development of the modes, selecting equipment; designing of extrusion mold; prescription of additional operations, development of modes, selecting equipment.

Keywords: *porous powder billet, extrusion, deformation scheme, density, mold, pressure.*

Рябичева Людмила Александровна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой материаловедения Луганского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск. Научные интересы: получение новых материалов со специальными свойствами из отходов промышленности с применением выдавливания.

e-mail: ryabic@gmail.com

Ryabicheva Lyudmula – D.Sc (Eng), Associate Professor, Head of the Material Department, Vladimir Dalh Lugansk National University, s. Lugansk. Scientific interest: receiving new materials with special properties from waste of the industry with application of extrusion.

e-mail: ryabic@gmail.com

*Статья поступила
12 апреля 2017 г.
© Рябичева Л.А. 2017*

**МАШИНОСТРОЕНИЕ
И МАШИНОВЕДЕНИЕ**

УДК 621.791.75.052

Гальцов И.А.

ТЕХНОЛОГИЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ С ВНУТРЕННИМ ТЕПЛОПОГЛАТИТЕЛЕМ

Galtsow I.A.

TECHNOLOGY OF MANUAL ARC WELDING OF DISSIMILAR STEELS WITH AN INTERNAL TELOPEPTIDE

Известно, что на образование сварного соединения тратится только четверть от общей теплоты дуги, а большая его часть расходуется на перегрев сварочной ванны, нагрев изделия, его деформацию, диффузию химических элементов между слоями, что приводит к ухудшению свойств сварного соединения плакированной стали. Поэтому находят способы более эффективного использования теплоты для повышения как производительности сварки, так и качества сварных соединений. В этом процессе весьма эффективен ввод внутренних стоков тепла в виде охлаждающей присадки (макрохолодильников), снижающей температуру сварочной ванны.

Ключевые слова: тепло, электрод, сталь, технология, сварочный шов, макрохолодильник, аустенит, холодная трещина, феррит, сварочная проволока, сварочный цикл, кристаллизатор, энергия.

Введение

Наиболее часто в корпусных сварных металлоконструкциях применяют сварку разнородных сталей ферритоперлитного и аустенитного классов 09Г2С и 08Х18Н10Т. Но при сварке плавлением от ферритоперлитной к аустенитной стали возникает проблема соединения разнородных материалов отличающихся физико-механическими свойствами и химическим составом. В месте контакта разнолегированных металлов развивается химическая и структурная неоднородность. Кроме того, сварка как технологический процесс получения неразъемного соединения характеризуется высоколокальным введением теплоты в металл. В результате сварочного термомодеформационного цикла в деталях и узлах появляются остаточные сварочные деформации. Этому способствует то, что по своим свойствам

аустенитная сталь имеет низкий коэффициент теплопроводности, высокий коэффициент линейного расширения и склонна к упрочнению [1-3].

Целью работы является разработка оптимальной технологии ручной дуговой сварки разнородных сталей 09Г2С и 08Х18Н10Т, позволяющая получать качественное сварное соединение.

Методика исследования

С целью повышения качества сварного соединения сталей феррито-перлитного и аустенитного классов возможно применение электродов с повышенным содержанием легирующих элементов, в частности никеля, компенсирующих разбавление аустенитного металла шва ферритным металлом и обладающим блокирующим действием реактивной диффузии углерода из стали менее легированной в более легированную. Данная технология сварки наиболее распространена в сварочном производстве, но она же является и наиболее дорогостоящей, с точки зрения применения никеля.

Возможно применение сварки с регулируемым термическим циклом. К ним относятся такие технологические способы регулирования структуры и свойств, как использование дополнительного гранулированного присадочного металла (ДГПМ), электромагнитное перемешивание (ЭМП) металла в сварочной ванне, ввод дополнительных электродов без тока в сварочную ванну, дозирование мощности, сужение сварочного зазора (УЗ), модулирование сварочного тока (МТ), принудительное и сопутствующее охлаждение (ПСО) в процессе сварки [2].

Но применяя способ (ЭМП) интенсивному электромагнитному перемешиванию ванны препятствует наличие шунтирования магнитного поля перлитной сталью, а также нарушение шлаковой защиты. В этом процессе весьма эффективен ввод внутренних стоков тепла в виде охлаждающей присадки (макроохладителей), также снижающей температуру ванны.

Попадая в сварочную ванну макроохладитель, ведет себя, как подobaет внутреннему кристаллизатору, снимает перегрев, является центром зарождения множества кристаллов, растущих от него точно так же, как растут кристаллы от края сварочной ванны. А затем, по мере прогревания, когда вокруг них уже все затвердело макроохладители, расплавляются и затвердевают вновь лишь в тот момент, когда температура сварочной ванны снизится до температуры начала их кристаллизации [3].

Макроохладители изготавливались из проволоки идентичной по химическому составу электродному стержню (проволоки), диаметром $D_{\text{макр}} \leq 0,5 d_{\text{эл}}$. При диаметре электрода $d_{\text{эл}}=3\text{мм}$, размеры макроохладителя составляли $\varnothing-1,2\text{мм}$, длина $L=0,8-1\text{мм}$.

Но при введении охлаждающей присадки в жидкий металл сварочной

ванны, наряду с позитивным влиянием на металлургию шва возникает проблема образования завывшения геометрических характеристик валика (рис. 1).

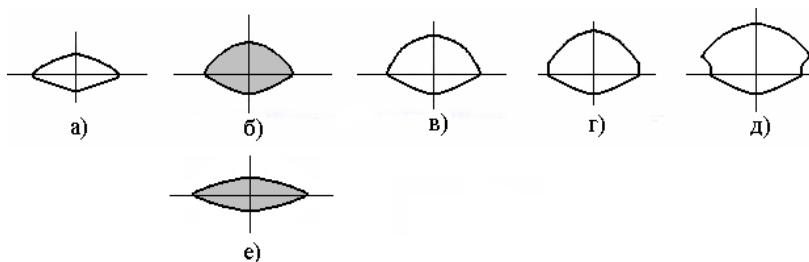


Рис. 1. Поперечное сечение шва при ручной дуговой сварке с макрохолодильником: а- без макрохолодильника; б- макрохолодильник $M_{\text{макр}}=90\%$; в- макрохолодильник $M_{\text{макр}}=120\%$; г- макрохолодильник $M_{\text{макр}}=160\%$; д- макрохолодильник $M_{\text{макр}}=200\%$; е- макрохолодильник $M_{\text{макр}}=90\%$ +вибрация ($\omega = 4 \div 5$ Гц, $A = 2$ мм)

Решение данной проблемы состоит в применении низкочастотной поперечной вибрации сварочного электрода (проволоки).

В результате вибрации электрода в процессе сварки происходит чередование периодов горения дуги и короткого замыкания.

Основная часть тепла (98—99,5%), идущая на расплавление электродной проволоки и детали, выделяется при горении дуги. Во время горения дуги на конце электрода образуются капли расплавленного металла, которые переходят на деталь преимущественно при коротких замыканиях. Таким образом, вибрация электрода способствует переносу электродного металла на деталь в виде мелких порций, облегчающих формирование тонких наплавленных слоев. Кроме того, вибрация способствует стабилизации процесса путем частых возбуждений дуговых разрядов, происходящих в каждый момент размыкания цепи (отрыва электрода от детали).

Сварка с вибрацией обладает существенными преимуществами по сравнению с другими способами сварки. К числу таких преимуществ относятся: незначительные деформации свариваемых деталей, малая глубина зоны термического влияния, получение наплавленных слоев повышенной твердости без дополнительной термической обработки, возможность наплавки тонких слоев (от 0,5—0,7 мм до 2—3 мм).

Низкочастотные колебания, улучшают перемешивание аустенитно-ферритного шва, облегчают в процессе сварки отделение макрохолодильника от электрода, равномерно распределяют вводимый макрохолодильник

в объеме металла сварочной ванны, уменьшают проплавление основного металла.

При колебаниях сварочной дуги столбчатые зерна металла шва изменяют свою ориентацию. Это происходит потому, что столбчатые зерна растут перпендикулярно фронту кристаллизации сварочной ванны, а при колебаниях дуги сварочная ванна тоже совершает колебания. Изменение ориентации столбчатых зерен резко уменьшает вероятность образования кристаллизационных трещин.

Оптимальные режимы вибрации электрода определяли экспериментально исходя из двух параметров: 1. Наименьшая вероятность образования горячей трещины в шве составной листовой пробы МВТУ (рис. 2.6. [3]). Составная проба выбрана из условия повышенной склонности аустенитных Сг-Ni швов к образованию горячих трещин.

2. Оптимальные геометрические параметры сварного валика на соответствие стандарта.

Преимущества применения охлаждающей присадки и низкочастотных колебаний обусловили создание комплексного способа сварки, заключающегося во введении в жидкий металл сварочной ванны макроохладителей с массовой долей $M_{\text{макр}}=80\div90\%$ от массы электродного стержня и низкочастотных поперечных колебаний электрода на режимах $\omega = 4\div5$ Гц, $A=2$ мм.

Для процесса ручной дуговой сварки изготавливался специальный электрод для чего поверх обмазки стандартного электрода на жидкое стекло прикрепляли макроохладители, отрезки проволоки, того же химического состава что и стержень электрода. Крепление макроохладителей производилось спирально (рис. 2 а, б).

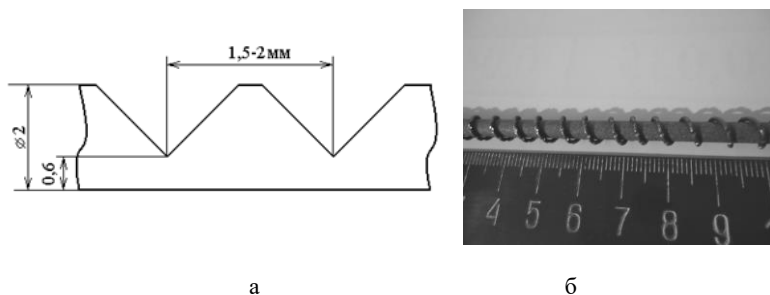


Рис. 2. Изготовление макроохладителя для дэл-4мм: а- насечка проволоки на макроохладители; б- крепление макроохладителя к электроду [4].

Но в любом случае диаметр макрохолодильника должен составлять $D_{\text{макр}} \leq 0,5 d_{\text{эл}}$, а процент попадания макрохолодильника в сварочную ванну не должен превышать 80÷90% от массы электродного стержня. Наиболее технологичен способ спирального крепления (рис. 2 а), при котором проволока макрохолодильника насекается прокаткой на частицы определенного размера, с остающейся перемычкой 0,6мм (рис. 2 а) и навивается с определенным шагом поверх обмазки электрода.

Шаг навивки на электрод обеспечивает попадание макрохолодильника в сварочную ванну, с массовой долей 80÷90% от массы электродного стержня и составляет 5÷6 мм.

Для генерации низкочастотных поперечных колебаний электрода изготавливался электрододержатель с креплением дебалансного электрического вибратора.

В процессе сварки теплота горения электрода пережигает перемычку спирального макрохолодильника который попадает в жидкий металл сварочной ванны [4]. Процессу отделения макрохолодильника и формированию сварного шва способствует вибрация электрода.

Скорость охлаждения жидкого металла сварочной ванны увеличивается в 2,6 раза, с $W_{\text{охл}} 425-800 = 15 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{с}$ (при обычном способе сварки) до $W_{\text{охл}} 425-800 = 39 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{с}$ (при сварке с комплексным воздействием на жидкий металл сварочной ванны).

Режимы ручной дуговой сварки переходного и плакирующего слоя с комплексным воздействием на жидкий металл сварочной ванны приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Режимы ручной дуговой сварки стали 09Г2С и 08Х18Н10Т с комплексным воздействием на жидкий металл сварочной ванны

РДС + $M_{\text{макр}} = 80 \div 90\% + \omega = 4 \div 5 \text{ Гц}$, $A = 2 \text{ мм}$ (постоянный ток, обратной полярности)				
дэл, мм	Уд, А	Ид, В	$V_{\text{св}}$, см/мин	Погонная энергия, кДж/см
3,0	90-110	21-22	70	15,1
4,0	130-140	22-23	170	8,1

Результаты исследований

Применение комплексного способа ручной дуговой сварки позволяет на 48%, увеличить площадь поперечного сечения сварного валика (с $F_{\text{ш}} = 16 \text{ мм}^2$ до $F_{\text{ш}} = 30 \text{ мм}^2$), (рис. 3) тем самым уменьшается количество наложения сварочных валиков при многопроходной сварке, без увеличения погонной энергии сварки.

Использование макрохолодильников в сварочных материалах РДС позволило исключить использование более дорогих электродов ЦЛ-9, с заменой их на электроды ЦЛ-11, обеспечивая аустенитно-ферритную структуру сварных валиков. Содержание в структуре составило \square - феррита до 5%, магнитной фазы- 15%.

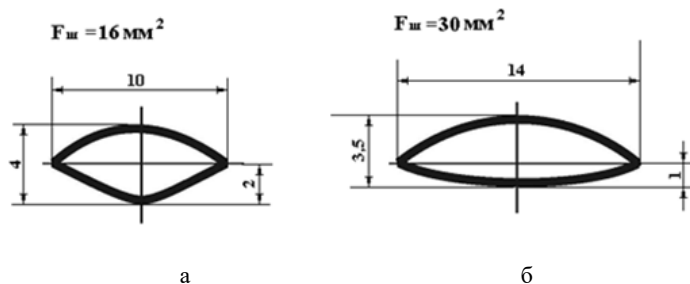


Рис. 3. Изменение геометрических параметров при ручной дуговой сварке (РДС):
а- РДС обычным способом; б- РДС с макрохолодильником ($M_{\text{макр}}=80\div 90\%$) и
вибрацией электрода ($\omega=4\div 5$ Гц, $A=2$ мм)

Характеристики РДС, электрод ЦЛ-11: Покрытие основное. Коэффициент наплавки - 11,0 г/А·ч. Производительность наплавки (\varnothing 4мм) – 1,5 кг/ч. Расход электродов на 1 кг наплавленного металла – 1,7 кг.

Характеристики РДСк с макрохолодильником ($M_{\text{макр}}=80\div 90\%$) + вибрация ($\omega = 4\div 5$ Гц, $A= 2$ мм), электрод ЦЛ-11: Покрытие основное. Макрохолодильник – спиральный Э-08Х20Н9Г2Б, с насечкой 1мм. Коэффициент наплавки - 19,0 г/А·ч. Производительность наплавки (\varnothing 4мм) – 2,6 кг/ч. Расход электродов на 1 кг наплавленного металла – 1,3 кг.

Выводы

Применение комплексного способа сварки разнородных сталей 09Г2С и 08Х18Н10Т позволяет:

1. Повысить скорость охлаждения жидкого металла сварочной ванны в 2,6 раза, с $W_{\text{охл}}425-800=15$ 0С/с (при обычном способе сварки) до $W_{\text{охл}}425-800=39$ 0С/с (при сварке с комплексным воздействием на жидкий металл сварочной ванны).

2. На 48%, увеличить площадь поперечного сечения сварного валика (с $F_{\text{ш}}=16\text{мм}^2$ до $F_{\text{ш}}=30\text{мм}^2$), без увеличения погонной энергии сварки.

3. Исключить использование более дорогих электродов ЦЛ-9, с заменой их на электроды ЦЛ-11, обеспечивая аустенитно-ферритную структуру сварных валиков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Липодаев В.Н., Снисарь М.В., Бельчук М. В. Особенности хрупкого разрушения разнородного сварного соединения с высоконикелевым металлом шва // Автоматическая сварка. 1991. №10. С.6 –9.
2. Патон Б. Е. Многослойная сталь в сварных конструкциях. К.: «Техника», 1984. 284с.
3. Гальцов И. А., Каленская А. В., Гедрович А. И., Сороканич С. В. Электродуговая сварка плакированной стали с комплексным воздействием на металл сарочной ванны. Луганск.: издательство ЛГУ им. В. И. Даля, 2016. 148 с.
4. Электрод для зварки сталі: В23К35/36. В23К35/365. Україна. № 45026; заявл. 7.05.2009. Бюл. №20.

Galtsow I.A. Technology of manual arc welding of dissimilar steels with an internal telopeptide.

It is known that the formation of a welded joint is spent only a quarter of the total heat of the arc and most of it is spent on the overheating of the weld pool, heating the product, its deformation, dif-fusion of chemical elements between the layers, which leads to deterioration of properties of welded joints of clad steel. Therefore, there are more effective ways of using the heat to increase both the welding performance and weld quality. This process is highly effective input of domestic drains heat in the form of cooling additives (macrochelodina), SNI-places subject to temperatures of the weld pool.

Keywords: *heat, electrode, steel, technology, weld, macromolecules, austenite, cold crack, ferrite, welding wire, welding cycle, mold, energy.*

Гальцов И. А. – канд. техн. наук, доцент, Луганский национальный университет им. В. Даля, г. Луганск. Научные интересы: свариваемость сталей аустенитного класса и разнородных, аустенитного и ферритоперлитного классов.
e-mail: galzow.igor@yandex.ua

Galtsow I.A. is a candidate of technical sciences, associate professor of Vladimir Dahl Lugansk National University. Scientific interests: weldability of steels of austenitic class and dissimilar, austenite and ferriteperlite classes.
e-mail: galzow.igor@yandex.ua

*Статья поступила
18 апреля 2017 г.
© Гальцов И.А., 2017*

Шаповалова Г.Я., Бурмистр Д.А.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСЧЁТНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШПИНДЕЛЬНОГО УЗЛА

Shapovalova G.Y., Burmistr D.A.

DEVELOPMENT OF THE MATHEMATICAL MODEL OF CALCULATING DYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE SPINDLE NODE

Вибрационные процессы при обработке на металлорежущих станках оказывают значительное влияние на стойкость режущего инструмента, а, следовательно, и на производительность обработки. Математическое моделирование является существенным этапом при изучении этих явлений. Математическое моделирование с помощью Mathcad и теоретико-экспериментальные исследования позволяют упростить методы расчета и выбрать оптимальные режимы обработки. Простота введения математических формул и символов в программе Mathcad позволяет быстро производить вычисления математических зависимостей, получать математические модели и реализовывать полученные значения на графиках, которые дают более полную картину динамических характеристик шпиндельных узлов.

Ключевые слова: математическое моделирование, шпиндельный узел, частотная характеристика, вибрационные процессы, динамика шпиндельных узлов, динамическая характеристика.

Введение

Характерными чертами развития современного машиностроения являются автоматизация и интенсификация технологических процессов, что связано со стремлением максимально повысить производительность обработки деталей машин. Внедрение прогрессивных режимов обработки, сокращение до минимума времени холостых ходов и вспомогательных перемещений приводит к существенному повышению скоростных характеристик машин, в частности шпиндельных узлов станочного оборудования. Вследствие этого вибрационные процессы при обработке на металлорежу-

щих станках ограничивают точность и качество обработанной поверхности, оказывают значительное влияние на стойкость режущего инструмента, а, следовательно, и на производительность обработки [1,2]. Математическое моделирование является существенным этапом при изучении этих явлений, позволяя выявить и численно оценить наиболее важные факторы, влияющие на функционирование шпиндельных узлов станков, а также перейти к совершенствованию их конструкций.

Описанию моделей динамики шпиндельных узлов и их изучению посвящено значительное количество исследований, однако из-за сложностей явлений, протекающих при резании, ряд вопросов изучен недостаточно [3,4].

Таким образом, математическое моделирование динамики шпиндельных узлов металлорежущих станков и разработка на этой основе методик их исследования являются актуальными задачами в области машиностроения.

Целью работы является разработка метода расчета и оценки влияния конструктивно-технологических параметров на динамические характеристики шпиндельного узла алмазно-расточного станка на основе математического моделирования с помощью Mathcad и теоретико-экспериментальных исследований для обеспечения качественных технологических режимов функционирования.

Методика исследования

В качестве объекта исследования выбран алмазно-расточной станок, для которого необходимо определить и построить частотные характеристики упругой системы шпиндель-консоль алмазно-расточного станка.

Выполнение расчетов и построение графиков зависимостей были выполнены с помощью программы MathCAD.

MathCAD является математическим редактором, который позволяет производить различные научные и инженерные расчеты, начиная от элементарной арифметики и заканчивая реализацией сложных численных методов.

Результаты исследований

Рассмотрим динамическую характеристику процесса резания, которая определяется как зависимость изменения силы резания, от вызываемого этим изменением относительного смещения заготовки и инструмента.

В работе [1,2] получена математическая модель процесса резания в виде передаточной функции

$$P_{\alpha\gamma\alpha} = K_p \frac{T_1^2 p^2 + T_2 \cdot p + 1}{T_{рез} \cdot p + 1} \quad (1.1)$$

где K_p - коэффициент пропорциональности [2]

$$K_p = K_B = \sigma_0 g_0 b \approx (1,3 \dots 1,4) \sigma_0 g_0 b = (1,3 \dots 1,4) \sigma_b \frac{\alpha_{10}}{\alpha_0} b \quad (1.2)$$

σ_b – условная напряжения, МПа; g_0 – среднее значение усадки стружки; b – ширина срезаемого слоя, мм; α_{10} – среднее значение толщины стружки; α_0 – заданная толщина срезаемого слоя, мм;

$T_1 = T_{арез} = \sqrt{T_a T_{рез}}$ является произведением постоянной величины изменения заднего угла реза от времени работы (1.1) и процесса стружкообразования $T_{рез}$,

$$T_a = \frac{h^2 H_a}{2\nu K},$$

h – высота фаски по задней поверхности реза; H_a – коэффициент пропорциональности, связанный контактной жесткостью (для стали $H_a \approx 1000 \text{ Н} / \text{мм}^3$); K – удельная сила резания;

$$T_{рез} = \frac{m}{n} \frac{\alpha_0 g_0}{\nu} \quad (1.3)$$

m, n – параметры, характеризующие координаты точки приложения силы резания относительно плоскости сдвига.

Постоянная величина времени $T_{\alpha\gamma} = T_a - T_\gamma$ включает в себя изменения переднего угла во времени:

$$T_\gamma = \frac{\alpha_0 K_\gamma}{\nu g_0},$$

где, $K_\gamma = \left(\frac{m}{n} \cdot \frac{da_1}{dc_\theta} \right) - 1$; $dc_\theta = v / g_0 dt$ – путь проходимый

стружкой с переменной толщиной в пределах контактной поверхности, отсчитываемой от условной плоскости сдвига.

$P_{рез}(p), Y(p)$ – изменения сил резания и относительного смещения инструмента и заготовки;

$P = \frac{d}{dt}$ – символ дифференцирования.

После подстановки в выражение (1.1) величин T_1, T_2 и T_3 определяемых режимами обработки, геометрией инструмента и свойствами обрабатываемого материала, математическую модель (1.1) можно записать упрощенно:

$$P(p) = \frac{K_{рез}}{T_{рез} \cdot p + 1} y(p) \quad (1.4)$$

При $\lambda = m_x K_x + K_\phi m_y K_y < 0,1$ можно пренебречь вторым слагаемым в знаменателе выражения и представить передаточную функцию $W(p)$ в упрощенном виде

$$W(p) = \frac{m_z}{p} (1 - e^{-pt})$$

При, $\lambda > 0,1$ используется разложение функции e^{-pt} в ряд Пада, получаем:

$$W(p) = \frac{m_z \tau}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}$$

где $T_{1,2} = 0,5\tau \left[0,5 + \lambda \pm \sqrt{(0,5 + \lambda)^2 - 0,33} \right]$

Если $T_1 > T_2$ на порядок, то конкретно ещё одно упрощение:

$$W(p) = \frac{m_z \tau}{(T_1 p + 1)}$$

Построение моделей рабочих процессов станка и расчетной графической операции производились с помощью исходных данных [3]: операция - тонкое растачивание на алмазно-расточном станке: врезание в заготовку из стали 45 инструментом (Т15К6, $\varphi = 45^\circ$) с режимами резания: $v_{\text{ПП}} = 0,525 \text{ м/с}$

$n_{\text{мин}} = 315 \text{ об/мин}$; $v = 75 \text{ м/мин}$; $b = 5 \text{ мм}$; $P_{z0} = 1280 \text{ Н}$; константы модели: $T_1 = 0,274$; $T_2 = 0,0114$; $\lambda \approx 1$; $\tau = 0,105 \text{ с}$.

Для случая $\lambda > 0,1$ передаточная функция процесса продольного течения приобретает вид:

$$W(p) \approx \frac{m_z \tau}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} \quad (1.5)$$

где $m_z = \left(\frac{\partial P_z}{\partial b} \right)$ - коэффициент при тангенциальной составляющей по приращению ширины срезаемого слоя. Для большого количества схем резания $m_z = 0,9 \dots 1$; τ - время запаздывания; $\tau = 1/n_{\text{мин}}$; T_1, T_2 - постоянная времени p - оператор Лапласа.

В частотном виде передаточная функция (1.5) принимает вид:

$$W(iw) \equiv \frac{m_z \tau}{(T_1 p + 1)w^2 + (T_2 p + 1)iw}$$

Для избавления от мнимой единицы в знаменателе используем ряд преобразований с комплексным числом Z :

$$w = \frac{1}{z}; (x + iy)(x - iy) = x^2 + y^2;$$

$$\frac{1}{z} = \frac{x - iy_1}{x^2 + y^2}.$$

Результатом преобразований являются представление передаточной функции в комплексном виде

$$W(iw) = R_e(w) + iJm(w),$$

1. Введем переменные в рабочее окно Mathcad

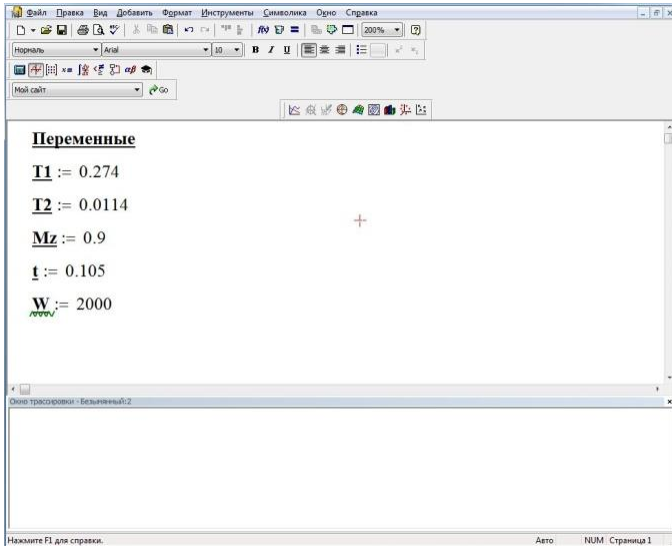


Рис. 1. Рабочее окно программы Mathcad

2. Запишем предоставленные передаточные функции $\text{Re}(w)$, $\text{Im}(w)$ и в показательной форме $A(w)$, $\varphi(w)$.

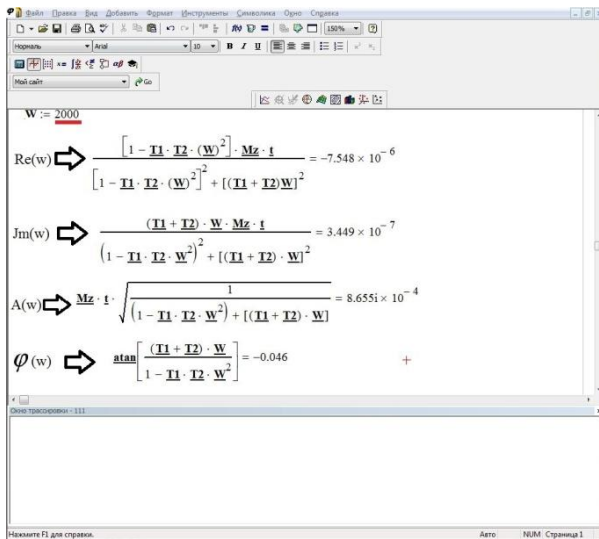


Рис. 2. Ввод формул в программу Mathcad

3. Изменяя значения W (2000,4000,6000,8000,10000,12000). Получим значения для построения графиков .

4. Для построения графиков в программу введем переменные X, Y ,



воспользуемся иконкой матрица и укажем количество строк 6 , столбцов 1. Далее нажмем на иконку график.

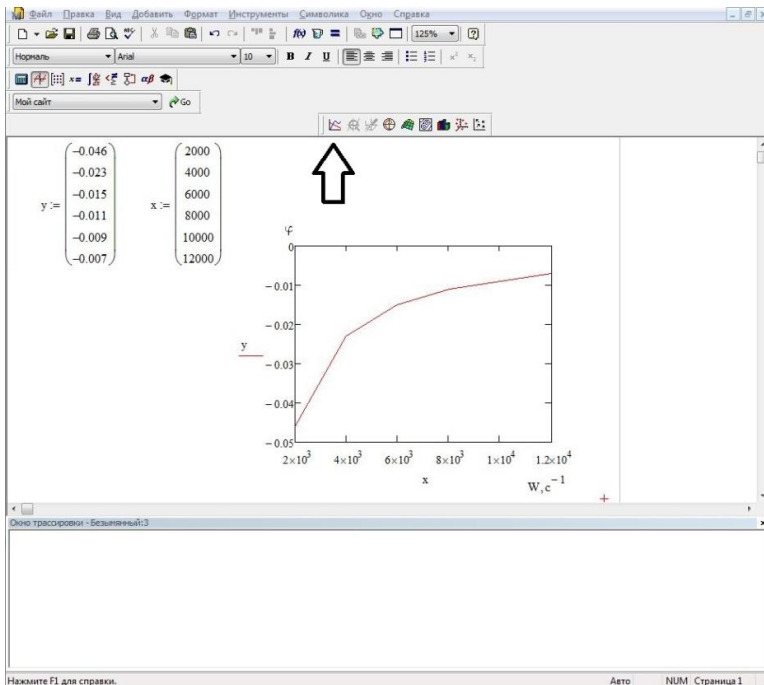


Рис. 3. Построение графика

5.Повторим действие (4) для всех передаточных функций и получим графики (рис. 4, 5).

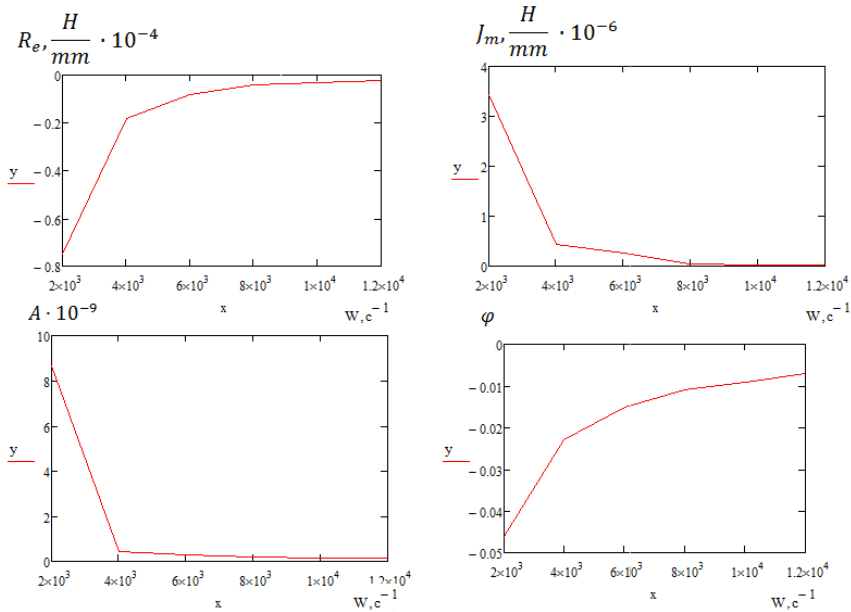


Рис. 4. Частотные характеристики процесса продольного точения

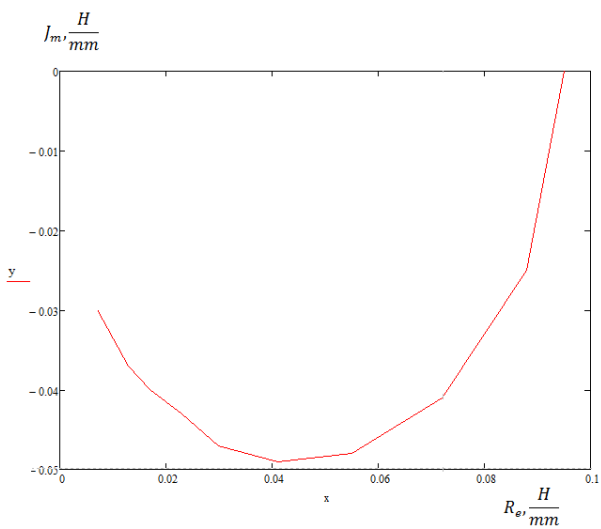


Рис. 5. Передаточная функция процесса продольного точения

Выводы

Применение программы Mathcad при математическом моделировании динамических характеристик станка позволило разработать методику по выявлению и количественной оценке наиболее существенных факторов, влияющих на вибрационные характеристики и динамическую точность шпиндельного узла в широком диапазоне варьирования его эксплуатационных, конструктивных, технологических параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудинов, В.А. Динамика станков. М.: Машиностроение, 1967. С.360.
2. Кудинов, В.А. Теория вибраций при резании (трении). Передовая технология машиностроения – М.: АН СССР, 1955. С.320.
3. Акумов, А.М. Алгоритмизация процесса продольного точения Станки и инструмент. М.: Машиностроение. -1972.-№9.-С.29-32.
4. Орликов, М.Л. Динамика станков. К.: Высш. шк., 1989. С.272.

Shapovalova G. Y., Burmistr D.A., Development of the mathematical model of calculating dynamic characteristics of the spindle node

Vibration processes when machining on metal-cutting machines have a significant effect on the resistance of the cutting tool, and, consequently, on the processing capacity. Mathematical modeling is an essential step in the study of these phenomena. Mathematical modeling with the help of Mathcad and theoretical and experimental studies make it possible to simplify the calculation methods and choose the optimal processing regimes. Simplicity of the introduction of mathematical formulas and symbols in the program Mathcad allows you to quickly calculate mathematical dependencies, obtain mathematical models and implement the values obtained on the graphs that give a more complete picture of the dynamic characteristics of spindle nodes.

Keywords: *Mathematical modeling, spindle unit, frequency response, vibration processes, dynamics of spindle units, dynamic characteristics*

Шаповалова Галина Яковлевна – кандидат технических наук, доцент кафедры металлорежущих станков, инструментов и инженерной графики. Луганского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск. Научные интересы: геометрическое моделирование поверхностей и исследование их влияния на эксплуатационные характеристики деталей машин.

e-mail: galashap@mail.ru

Бурмистр Денис Александрович – студент группы ММ-211М кафедры металлорежущих станков и инструментов и инженерной графики. Луганского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск. Научные интересы: математическое моделирование технологических систем и механизмов при обработке деталей машин.

e-mail: denis101094@mail.ru

Shapovalova Galina Yakovlevna - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Metal-Cutting Machine Tools and Tools and Engineering Graphics. Vladimir Dalh Lugansk National University. Scientific interests: geometric modeling of surfaces and investigation of their influence on the performance characteristics of machine parts.

e-mail: galashap@mail.ru

Burmist Denis Alexandrovich - The student of group MM-211M of the department of metal-cutting machine tools and tools and engineering graphics. *Vladimir Dalh Lugansk National University*. Scientific interests: mathematical modeling of technological systems and mechanisms in the processing of machine parts.

e-mail: denis101094@mail.ru

Статья поступила

20 апреля 2017 г.

© Шаповалова Г.Я., Бурмитср Д.А., 2017

УДК 6 21.315.592

Третьяк А.Е., Ткаченко С.Н., Чернышов С.С.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОДНОСТОРОННЕГО ШЛИФОВАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН СВОБОДНЫМ АБРАЗИВОМ

Tretyak A.E., Tkachenko S.N., Chernyshov S.S.

SIMULATION PROCESS OF ONE-SIDED GRINDING FOR SILICON WAFER WITH FREE ABRASIVE

Рассмотрены вопросы управления траекторией рабочего движения при односторонней абразивной обработке поверхностей полупроводниковых пластин-подложек ИМС. Выполнено компьютерное моделирование процесса шлифовки полупроводниковых пластин позволяющее установить оптимальное соотношение частоты вращения шлифовального круга и карусели для достижения высокого качества их обработки. Показано, что при соотношении угловых скоростей 0,5 траектория принимает наиболее сложную конфигурацию вида закрученной спирали.

Ключевые слова: односторонняя шлифовка, моделирование, свободный абразив, зерно абразива, подложка, автоматизация.

Введение

Параметры полупроводниковых приборов в значительной степени зависят от качества подготовки полупроводниковых пластин (подложек). Процесс подготовки подложек заключается в резки слитка монокристаллического полупроводника на пластины, механического шлифования пластин и механико-химической полировки. Некачественно проведенный процесс подготовки подложек способствует формированию структурных дефектов, которые впоследствии переходят на эпитаксиальные слои и приводят к ухудшению параметров электронных приборов или к их браку. Процесс шлифования пластин является основным этапом производства подложек, позволяющий избавиться от структурных дефектов. До настоящего времени не до конца изучен вопрос выбора оптимальных режимов шлифования. Это связано с множеством факторов, влияющих на процесс шлифования, таких как: кинематические параметры станка; свободным или связанным

абразивом ведется процесс шлифования; размер и твердость абразивного зерна и ряда других [1, 2, 3]. Поэтому возможности отделочной обработки могут быть полностью реализованы только при глубоком изучении физической природы взаимодействия абразива с обрабатываемым материалом. Кроме того, требует особого внимания вопрос автоматизации данного процесса, позволяющий исключить человеческий фактор. Решение этой важной и актуальной задачи представляет не только теоретический, но и практический интерес, так как позволяет рационально использовать абразив в качестве режущего инструмента и разработать оптимальные условия его эксплуатации. Решение этих задач позволит улучшить качество полупроводниковых приборов.

Целью работы является определение оптимального соотношения скоростей вращения шлифовального круга и карусели, обеспечивающего высокое качество и производительность доводки полупроводниковых пластин.

Математическая модель

Механизм шлифования полупроводниковых пластин свободным абразивом можно представить как результат воздействия на обрабатываемую поверхность большого количества зерен, образующих на поверхностном слое густую сеть трещин, которые, пересекаясь, создают ослабленный слой, легко разрушающийся при повторном воздействии абразива. При этом образуется однородная матовая поверхность [3]. Поскольку абразивные зерна обладают различной степенью подвижности, методика исследования процесса шлифовки полупроводниковой пластины сводится к составлению математической модели движения абразивных зерен по поверхности пластины при её шлифовке на станках с планетарной кинематикой. Для анализа кинематики процесса шлифования используется прием остановки одного из звеньев, например, шлифовальника, при этом всему механизму задается вращение с угловой скоростью $-\omega_2$. И дальше рассматривается работа заменяющего планетарного фрикционного механизма с внутренним зацеплением, водило которого вращается с угловой скоростью $-\omega_2$, а подвижное колесо – с угловой скоростью $(\omega_1 - \omega_2)$.

Траектория движения любой точки T подвижного колеса представляет собой траекторию движения соответствующей точки T , принадлежащей пластине [4, 5].

Построив заменяющий механизм (рис. 1) можно в параметрическом виде записать уравнения движение точки T по пластине:

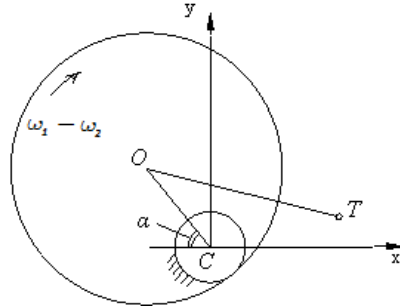


Рис. 1. Схема для вывода уравнений движения точек на пластине

$$\begin{aligned} x_r(m) &:= -p \cdot \cos(-\omega_1 \cdot m) + l \cdot \cos[(\omega_1 - \omega_2) \cdot m]; \\ y_r(m) &:= -p \cdot \sin(-\omega_1 \cdot m) - rpl \cdot \sin[(\omega_1 - \omega_2) \cdot m] \end{aligned} \quad (1)$$

При решении этих уравнений постоянными величинами являются габаритные размеры станка и пластины: $D=2000(\text{мм})$: диаметр стола, $r=150(\text{мм})$ – радиус пластины, $R=400(\text{мм})$ – радиус подвижного круга, что соответствует геометрическим параметрам станка односторонней шлифовки пластин «Ладья-2».

Используя вышеприведенные уравнения и программу Mathcad 14 можно построить компьютерную модель траекторий движения абразивных зерен по пластине для разных соотношений скоростей вращения шлифовальных кругов и карусели: при $\omega_1/\omega_2=5$ (рис. 2), при $\omega_1/\omega_2=1,5$ (рис. 3), при $\omega_1/\omega_2=0,5$ (рис. 4) и при $\omega_1/\omega_2=0,6$ (рис. 5).

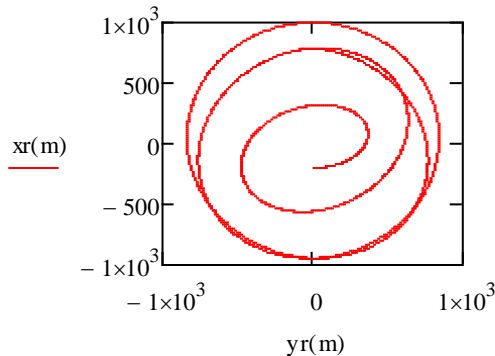


Рис. 2. Траектория движения зерен при $\omega_1/\omega_2=5$

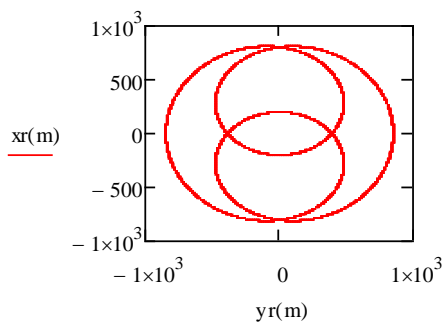


Рис. 3. Траектория движения зерен при $\omega_1 / \omega_2 = 1.5$

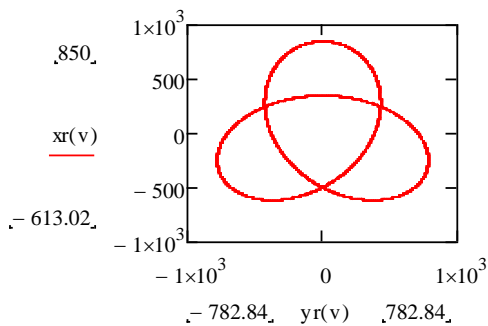


Рис. 4. Траектория движения зерен при $\omega_1 / \omega_2 = 0.5$

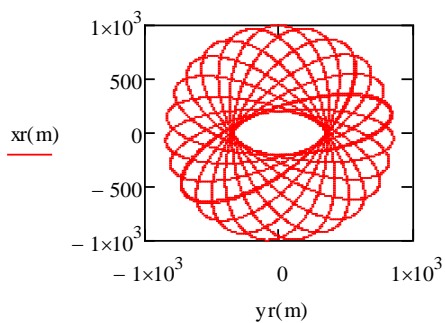


Рис. 5. Траектория движения зерен при $\omega_1 / \omega_2 = 0.6$

Результаты исследований

Качество обработки полупроводниковых пластин характеризуется сложностью конфигурации траектории движения абразивных зерен по пластине – чем сложнее траектория, тем качественней и производительней обработка. В значительной степени сложность конфигурации траектории движения зерен зависит от соотношения скорости вращения шлифовальных кругов и карусели, что и подтверждает вышеприведенное компьютерное моделирование траекторий движения абразивных зерен в процессе обработки пластины. При отношении $\omega_1 / \omega_2 = 5$ (рис. 2) конфигурация простая в виде спирали с большим шагом. При уменьшении значения этого отношения траектория движения зерен абразива по пластине с каждым разом повторяет свое движение по одной и той же траектории и при стремлении отношения к 1 зерно пытается описать окружность, что свидетельствует также о неудовлетворительном качестве шлифовки (рис. 3.). И только при приближении этого отношения к 0,5 траектория принимает более сложную конфигурацию вида закрученной спирали (рис. 4.) и с каждым разом, повторяясь, создает густую сеть следов обработки (рис 5.), что свидетельствует о повышении качества и производительности обработки.

Выводы

Приведены результаты исследования влияния кинематических параметров станка односторонней шлифовки Ладья-2 на производительность и качество доводки полупроводниковых пластин.

С помощью компьютерного моделирования траектории движения абразивных зерен по пластине установлено, что лучшие условия для качественной и производительной обработки создаются при соотношении скоростей вращения шлифовальных кругов и карусели равных 0,6. Результаты исследований могут быть использованы для разработки программы работы станка в автоматическом режиме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муратов Р.А., Ханов А.М., Гашев Е.А., Муратов К.Р. Влияние некоторых технологических параметров на производительность и качество финишной обработки монокристалла // СТИН. 2015. № 3. С. 123 - 126.
2. Муратов К.Р., Гашев Е.А., Ханов А.М. Шлифование монокристалла связанным абразивом // СТИН. 2015. № 4. С. 253 - 256.
3. Ханов А.М., Гашев Е.А., Муратов К.Р. Влияние вида абразива и величины контактного давления на процесс доводки керамики // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Машиностроение. 2015. Т. 15. № 1, С. 123 - 126.
4. А.М. Ханов, К.Р. Муратов, Е.А. Гашев. Управление траекторией рабочего движения при доводке плоскостей // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13, №1(3). С. 667 - 669.

5. А.Е. Третьяк, А.В. Тугай. Моделирование износа шлифовальника на станке шлифовки пластин // Ресурсосберегающие технологии производства и обработка давлением материалов в машиностроении. сб. науч. труд. № 1(16) 2016. С. 208 - 213.

Tretyak A.E., Tkachenko S.N., Chernyshov S.S. Simulation process of one-sided grinding for silicon wafer with free abrasive

This article investigates the motion control problem of abrasive particle for one sided abrasive processing surface of the semiconductor wafer of microchip. We did a computer simulation of the process of polishing a semiconductor wafer, whereby the optimum ratio was found between the frequency of rotation of the grinding wheel and carousel. Because of this, we have achieved a high quality processing of semiconductor wafers.

Keywords: *one-sided grinding, simulation, free abrasive grain abrasive substrate, automation.*

Третьяк Алексей Егорович – кандидат технических наук., доцент кафедры микро- и нанoeлектроники Луганского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск. Научные интересы: оптимизация технологических процессов в машиностроении.

e-mail: tae41@mail.ru

Ткаченко Сергей Николаевич – магистрант кафедры микро- и нанoeлектроники Луганского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

e-mail: t_sernik@mail.ru

Чернышов Сергей Сергеевич – магистрант кафедры микро- и нанoeлектроники Луганского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

e-mail: serega.chernyshov@mail.ru

Aleksey Tretyak – candidate of engineering sciences, associate professor at the department of micro- and nanoelectronics, Volodymyr Dahl Lugansk National University, s. Lugansk. Scientific interest: Optimization of technological processes in mechanical engineering.

e-mail: tae41@mail.ru

Sergey Tkachenko – student at the department of micro- and nanoelectronics, Volodymyr Dahl Lugansk National University, s. Lugansk.

e-mail: t_sernik@mail.ru

Sergey Chernyshov – student at the department of micro- and nanoelectronics, Volodymyr Dahl Lugansk National University, s. Lugansk.

e-mail: serega.chernyshov@mail.ru

Статья поступила

28 февраля 2017 г.

© Третьяк А.Е. Ткаченко С.Н., Чернышев С.С., 2017

УДК 678.027.7:677

Витренко В.А., Сыровой Г.В., Ратушняк А.Ю.

РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПОРЕЗКИ ДЛИННОМЕРНОГО ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Vitrenko V.A., Syrovoy G.V., Ratushnyak A.Y.

CUTTING TOOLS FOR CUTTING OF LONG POLYMER COMPOSITE MATERIAL

Представлен анализ характеристик инструментальных материалов для оснащения режущей части инструмента, используемого при обработке длинномерных стержней малого диаметра из полимерного композиционного материала. Проведен выбор разных видов инструментального материала. Выбраны четыре группы исследуемого материала. Даны рекомендации по применению режущего инструмента при порезке изделий, изготовленных из стеклопластика и углепластика

Ключевые слова: инструмент, стеклопластик, углепластик, стойкость, стержень, твердый сплав.

Введение

Длинномерные изделия из полимерных композиционных материалов (ПКМ) находят все более широкое применение в машиностроении, автомобилестроении, авиастроении и других областях промышленности. Это трубы, профили, тяги и др., которые после окончательной полимеризации подвергаются точению, резанию, шлифованию, полированию, т.е. механической обработке.

Механическая обработка необходима также для достижения требуемой точности и качества поверхности и получения сложных конфигураций изделия. Однако для достижения максимальной производительности этих процессов следует оптимизировать механическую обработку [1, 2].

Учитывая высокую прочность полимерных материалов, а также их волокнистую структуру, механическую обработку необходимо выполнять острозаточенным инструментом, оснащенным пластинами из материалов,

характеристики которых зависят от вида обработки и физико-механических свойств ПКМ [3].

В технологических процессах изготовления стержней из ПКМ непрерывным способом, порезка стержня на мерную длину, является важным этапом, определяющим стабильность процесса и качество торца стержня [4].

Поэтому в технологическом процессе необходимо предусмотреть такой режущий инструмент, который максимально точно делал бы рез и не потребовал дополнительной механической обработки.

Так же построение аналогий с подобной механической обработкой металлов не дает желаемого результата, т.к. процесс резания полимерных композиционных материалов существенным образом отличается от процесса резания металлов. Следовательно, необходимость подбора режущего инструмента, инструментальных материалов и всестороннее исследование процесса резания композиционных материалов остается важной задачей.

Целью работы является анализ и выбор материала режущего инструмента, используемого при порезке длинномерного полимерного композиционного материала.

Методика исследования

На сегодняшний день при изготовлении длинномерного изделия из ПКМ используют в основном стекловолокно и угольную нить.

Структуре длинномерного полимерного композиционного материала состоящего из волокон стекла и композиционной матрицы присущи высокие истирающие свойства. Из-за чередования стекловолокна и матрицы из связующего, воздействие стеклопластика на материал инструмента подобно шлифовальному кругу. Отсюда следует один из типичных случаев абразивного износа, который сводится к большому числу образования сколов либо распушиванию при порезке стержней (рис.1).

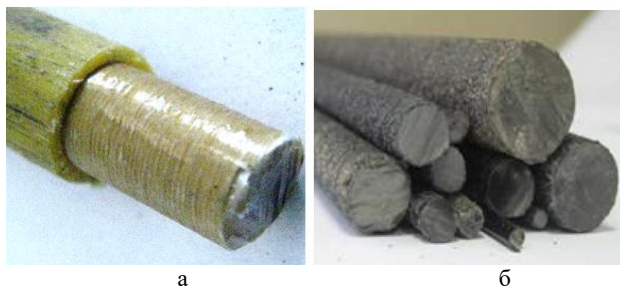


Рис. 1. Вид реза стержня из стеклонити - а и угленити – б

Структуру длинномерного тонкого волокнистого материала с мягкой матрицей типа углепластиковых стержней (УС) выделяют их в особую группу труднообрабатываемых материалов, которая характеризуется своими закономерностями протекания процесса резания, что делает невозможным напрямую эффективно использовать накопленный опыт и рекомендации по обработке резанием металлов. В табл. 1 представлены для сравнения характеристики металлических, стеклянных и углеродных стержней.

Таблица 1

Характеристики используемых материалов

Материал	Плотность кг/м ³	Прочность при растя- жении, МПа	Модуль Юнга, ГПа	Удельная прочность, е · 10 ³ , км	Удельный модуль, Е · 10 ⁶ , км
Углепластик	1450-1600	780-1800	120-130	53-112	9-20
Стеклопластик	2120	1920	69	91	3,2
Высокопрочная сталь	7800	1400	210	18	2,7
Алюминиевый сплав	2700	500	75	18	2,7
Титановый сплав	4400	1000	110	28	2,5

При обработке полимерных композиционных материалов ПКМ скорость резания назначают из условия отсутствия термоокислительной деструкции материала, что является обязательным требованием обеспечения качества поверхностного слоя изделия. Низкие температуры начала протекания термодеструкции ПКМ (250...350°С) в сочетании с крайне низкой их теплопроводностью (в 100...600 раз меньше, чем у конструкционных сталей) вызывают необходимость, несмотря на относительно небольшие удельные давления на инструмент, назначать на операции механической обработки малые скорости резания.

В области высоких скоростей резания (25...100 м/с) при температурах, значительно (до 2...4,5 раз) превышающих критические температуры термодеструкции ПКМ, существует широкий диапазон условий обработки, при котором обеспечивается высокое качество поверхностного слоя. Это объясняется малым при высокоскоростной обработке, недостаточным для протекания термоокислительных процессов, временем действия контактной температуры на заготовку. Результаты исследований позволяют рекомендовать метод высокоскоростной обработки как эффективное средство, повышающее интенсивность процесса обработки резанием ПКМ в 50-100 раз. Применение метода может ограничиваться техническими возможно-

стями оборудования, большими габаритами (инерционными силами) или недостаточной жесткостью заготовки.

Высокое качество реза достигается при применении метода резания механическим воздействием на материал. При правильно выбранных условиях обработки метод позволяет полностью устранить ворс и обеспечить высокое качество обработки.

Хороший эффект при решении проблемы удаления ворса достигается при использовании метода резания с комбинированным тепловым и механическим воздействием на материал. При обработке углепластиков комбинированное энергетическое воздействие на материал способствует снижению шероховатости и устранению образующегося ворса. Наиболее рациональными температурами кратковременного теплового воздействия считаются значения $T = 200 \dots 300 \text{ } ^\circ\text{C}$, при которых происходит размягчение связующего без заметного изменения его структуры за счет термодеструкции. Давление специального механического устройства на вязкий поверхностный слой ПКМ обеспечивает прочную связь ворса, образовавшегося при предшествующей обработке, с застывшим связующим веществом и формирует поверхность изделия. Поступательное перемещение такого устройства способствует равномерному распределению размягченного связующего по всей обработанной поверхности, опрессовыванию в связующее выступающего ворса [5].

Для порезки длинномерных изделий в промышленности используют разнообразные виды инструментов, изготовленные из разных инструментальных материалов, которые по своим физико-техническим характеристикам делятся на группы, рис.2.

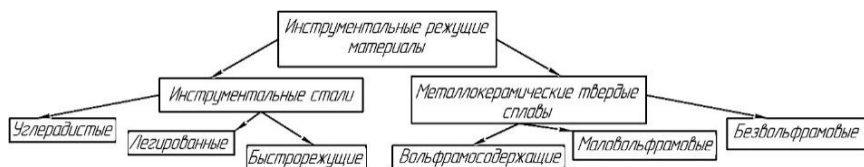


Рис. 2. Группы инструментальных материалов для обработки ПКМ

Инструментальные стали (углеродистые, легированные и быстрорежущие) не обладают высокой износостойкостью и приводят к быстрой потере работоспособности инструмента: режущая способность лезвия уменьшается из-за его затупления, увеличение шероховатости режущих поверхностей приводит к увеличению трения, ухудшается качество обработанных поверхностей. Инструмент, изготовленный из таких инструментальных

материалов, требует частых переточек, что уменьшает эффективность производства.

Характеристики твердых сплавов на порядок выше. К таким сплавам относятся, например, сплавы марок ВК3М, Т5К12В, ТТ7К12. Они обладают высокой прочностью $\sigma_n=1650$ МПа и могут работать при температуре около 950°C при высокой стойкости, превышающей стойкость быстрорежущих сталей в 50 раз при скорости резания, превышающей скорость резания для углеродистых сталей в 10 раз [6].

Выделим в таблице 2 твердость и термостойкость этих используемых инструментальных материалов.

Т а б л и ц а 2

Характеристики разных видов инструментальных материалов

	Быстрорежущая сталь	Углеродистая сталь	Легированная сталь	Твердые сплавы
Твердость	63-66 HRC	61-63 HRC	62-65 HRC	87-93 HRA
Термостойкость, °C	600-650	200-250	250-300	800-900

Из анализа табл. 2, следует, что для порезки стержней из стеклопластика и углепластика целесообразно применять инструментальные материалы, обладающие высокой износостойкостью и твердостью, а именно - твердые сплавы.

Твердые сплавы, применяемые для оснащения различных видов инструментов, по составу и областям применения условно делят на четыре основные группы:

- однокарбидные вольфрамокобальтовые, группы ВК;
- двухкарбидные титановольфрамовые, группы ТК;
- трехкарбидные титанотанталовольфрамовые, группы ТТК;
- безвольфрамовые на основе карбида и карбонитрида титана.

Сгруппируем данные твердые стали по следующим данным: содержание в структуре кобальта, прочности на изгиб, сжатие и твердости (табл. 3).

Результаты исследований

При назначении марки твердого сплава для обработки ПКМ следует обратить внимание на то, что с повышением содержания кобальта в сплаве увеличивается его прочность, но снижается износостойкость.

Согласно табл. 3, по своим характеристикам наиболее выделяются сплавы группы ВК и ТН. Сплавы группы ВК содержат в своем составе 2-3% Со и обладают более высокими свойствами, в частности высокой твердостью, прочностью на изгиб 1100 МПа.

Сплавы группы ТН не содержат в своем составе Со, но однако наиболее устойчивы при работе на сжатие 3500 МПа.

Т а б л и ц а 3

Физико-механические свойства твердых сплавов

Марка твердого сплава	Со, %	$\sigma_{изг}$, МПа	$\sigma_{сж}$, МПа	Твердость, НРА
ТМЗ	-	1150	3600	89
ТН-20	-	1000	3500	91
ВК2	2	1100	416	91
ВК3	3	1100	-	90
Т5К10	9	1385	4000	88
ТТ7К12	8	1600	-	87

На пултрузионных установках изготовления УС для получения стержней мерной длины, устанавливают отрезное устройство. Непрерывный характер производства стержней практически исключает возможность остановки движения стержня для его реза. Таким образом, резка стержней должна производиться либо максимально быстро, либо при движении режущего инструмента совместно со стержнем.

Реализация этого способа вызывает трудности конструкторского характера и не обеспечивает повышения качества реза. Поэтому для резки стержней более целесообразно применять быстродействующие резакс гильотинного типа.

Применение электромагнитного привода ножа обеспечивает быстродействие резакса в пределах 0,2...0,3 с. Так как порезка УС осуществляется при его движении, и на период обрезки — это движение перекрывается ножом, узел размещают на мерном расстоянии от протяжки, при котором задержка движения УС компенсируется прогибом участка стержня без его повреждения.

Исходя из физико-технологических условий изготовления длинномерных стержней из стеклопластика и углепластика для порезки этих стержней подбираем материал режущего инструмента.

Для порезки стержней, изготовленных из стеклопластика, выбираем инструмент, оснащенный твердыми сплавами группы ВК, марки ВК2, из-за содержания кобальта в составе сплава. А для стержней, изготовленных из углепластика, предпочтительно будем выбирать инструмент, на основе безвольфрамовых твердых сплавов, марки ТН20, не содержащих кобальта.

Выводы

Выполненные исследования позволили реализовать следующее:

выбрать инструментальный материал из четырех групп материалов, который можно использовать для резки и обработки изделий на основе полимерного композита;

резку длинномерных стержней, изготовленных из стеклопластика целесообразно проводить режущим инструментом, изготовленным на основе твердого сплава группы марки ВК;

для резки углепластиковых стержней, необходимо использовать режущий инструмент, основу которого составляет безвольфрамовый твердый сплав из группы марки ТН20.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буланов И.М., Воробей В.В. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов [Текст]. М.: Из-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. 516 с.

2. Ратушняк А.Ю., Макухин А.Г., Сыровой Г.В. Пултрузия, как технологический процесс изготовления изделий из композиционных материалов [Текст]. Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Донецк: ДонНТУ, 2016, №1(52). С. 100-106.

3. Ярославцев В.М. К вопросу о возможности применения высокоскоростной обработки полимерных композиционных материалов. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2015. № 3. С. 59–70.

4. Марков А.М. Технологические особенности механической обработки деталей из композиционных материалов. Научоёмкие технологии в машиностроении. М.: Машиностроение, №7(37), 2014. С. 3-8.

5. Мозговой Н.И. Моделирование процесса сверления стеклопластиков в среде Cosmosworks. Обработка металлов. 2007. № 4. С. 19–23.

6. Дударев, А.С. Повышение эффективности и качества обработки отверстий на основе стабилизации процесса сверления изделий из полимерных композиционных материалов: автореф. дис. канд. техн. наук. [Текст]. Пермь: ПГТУ, 2009. 20 с.

Vitrenko V.A., Syrovoy G.V, Ratushnyak A.Y. Cutting tools for cutting of long polymer composite material

The article presents the analysis of the characteristics of tool materials for equipment of the cutting tool used in the processing of long-length rods of small diameter made of composite material. Selection of different types of tool material. The selected four groups of the studied material. Recommendations on the use of a cutting tool when cutting of products made from fiberglass and carbon fiber.

Keywords: *instrument, fiberglass, carbon fiber, durability, rod, hard alloy.*

Витренко Владимир Алексеевич - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения и инженерного консалтинга Луганского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск. Научные интересы: перспективные инструментальные материалы и их применение.

e-mail: siig@i.ua

Сыровой Геннадий Владимирович – старший преподаватель кафедры станков, инструментов и инженерной графики Луганского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск. Научные интересы: технологии намотки и обработки изделий из композиционных материалов.

e-mail: rodgis@mail.ru

Ратушняк Алина Юрьевна – ассистент кафедры станков, инструментов и инженерной графики Луганского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск. Научные интересы: исследование и разработка инструмента для обработки композиционных материалов.

e-mail: ratushnyak93@bk.ru

Vitrenko Vladimir - D.Sc (Eng), Associate Professor, head of engineering and engineering technology consulting Lugansk National University named after Vladimir Dalh, Lugansk. Research interests: advanced tool materials and their application.

e-mail: siiig@i/ua

Syrovoy Gennadiy - senior lecturer of machines, tools and engineering graphics Lugansk National University named after Vladimir Dalh, Lugansk. Research interests: technology of winding and processing of products made of composite materials.

e-mail: rodgis@mail.ru

Ratushnyak Alina - teacher assistant in machines, tools and engineering graphics Lugansk National University named after Vladimir Dalh, Lugansk.. Research interests: research and development of tools for the processing of composite materials.

Статья поступила

20 мая 2017 г.

© Витренко В.А., Сыровой Г.В., Ратушняк А.Ю., 2017

**ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ
ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ**

УДК 621.389; 621.763

Войтенко В.В., Комаров Н.В.

ПРИМЕНЕНИЕ ЧЕТВЕРТЬВОЛНОВЫХ СВЧ ЗОНДОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ОТВЕРЖДЕНИЯ КОМПОЗИТОВ-ДИЭЛЕКТРИКОВ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Voytenko V.V., Komarov N.V.

APPLICATION OF THE QUARTER-WAVE MICROWAVE PROBES FOR MONITORING THE CURING PROCESS OF COMPOSITE-INSULATORS IN THE PRODUCTION

Обоснована возможность использования СВЧ четвертьволновых резонаторов-зондов для контроля процесса отверждения композиционных материалов по изменению их диэлектрической проницаемости. Предложены и экспериментально испытаны различные конструкции четвертьволновых резонаторов-зондов, предназначенные для контроля процесса отверждения диэлектрических композитов на производстве. Предложена методика обработки результатов измерений, устанавливающая связь между параметрами четвертьволнового микрополоскового резонатора и степенью полимеризации композита. Приведены результаты испытаний четвертьволновых коаксиальных и микрополосковых резонаторов-зондов, а также конструкций для бесконтактного возбуждения и съема колебаний с микрополосковых линий, встраиваемых в контролируемое изделие.

Ключевые слова: микрополосковый резонатор-зонд, композиционный материал, диэлектрическая проницаемость, волновое сопротивление, измерительное устройство.

Введение

В промышленном производстве диэлектрических композиционных материалов и изделий из них часто возникает необходимость контроля процесса термического отверждения композитов с целью оперативного управления процессом. При этом применяются методы неразрушающего контроля, основанные на использовании электромагнитных волн СВЧ диапазона [1,2]. Для контроля процесса полимеризации и отверждения композитов подходят диэлектрические материалы, которые заметно изменяют свою диэлектрическую проницаемость за время протекания технологиче-

ского процесса. К таким материалам относится большинство смол, которые в процессе химического или термического отверждения увеличивают свою диэлектрическую проницаемость на 10-15%. Этого вполне достаточно, чтобы непосредственно в промышленном производстве композитов на основе смол осуществлять контроль степени отверждения. Данный параметр во многом определяет физико-химические свойства изделий на основе смол с порошкообразными и волокнистыми диэлектрическими наполнителями. Также оптимизация температурного режима и времени термического отверждения композитов способствует увеличению производительности труда и экономии затрат энергии, что определяет конкурентоспособность выпускаемой продукции [3, 4]. К тому же, композиционные материалы на основе смол с тканевым и волокнистым наполнением уверенно лидируют там, где требуется высокая коррозионная и химическая стойкость, гибкость в сочетании с высокой прочностью на разрыв, стойкость к циклическим нагрузкам и перепадам температуры. Особенно перспективным является применение объемоармированных высокопрочных материалов для авиации и космонавтики. Такие перспективы использования композиционных материалов определяют актуальность научно-технической задачи контроля отверждения в производстве изделий из композитов-диэлектриков.

Задачами исследования являются: выбор способа контроля процесса отверждения с использованием СВЧ методов; выбор конструктивного исполнения четвертьволновых резонаторов-зондов и проведение их испытаний на образцах композиционных материалов.

Целью работы является исследование процесса отверждения композитов-диэлектриков с применением четвертьволновых СВЧ резонаторов-зондов.

Методика исследования

В области низких, средних и высоких частот для измерения диэлектрической проницаемости материала требуется образец или проба достаточно большой площади и объема, что ограничивает возможности метода, основанного на измерении емкости образца диэлектрика, помещенного между двумя плоскими или цилиндрическими электродами. Применение электромагнитных Т-волн СВЧ диапазона, распространяющихся в диэлектрике и на границе диэлектрика и проводника, позволяет создать четвертьволновые резонаторы-зонды, заполняемые исследуемым композитом, в которых объем и площадь исследуемого композита минимальны. Методика измерения диэлектрической проницаемости при помощи СВЧ Т-волн, распространяющихся в четвертьволновом резонаторе-зонде, несколько отличается от методики, используемой на низких, средних и высоких частотах. Вместо измерения емкости конденсатора, образованного плоскими

обкладками и испытываемым образцом композиционного материала, определяется коэффициент укорочения коаксиального или микрополоскового четвертьволнового резонатора. Для этого первоначально измеряется резонансная частота воздушного резонатора до его заполнения исследуемым композитом. Потом после заполнения воздушного четвертьволнового резонатора исследуемым составом измеряется частота резонанса в процессе отверждения состава. По изменению частоты резонанса рассчитывается коэффициент укорочения резонатора, из которого находится текущая величина диэлектрической проницаемости отверждаемого состава, текущее значение которой соответствует степени отверждения композита. Такая зависимость устанавливается в ходе предварительных экспериментальных исследований. Процесс измерения диэлектрической проницаемости исследуемого материала может быть осуществлен с использованием характеристики графа.

Длина четвертьволнового коаксиального или микрополоскового резонатора, заполненного воздухом,

$$l = \lambda / 4 = c / 4f , \quad (1)$$

где λ – длина волны, м; c – скорость света в вакууме, м/с; f – частота резонансных колебаний резонатора, Гц.

После заполнения четвертьволнового резонатора исследуемым составом выражение (1) изменяется, так как скорость электромагнитных Т-волн в микрополосковом резонаторе (МПЛР), заполненном диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε , будет меньше, чем в вакууме или воздухе. К тому же, в зависимости от ширины линии МПЛР и толщины слоя диэлектрика между линией и металлическим экраном-заземлением, вводится понятие эффективной диэлектрической проницаемости $\varepsilon_{эф}$, которая в простейшем случае для микрополоскового резонатора-зонда [4]:

$$\varepsilon_{эф} = 0.5(\varepsilon + 1) + 0.5(\varepsilon - 1) \left(1 + \frac{10h}{W} \right)^{-1/2} , \quad (2)$$

где W – ширина микрополосковой линии (МПЛ), мм; h – толщина слоя диэлектрика, мм.

Коэффициент укорочения МПЛР, заполненного диэлектриком,

$$K_y = \frac{f_B}{f_D} = \frac{\lambda_D}{\lambda_B} = \sqrt{\varepsilon_{эф}} = 3 \cdot 10^{-10} \nu_{\phi} , \quad (3)$$

где f_v, f_d – частоты резонанса четвертьволнового МПЛР, соответственно, заполненного воздухом и композитом-диэлектриком; λ_v, λ_d – длины волн резонатора; v_ϕ – фазовая скорость Т-волн в четвертьволновом МПЛР, заполненном композиционным материалом.

Переписывая (1) с учетом (3), получим

$$l_d = \frac{\lambda_d}{4} = \frac{v_\phi}{4f_d} = \frac{\sqrt{\varepsilon_{\varepsilon\phi}}}{12 \cdot 10^{-10} f_d}. \quad (4)$$

Сравнение (1) и (4) показывает, что четвертьволновой МПЛР, заполненный диэлектриком, будет короче, чем аналогичный воздушный резонатор с той же частотой резонанса. Из (3) следует, что если в процессе отверждения диэлектрическая проницаемость композита изменится на 15%, то частота резонанса четвертьволнового МПЛР снизится на 6,3% для МПЛ с отношением $h/W = 0.5$ и на 4,8% при $h/W = 1$.

Добротность МПЛР

$$Q = \frac{1}{6} \sqrt{\varepsilon_{\varepsilon\phi}} W Z_0 \sqrt{f_\sigma}, \quad (5)$$

где σ – удельная линейная проводимость МПЛ на рабочей частоте, См/м; Z_0 – волновое сопротивление микрополосковой линии, Ом.

Учитывая, что величина добротности четвертьволнового МПЛР возрастает пропорционально $\sqrt{\varepsilon_{\varepsilon\phi}}$ согласно (5), для резонаторов-зондов лучшим измерительными характеристиками будут обладать те, что имеют соотношение $0,25 < h/W < 1$.

Волновое сопротивление МПЛ

$$Z_0 = 376,7\varepsilon^{-1/2} \left[\frac{W}{4h} + \frac{1}{2\pi} \ln \left\{ 17,08 \left(0,92 + \frac{W}{2h} \right) \right\} \right]^{-1}, \quad (6)$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика, заполняющего объем резонатора.

Для коаксиального четвертьволнового резонатора расчетные формулы аналогичны (1) – (6), но выражения для эффективной диэлектрической проницаемости и волнового сопротивления:

$$\varepsilon_{\text{эф}} = 0.5(\varepsilon + 1) + 0.5(\varepsilon - 1) \left(1 + \frac{9,8h}{d} \right)^{-1/2}, \quad (7)$$

$$Z_0 = \frac{376,7}{\sqrt{\varepsilon}} \left[\frac{1}{2\pi} \ln \frac{8h}{d} + \frac{1}{16\pi} \left(\frac{d}{2h} \right)^2 + \dots \right], \quad (8)$$

где d – диаметр центрального проводника коаксиальной линии. Выражения (7) и (8) справедливы для $d/h < 2$.

Функциональная блок-схема измерительного устройства показана на рис. 1.

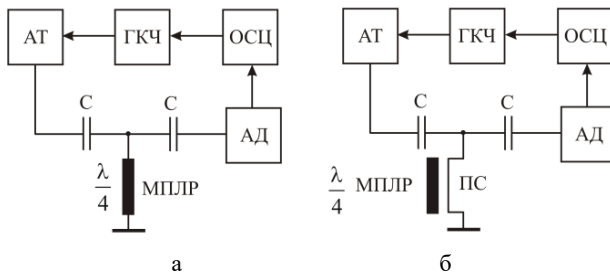


Рис. 1. Функциональная блок-схема измерительного устройства для контроля процесса отверждения композита: а – для работы с микрополосковым резонатором и коаксиальным резонатором-зондом; б – для работы со встраиваемым в изделие МПЛ резонатором-зондом; АТ – аттенюатор; ГКЧ – генератор качающейся частоты; ОСЦ – осциллографическая часть; АД – амплитудный детектор; ПС – петля связи; МПЛР – микрополосковый резонатор-зонд

При проведении измерений использован стандартный характериограф Х1-50, работающий в диапазоне от 400 МГц до 1000 МГц. В состав характериографа входят: осциллографическая часть ОСЦ, генератор качающейся частоты ГКЧ, аттенюатор АТ и амплитудный детектор АД. С прибором возможно использовать четвертьволновые коаксиальные и микрополосковые резонаторы-зонды, а также зонд, содержащий экран и петлю связи для осуществления контроля композитов со встроенной в изделие МПЛ. Конструкции измерительных зондов показаны на рис. 2.

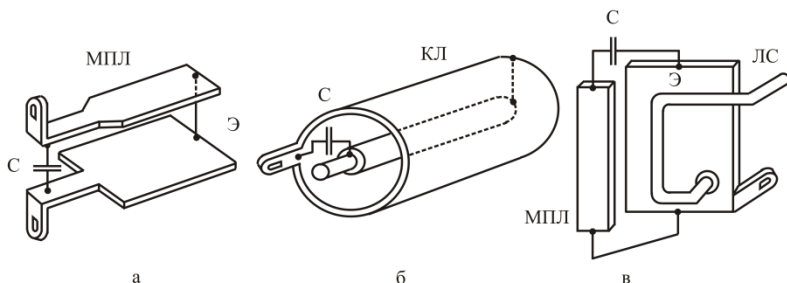


Рис. 2. Конструкции четвертьволновых СВЧ зондов: а – микрополосковый резонатор-зонд; б – коаксиальный резонатор-зонд; в – зонд с петлей связи ПС и экраном Э для встраиваемых в изделие МПЛ (ЛС – линия связи; КЛ – коаксиальная линия)

Результаты исследований

Были проведены исследования по измерению резонансной частоты, добротности и полосы пропускания на уровне 0,5 четвертьволнового МПЛР в процессе полимеризации заполняющей его эпоксидной смолы. Частота резонанса f_0 , амплитуда A и добротность Q четвертьволнового МПЛР определялись по частотным меткам характериографа и делениям шкалы прибора. Одновременно с указанными параметрами измерялось время от начала до конца процесса полимеризации эпоксидной смолы, заполняющей четвертьволновой резонатор. Результаты сведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Результаты измерения параметров четвертьволнового микрополоскового резонатора

Время, час	Резонансная частота, МГц	Ширина полосы частот, МГц	Добротность	Степень полимеризации, %
0	465	15	2,1	12
3	472	12	4,2	51
12	480	10	5,3	90
24	482	10	5,3	96

Анализ результатов (табл. 1) показывает, что в процессе отверждения эпоксидной смолы, заполняющей четвертьволновой МПЛР, значительно изменяются все основные параметры резонатора. Так при изменении степени полимеризации эпоксидной смолы от 12 до 96% изменяется резонансная частота четвертьволнового МПЛР на 15 МГц от 465 МГц в начале процесса до 482 МГц в конце процесса полимеризации. Это объясняется увеличением диэлектрической проницаемости эпоксидной смолы в процессе

отверждения, что в свою очередь отражается на увеличении коэффициента укорочения Т-волны в резонаторе, что эквивалентно увеличению резонансной частоты. Увеличение добротности четвертьволнового резонатора в процессе полимеризации эпоксидной смолы с 2,1 до 5,3 объясняется уменьшением потерь, связанных с проводимостью эпоксидной смолы. Так с ростом степени полимеризации эпоксидной смолы ее омическое сопротивление возрастает, что и является причиной увеличения добротности четвертьволнового МПЛР. Сужение полосы частот Δf с 15 МГц до 10 МГц, измеренное на уровне 0,5, также объясняется тем, что потери, связанные с проводимостью эпоксидной смолы, уменьшаются с ростом степени ее полимеризации. Динамика изменения резонансной частоты МПЛР показывает, что процесс полимеризации проходит достаточно равномерно в интервале от 0 до 12 часов (табл. 1), а после 12 часов процесс идет очень медленно.

Выводы

1. Предложенный способ контроля процесса полимеризации композиционных материалов и изделий на основе смол может быть реализован как с использованием стандартного, так и оригинального измерительного оборудования.

2. Предложенная методика обработки результатов измерений, устанавливающая связь между параметрами четвертьволнового микрополоскового резонатора, заполненного контролируемым композитом, и степенью полимеризации композита, позволяет однозначно по результатам измерений определять степень полимеризации композитов на основе смол.

3. Предложенный способ контроля и методика обработки данных могут найти свое применение как в условиях заводских лабораторий, так и в условиях производства для контроля и управления процессом получения композиционных материалов и изделий на их основе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кербер М.Л. Полимерные композиционные материалы. Структура. Свойства. Технологии. СПб.: Профессия, 2008. 560с.
2. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник. [под ред. В.В. Клюева]. М.: Машиностроение, 1995. 488с.
3. Алентьев А.Ю., Яблокова М.Ю. Связующие для полимерных композиционных материалов: Учеб. пособие. М.: МГУ им. М.В.Ломоносова, 2010. 156с.
4. Шаров Г.А. Основы теории сверхвысококачественных линий передачи, цепей и устройств. М.: НТИ «Горячая линия», 2016. 470с.

Voytenko V.V., Komarov N.V. Application of the quarter-wave microwave probes for monitoring the curing process of composite-insulators in the production.

Described the problem of controlling the process of thermal curing of composites in their production for the purpose of operational management of process. Indicated materials that during the chemical or thermal hardening increase its dielectric constant. Justified the possibility of using the microwave quarter-wave resonators-probes for monitoring the curing process of composite materials by changing the dielectric constant. Proposed the technique for measuring the dielectric constant using microwave T-waves spreading in the quarter-cavity probe. Proposed and experimentally tested various designs of quarter-wave resonators probes designed to monitor the curing process of dielectric composites manufacturing. Showing the test results of the quarter-wave coaxial resonator microstrip probes, as well as designs for contactless excitation and pickoff oscillation with microstrip lines, embedded in a controlled product.

Keywords: *microstrip resonator-probe, composite dielectric constant, impedance, measuring device.*

Войтенко Валерий Владимирович – студент кафедры микро- и наноэлектроники Луганского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск. Научные интересы: композиционные материалы.
e-mail: vlvoytenko@gmail.com

Комаров Николай Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры микро- и наноэлектроники Луганского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск. Научные интересы: приборы и методы для получения и исследования материалов.
e-mail: micro.nano.electronics@gmail.com

Voytenko Valery – student of the Micro- and Nanoelectronics Department, Vladimir Dalh Lugansk National University, c. Lugansk. Scientific interest: composite materials.

Komarov Nicolay – Ph.D. (Eng), Docent of the Micro- and Nanoelectronics Department, Vladimir Dalh Lugansk National University, c. Lugansk. Scientific interest: devices and methods for obtaining and study materials.

Статья поступила

23 мая 2017 г.

© Войтенко В.В., Комаров Н.В., 2017

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 692.5 (691.328)

Рябичева Л.А., Засько В.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРИСТОСТИ БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТАЛЛОАБРАЗИВНЫХ ОТХОДОВ

Ryabicheva L.A., Zasko V.V.

RESEARCH OF POROSITY OF CONCRETE FOR USE OF METALABRASIVE WASTE

Представлена методика расчета пористости. Рассмотрены виды пор: поры цементного геля, капиллярные поры и условно замкнутые поры. Разработана схема откалывания проб от контрольных образцов бетона. Рассчитаны показатели пористости образцов с различным процентным содержанием микрочастиц шлифовальных отходов. Получено оптимальное количество добавок в зависимости от массы цемента, что способствовало снижению пористости на 29 %, уменьшению объема пор на 32,5 %.

Ключевые слова: промышленные отходы, пористость, открытые капиллярные поры, открытые некапиллярные поры, микропористость.

Введение

Введение техногенных отходов промышленных предприятий, направленное на удешевление производства бетона, улучшает его технические характеристики, кроме того это выгодно экономически и экологически. В настоящее время отходы применяются как для дисперсного армирования [1], так и для уплотнения цементного камня [2]. В обоих случаях уменьшается пористость, что приводит к увеличению прочности бетона.

Многие важные свойства бетона – морозостойкость, водопроницаемость, коррозионная стойкость – тесно связаны с особенностями структуры, в частности, с пористостью бетона. В плотно уложенном бетоне поры образуются в основном вследствие испарения свободной воды. Размеры возникающих пор неодинаковы, их распределение неравномерно. Отрицательно влияют на перечисленные выше свойства бетона макропоры, размер которых более 10^{-5} см.

Более мелкие поры, заполненные адсорбционно связанной с цементным гелем водой, не оказывают вредного влияния на морозостойкость и водонепроницаемость бетона. Поэтому для оценки этих свойств бетона важно знать его макропористость.

Целью работы является установление связи пористости с составом бетона.

Методика исследования

При проектировании состава бетонных смесей использовали следующие материалы: портландцемент ПЦ 500-Д0 производства ВАТ «Донецмент» с. Амвросиевка, ДНР; в качестве заполнителя применялся песок для строительных работ Кондрашевского песчаного карьера и щебень ОАО «Успенский карьер» п. Волнухино Лутугинского района, который соответствует ГОСТ 8267-93. В качестве уплотняющего компонента использовали частицы, полученные из отходов шлифования автоклапанов [3]. Для регулирования свойств бетонной смеси применяли суперпластификатор СП-3, соответствующий требованиям ТУ 5745-008-69867132-2011. В табл. 1 представлен состав исследуемых образцов.

Т а б л и ц а 1

Характеристика исследуемых составов

Расход компонентов на 1 м ³ бетонной смеси, кг					
Цемент ПЦ 500	Песок	Щебень фракции 0 - 5 мм	Щебень фракции 5 - 10 мм	Пластификатор СП-3	Уплотняющая добавка
Контрольный образец					
470	1034	100	650	1,84	-
Образец с введением 4,5% уплотняющей добавки					
470	1034	100	650	1,84	21,2
Образец с введением 10% уплотняющей добавки					
470	1034	100	650	1,84	47,0
Образец с введением 15% уплотняющей добавки					
470	1034	100	650	1,84	70,5

Пористость рассчитывали по следующей методике. Цемент связывает химически (считая от массы цемента) воду в количестве $\omega_{Ц}$ и примерно столько же адсорбционно в микропорах геля. Следовательно, общее количество воды, связанной цементом, будет $2\omega_{Ц}$. Объем макропор (капиллярных) P_k , %, образованных несвязанной водой, определяют по формуле

$$P_{\kappa} = \frac{B - 2\omega C}{1000} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где B – расход воды затворения на 1 м^3 бетона, кг;

ω – относительное количество воды, связанной цементом, в долях единицы;

C – расход цемента на 1 м^3 бетона, кг.

Общую пористость бетона P_{σ} , % рассчитывали по формуле

$$P_{\sigma} = \frac{B - 2\omega C}{1000} \cdot 100\%, \quad (2)$$

Результаты исследования

Поровая структура бетона представляет собой систему пустот различного размера и генезиса. Различают три системы пор: поры цементного геля (характерный размер $15-40 \text{ \AA}$), капиллярные поры (размером от $0,01$ до 1 мкм) и условно замкнутые (воздушные) поры - как считают, сферической формы, размером от 10 мкм .

Поры геля характеризуются минимальной проницаемостью для жидкостей и газов (коэффициент проницаемости для пор геля менее 10^{10} м/с). Перенос жидкой фазы в порах геля возможен только по механизму молекулярной диффузии. Вода в порах геля при эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций не замерзает, что объясняется их размером, содержанием в поровой жидкости добавок-электролитов.

Капиллярные поры можно представить как часть объема воды цементного теста, которая не заполнена продуктами гидратации цемента. Микрокапилляры имеют размер меньше $10-1 \text{ мкм}$. Они обладают способностью к капиллярной конденсации влаги, обуславливающей гигроскопичность материалов. Макрокапилляры с радиусом больше $0,1 \text{ мкм}$ (обычно до 10 мкм) заполняются водой только при непосредственном контакте с ней.

Капиллярные поры являются основным дефектом структуры цементного камня. В свежеприготовленном тесте можно считать порами все пространство, заполненное водой. При твердении часть его заполняется гелем. Чем больше степень гидратации цемента, тем больше образуется геля и тем меньший объем остается на капиллярные поры. Данные по водопроницаемости цементного камня и бетона показывают, что переход от непрерывной системы пор к условно изолированной происходит при капиллярной пористости цементного камня $P_{\kappa} < 0,33$.

Температура замерзания воды в капиллярно-пористом теле зависит от размеров капилляров. Например, в капиллярах диаметром $1,57 \text{ мм}$ вода замерзает при $-6,4^{\circ}\text{C}$; $0,15 \text{ мм}$ при $-14,6^{\circ}\text{C}$; $0,06 \text{ мм}$ - -18°C . В порах диамет-

ром менее 0,001 мм вода практически не замерзает, она приобретает свойства псевдотвердого тела.

В порах, обусловленных контракцией, создается вакуум, и они заполняются в зависимости от условий твердения воздухом или водой. Контракционный объем рассматривают в наше время не как самостоятельный вид пор, а как часть капиллярной пористости.

К условно замкнутым порам относят пузырьки воздуха в цементном камне и бетоне. Суммарным объемом пор, их размером, количеством и удельной поверхностью можно управлять введением воздухововлекающих или газообразующих добавок. Воздушные поры, получаемые путем введения в бетонную смесь воздухововлекающих добавок, существенно изменяют структуру цементного камня. Число воздушных пор в 1 см³ цементного камня может достигать одного миллиона, а поверхность этих пор - 200-250 см². Через эту поверхность поступает в воздушные поры избыточная вода, вытесняемая из капилляров при замораживании бетона. Защитным действием обладают лишь достаточно мелкие воздушные поры размером менее 0,5-0,3 мм.

Морфологический анализ пористости включает определение размеров и формы пор, подсчет их общего числа на исследуемой поверхности, и подсчет количественных характеристик пористости: относительного содержания в образце (пористость %), содержания пор в единице объема образца, средней величины междупоровых перегородок и т.п.

Показатели пористости образцов бетона с добавками микрочастиц шлифовальных отходов стали 40X10C2M определяли в соответствии с ГОСТ 12730.4-78.

Пробы для испытаний отбирали из контрольных образцов кубов, формируемых при подборе состава смеси и определении прочности бетона. Количество проб в каждом случае – 3. Пробы бетона из контрольных образцов-кубов откалывали на прессе с помощью двух металлических стержней так, чтобы сохранить поперечное сечение контрольного образца (рис. 1).

Для определения объема открытых некапиллярных пор бетона (объема межзерновых пустот) подготовленные образцы насыщали в воде в течение 24 часов по ГОСТ 12730.3-78, затем выдерживали 10 минут на решетке, после чего определяли их объем в объемном измерении по ГОСТ 12730.1-78 (без предварительного высушивания и парафинирования).

Полный объем пор бетона серии образцов Π_n в процентах определяли с погрешностью до 0,1% по формуле:

$$\Pi_n = \left(\frac{\rho_o - \rho_o}{\rho_o} \right) \cdot 100, \quad (3)$$

где ρ_b – плотность измельченного в порошок бетона, определенная при помощи пикнометра по методике ГОСТ 8269.0, кг/м³;

ρ_o – плотность сухого бетона в серии образцов, определенная по ГОСТ 12730.1-78, кг/м³.

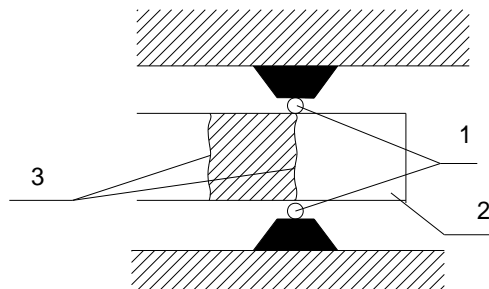


Рис. 1. Схема откалывания проб от контрольных образцов бетона:
1 - металлические стержни гладкие из высокопрочной стали диаметром 5 мм; 2 - контрольный образец-балка; 3 - намечаемые плоскости раскола (заштрихованая проба)

Объем открытых капиллярных пор бетона в серии образцов Π_o в процентах определяли по формуле:

$$\Pi_o = W_o, \quad (4)$$

где W_o – водопоглощение бетона в серии образцов определенное по ГОСТ 12730.3, %.

Объем открытых некапиллярных пор бетона в отдельных образцах (объем межзерновых пустот) Π_{mo} в процентах по объему определяли по формуле:

$$\Pi_{mo} = \frac{V - V_t}{V} \cdot 100, \quad (5)$$

где V – объем образца, определенный по ГОСТ 12730.1, см³;

V_t – объем подготовленного к испытаниям образца, см³.

Объем открытых некапиллярных пор бетона в серии образцов определяли как среднее арифметическое значение результатов испытания всех образцов в серии.

Объем условно-закрытых пор бетона в серии образцов Π_z в процентах определяли по формуле:

$$P_3 = P_n - P_o - P_{mo}. \quad (6)$$

Показатель микропористости бетона в серии образцов P_{mk} определяли по формуле:

$$P_{mk} = \frac{W_c}{P_o + P_{mo}}, \quad (7)$$

где W_c – сорбционная влажность бетона в серии образцов при относительной влажности воздуха 95-100%, определенная по методике ГОСТ 12852.6, % по объему.

Показатели среднего размера пор и однородности размеров пор определяли по кинетике их водопоглощения ГОСТ 12730.4-78 на образцах-кубах с ребром 7 см.

Результаты определения показателей пористости образцов с различным процентным содержанием микрочастиц шлифовальных отходов представлены в табл. 2.

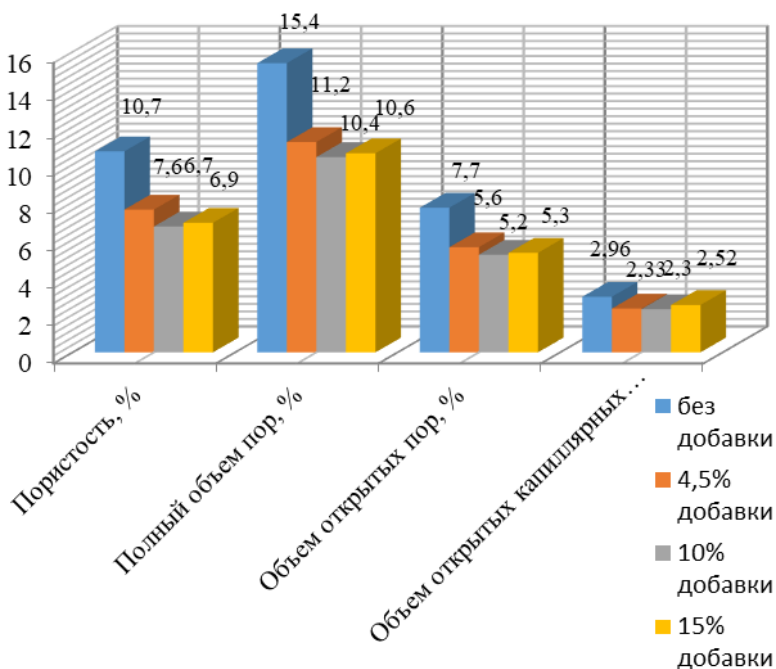


Рис. 2. Изменение показателей пористости в зависимости от процентного содержания шлифовальных отходов

Показатели пористости образцов бетона с различным процентным содержанием микрочастиц шлифовальных отходов

Параметры	Содержание добавки из микрочастиц шлифовальных отходов, μ_v %			
	0	4,5	10	15
Средняя плотность бетона, кг/м ³	2394	2418	2496	2457
Средняя пористость бетона, %	10,7	7,6	6,7	6,9
Полный объем пор, P_n	15,4	11,2	10,4	10,6
Объем открытых пор P_k	7,7	5,6	5,2	5,3
Объем открытых капиллярных пор, P_o	2,96	2,33	2,3	2,52
Объем открытых некапиллярных пор, P_{mo}	2,14	1,47	1,6	1,38
Объем условно-замкнутых пор, P_z	2,6	1,8	1,3	1,4
Коэффициент микропористости, P_{mk}	0,472	0,427	0,458	0,389
Показатель среднего размера пор, λ	1,7	1,05	1,1	1,11
Показатель однородности пор по размерам, α	0,4	0,59	0,65	0,60

Анализ полученных результатов (рис. 2) свидетельствует об эффективности введения добавки шлифовальных отходов в бетонную смесь, способствует снижению пористости и изменению структуры бетона. Оптимальным является введение добавок в количестве 10 % от массы цемента, что способствовало снижению пористости на 29 %, уменьшению объема пор на 32,5 %.

Выводы

Исследования показали, что увеличение добавки микрочастиц шлифовальных отходов приводит к снижению пористости и изменению структуры бетона. Оптимальным является введение добавок в количестве 10 % от массы цемента, что способствовало снижению пористости на 29 %, уменьшению объема пор на 32,5 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барабанщикова Т. К, Исследование возможности использования вторичного сырья в составе строительных композитов / Т. К. Барабанщикова [и др.] // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2007. №1 (23). Вып. 1. С. 89 - 92.

2. Рабинович Ф.Н. Дисперсно-армированные бетоны. М.: Стройиздат, 1989. 176 с.

3. Рябичева Л.А., Засько В.В. Использование отходов шлифования автомобильных клапанов в строительных материалах Сб. науч. трудов. Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении. Луганск, Изд-во ЛНУ им. В. Даля. 2017. №1 (18). С.120-125.

Ryabicheva L.A., Zasko V.V. Research of porosity of concrete for use of metallabusive waste.

The method of calculation of porosity is presented. Types of a time are considered: time of cement gel, capillary time and conditionally closed pores. The scheme of breaking off of tests from control samples of concrete is developed. Indicators of porosity of samples with various percentage of microparticles of grinding waste are calculated. The optimum quantity of additives depending on the mass of cement is received that promoted decrease in porosity by 29%, reduction of volume of a time by 32,5%.

Keywords: industrial wastes, porosity, open capillary time, open not capillary time, microporosity.

Рябичева Людмила Александровна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой материаловедения и строительства Луганского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск. Научные интересы: получение новых материалов со специальными свойствами из отходов промышленности.

e-mail: ryabic@gmail.com

Засько Виталий Васильевич – старший преподаватель кафедры материаловедения и строительства Луганского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск. Научные интересы: перспективные строительные материалы.

e-mail: vizasko@yandex.ru

Ryabicheva Lyudmula – D.Sc (Eng), Associate Professor, Head of the Material and Civil Engineering Department, Vladimir Dalh Lugansk National University, s. Lugansk. Scientific interest: receiving new materials with special properties from waste of the industry.

e-mail: ryabic@gmail.com

Zacko Vitali - senator teacher Material and Civil Engineering Department, Vladimir Dalh Lugansk National University, s. Lugansk. Scientific interest: perspective construction material.

e-mail: vizasko@yandex.ru

Статья поступила

12 апреля 2017 г.

© Рябичева Л.А., Засько В.В., 2017

УДК 691.328

Дьяковская О.С.

ФИБРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ДИСПЕРСНО- АРМИРОВАННЫХ БЕТОНОВ

Dyakovskaya O.S.

FIBERS APPLIED FOR DISPERSED REINFORCED CONCRETE

Показана целесообразность применения дисперсного армирования бетонов. Рассмотрены основные технико-физические показатели на примере различных фибр, производимых как в нашей стране, так и за рубежом. Рассмотрены преимущества сталефибробетона по сравнению с неармированным бетоном. Показана эффективность применения микроармирующего волокна из полипропилена. Сделаны выводы о целесообразности использования дисперсно-армированных бетонов при возведении новых, а также при восстановлении и реконструкции существующих строительных объектов.

Ключевые слова: фибра, сталефибробетон, дисперсное армирование, полипропиленовое волокно, базальтовая фибра, стальная фибра.

Введение

Современное строительство неразрывно связано с задачами, имеющими отношение к повышению эффективности строительного производства, снижению стоимости и трудоемкости технологических процессов, экономному использованию материальных и энергетических ресурсов, применению новых прогрессивных материалов.

Одним из перспективных конструкционных материалов являются дисперсно армированные бетоны. Такие бетоны представляют собой одну из разновидностей обширного класса композиционных (композитных) материалов, которые в настоящее время все более широко применяются в различных отраслях промышленности [1].

Технология объемного армирования насчитывает тысячи лет. В прошлом веке были созданы новые материалы, успешно заменившие не только конский волос или солому, но и классическую стальную арматуру. Эти материалы получили общее название – ФИБРА. Она может быть из металла

или стекловолокна, полипропилена или базальта, различных размеров и конфигураций. Область применения фибры от армирования арок железно-дорожных тоннелей, промышленных полов до изготовления глиняных сувениров [2,4].

Целью работы является сравнительный анализ характеристик различных видов фибр для дисперсного армирования бетонных строительных конструкций различного назначения.

Методика исследования

Стремительные темпы роста выпуска высококачественных бетонов в настоящее время становятся объективной реальностью, обусловленной значительной экономией материальных и энергетических ресурсов. Однако использованию таких бетонов сопутствует ряд трудностей и рисков, к которым можно отнести:

- недостаточную прочность мелкозернистых бетонов на растяжение при изгибе (рост данной характеристики отстает от роста прочности при сжатии);
- недостаточную трещиностойкость высокопрочных бетонов;
- повышенный расход цемента при изготовлении высокопрочных бетонов, приводящий к повышению усадочных деформаций и внутренних напряжений, накоплению микродефектов, увеличивающих опасность хрупкого разрушения конструкций.

Для устранения перечисленных выше недостатков целесообразно использование дисперсного армирования бетонов фиброй разных типов, что позволяет получить цементные композиты, обладающие вязким характером разрушения [2, 4]. Большое влияние на эффективность дисперсного армирования оказывает прочность контактной зоны цементного камня и волокна; при этом отрицательным фактором служит наличие крупного заполнителя, препятствующего равномерному распределению волокон в матрице бетона и созданию пространственного каркаса дисперсной арматуры. Так, например, в работах Ю.М. Баженова [2, 3] определена способность фибры сдерживать развитие волосяных трещин при расстоянии между отдельными армирующими волокнами не более 10...12 мм (максимальная крупность заполнителя, которую не следует превышать).

Мелкозернистая структура цементных композитов обладает рядом достоинств, среди которых можно выделить возможность создания тонкодисперсной однородной высококачественной структуры без включений зерен крупного заполнителя, имеющих иное строение по отношению к цементно-песчаной матрице; высокую тиксотропию и способность к трансформации бетонной смеси; возможность формирования конструкций и изделий методом литья, экструзии, прессования, штампования, набрызга и др. [2].

Результаты исследований

Основные свойства и показатели различных видов волокон приведены ниже в табл. 1.

В зависимости от вида материала и способа изготовления мы имеем различные значения параметров и, как следствие, различные дозировки и способы применения.

Т а б л и ц а 1

Свойства различных видов волокон для изготовления фибры

Волокно	Плотность, г/см ³	Прочность на растяжение, МПа	Модуль упругости, МПа	Удлинение при разрыве, %
Полипропиленовое	0,90	400–700	3500–8000	10–25
Полиэтиленовое	0,95	600–720	1400–4200	10–12
Нейлоновое	1,10	770–840	4200–4500	16–20
Акриловое	1,10	210–420	2100–2150	25–45
Полизфирное	1,40	730–780	8400–8600	11–13
Хлопковое	1,50	420–700	4900–5100	3–10
Асбестовое	2,60	910–3100	68 000–70 000	0,6–0,7
Стеклоанное	2,60	1800–3850	7000–8000	1,5–3,5
Стальное	7,80	600–3150	190 000–210 000	3–4
Углеродное	2,00	2000–3500	200 000–250 000	1,0–1,6
Карбоновое	1,63	1200–4000	280 000–380 000	2,0–2,2
Полиамидное	0,90	720–750	1900–2000	24–25
Вискозное сверхпрочное	1,20	660–700	5600–5800	14–16
Базальтовое	2,60–2,70	1600–3200	7000–11 000	1,4–3,6

Подробно мы остановимся на стальной, базальтовой и полипропиленовой фибрах.

Стальная фибра представляет собой отрезки стальных волокон специальной формы и длины, в определённых дозировках (от 20 кг/м³) добавляемых в бетонную матрицу для осуществления объёмного армирования.

В результате фибрового армирования создаётся композитный материал -сталефибробетон, обладающий рядом преимуществ перед неармированным бетоном и бетоном с традиционными видами армирования. Повышается:

- прочность на растяжение при изгибе — в 2–3 раза;
- прочность на сжатие — до 10–50 %;
- прочность на осевое растяжение — до 10–40 %;
- ударная прочность - в 8–12 раз;
- сопротивление истираемости- до 2 раз;
- трещиностойкость- в 2–3 раза.

Базальтовая фибра. Микрофибра базальтовая модифицированная (МБМ) получается путём пропитки измельченной минеральной ваты, производимой из расплава базальтовых пород. Рекомендуемое содержание - 1,5–20 %, в зависимости от вида и назначения композиционного материала.

МБМ предназначена для дисперсного армирования пластмасс, бетонов, асфальтобетонов, минеральных смесей. Её вводят с целью улучшения их свойств - прочность на сжатие, растяжение, изгиб, срез, водопоглощение, морозостойкость, трещиностойкость и т. п.

Полипропиленовое волокно. Микроармирующее волокно из полипропилена применяется в гражданском, промышленном и дорожном строительстве как компонент строительных растворов и смесей, модифицирующий структуру вяжущих веществ и предотвращающий образование и развитие внутренних дефектов цементных композиций. Материал носит наименование волокно строительное микроармирующее (ВСМ).

В ходе экспериментов выяснено, что добавление в бетонную смесь ВСМ приводит к изменению следующих параметров:

- уменьшение расслаивания бетонной смеси - на 25 %;

- сокращение времени первичного и окончательного твердения, то есть ускорение оборота форм — на 45 %;

- увеличение марочной прочности бетона -на 25 %; то есть при добавлении в марку бетона М300 волокна в количестве 600 г получаем марку М350.

Такое применение ВСМ позволяет повысить производительность предприятий, занимающихся производством бетонных конструкций, качество и долговечность строительных конструкций и сооружений, снизить номинальную стоимость строительного продукта.

Выводы

Обобщенный накопленный опыт показывает, что использование дисперсно-армированных бетонов различной плотности и прочности позволяет повысить качество и снизить ресурсопотребление при возведении новых, а также при восстановлении и реконструкции существующих строительных объектов. Анализ литературных источников позволяет сделать вывод, что разработка и производство фибробетонов значительно улучшают целый комплекс показателей строительных конструкций. Применение того или иного вида фибры зависит от назначения и характера эксплуатации конструкции. Существующие методы расчета недостаточно учитывают особенности работы фибробетонных конструкций при различных воздействиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. М.: АВС, 2004. 560 с.

2. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. 368 с.

3. Баженов Ю.М. Технология бетона. Учебник. М.: Изд-во АСВ, 2007. 528 с.

4. Симакина Г.Н. Высокопрочный дисперсно-армированный бетон: дис. канд. техн. наук. Пенза, 2006. 161 с.

Dyakovskaya O.S. Fibers applied for dispersed reinforced concrete.

The expediency of using disperse reinforcement of concrete is shown. The main technical and physical indicators are considered on the example of different fibers produced both in our country and abroad. The advantages of steel-fiber concrete compared with unreinforced concrete are considered. The effectiveness of the use of micro-reinforcing fiber from polypropylene is shown. Conclusions are drawn about the advisability of using dis-reinforced concrete during the erection of new ones, as well as in the restoration and reconstruction of existing construction projects.

Keywords: *fiber, steel fiber-reinforced concrete, dispersed reinforcement, polypropylene fiber, basalt fiber, steel fiber.*

Дьяковская Ольга Сергеевна – старший преподаватель кафедры материаловедения и строительства Луганского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск. Научные интересы: перспективные строительные материалы.

e-mail: dream25@mail.ru

Dyakovskaya Olga - senator teacher Material and Civil Engineering Department, Vladimir Dalh Lugansk National University, c. Lugansk. Scientific interest: perspective construction material.

e-mail: dream25@mail.ru

Статья поступила

1 июня 2017г.

© Дьяковская О.С., 2017

ТРЕБОВАНИЯ

к оформлению статей для публикации в сборнике **«Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении»**

К публикации принимаются статьи объемом **4-8 полных страниц**, материалы которых соответствуют **только научному направлению сборника**.

Срок подачи материалов – ежегодно до 1 марта, до 1 июня, до 1 сентября, до 1 декабря.

Научные статьи в 1-ом экземпляре, напечатанные на лазерном (струйном) принтере, с подписями всех авторов, актами экспертизы, рецензиями и обязательно на электронном носителе информации (компакт-диск CD-R или DVD-R) передаются в адрес редакции сборника: кафедра «Материаловедение и строительство», Луганский национальный университет имени Владимира Даля, кв. Молодежный 20А, г. Луганск, 91034, а также электронной почтой по адресу: **resource.saving@gmail.com**.

Название файла статьи: <фамилия автора, город> (Петров_Донецк.doc).

Структура статьи должна иметь следующие элементы.

На первой странице в первой строке набирается УДК, без абзачного отступа. (выравнивание по левому краю). Шрифт Times New Roman, размер 11 пт, стиль обычный.

Фамилии, инициалы авторов на языке текста статьи (русском, украинском или английском) размещаются через интервал после УДК (шрифт Times New Roman, размер - 11 пт, стиль - **полужирный**, выравнивание - по левому краю).

Название статьи на языке текста набирается прописными буквами через интервал после фамилий и инициалов авторов **без переносов** (шрифт Times New Roman, размер - 11 пт, стиль - **полужирный**, выравнивание - по центру).

Фамилии, инициалы авторов на английском языке размещаются через интервал **после названия статьи на языке текста** (шрифт Times New Roman, размер - 11 пт, стиль - **полужирный**, выравнивание - по левому краю).

Название статьи на английском языке набирается прописными буквами через интервал без переносов (шрифт Times New Roman, размер - 11 пт, стиль - **полужирный**, выравнивание - по центру).

Аннотация на языке статьи не менее 8 строк размещается через интервал **после названия статьи на английском языке**, шрифт Times New Roman, размер - 9 пт, стиль - обычный, выравнивание - по ширине.

Ключевые слова на языке статьи (не более 7 слов) размещаются через интервал после аннотации (шрифт Times New Roman, размер - 9 пт, стиль - обычный, выравнивание - по ширине).

Текст статьи размещается через интервал: шрифт Times New Roman, абзачный отступ - 0,75 см, размер - 10 пт; стиль - обычный, выравнивание - по ширине **с переносами**. Заголовок каждого параграфа помещаются с новой строки через интервал после предыдущего параграфа, абзачный отступ - 0,75 см, шрифт Times New Roman, размер - 10 пт, стиль - **полужирный**.

1. **Введение** - постановка проблемы, задачи в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами, анализ последних публикаций (не менее 3-х статей).

2. **Цель** формулировка цели статьи (отдельный абзац с новой строки – «Целью работы является...»).

3. **Методика исследования** (или **Математическая модель**)
4. **Результаты исследований.**
5. **Выводы.**

6. **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ** размещается в конце статьи через интервал после текста перед аннотациями и набирается прописными буквами (шрифт Times New Roman, размер - 10 пт, стиль - **полужирный**, выравнивание - по центру). Список литературных источников выполняется шрифтом Times New Roman; размер - 9 пт; стиль - обычный. Оформление ссылок на цитируемые источники должно соответствовать Государственному стандарту России. Библиографическое описание приводится на языке оригинала согласно **ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка»**.

7. **Фамилии, инициалы авторов, название статьи и аннотация на английском языке объемом не менее 12 строк** размещается через 1 интервал после списка литературы и включает следующие аспекты содержания статьи: предмет, тему, цель работы, метод или методологию исследования, важнейшие результаты, научная новизна, практическая ценность, область применения результатов (шрифт Times New Roman, размер - 9 пт, стиль - курсив, выравнивание - по ширине).

Ключевые слова на английском языке (до 7 слов) размещаются через интервал после аннотации (шрифт Times New Roman, размер - 9 пт, стиль - курсив, выравнивание - по ширине).

8. **Сведения об авторах** приводятся через интервал от аннотаций: фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, звание, должность, место работы, научные интересы, адрес электронной почты (шрифт Times New Roman; размер - 9 пт; стиль - обычный).

Сведения об авторах также приводятся полностью *на английском языке*.

Текст статьи размещается на белой бумаге формата А5 (148x210 мм), ориентация – книжная со следующими полями: верхнее - 17 мм, нижнее -23 мм, левое – 17 мм, правое – 23 мм. От края до верхнего колонтитула - 0 мм, до нижнего колонтитула - 16 мм, межстрочный интервал - 1,0. Текст статьи оформляется в редакторе **Microsoft Word в формате .doc** ("Файл" - "Сохранить как" - "Документ Word 97-2003").

Страницы не нумеровать.

Формулы и символы набираются только в редакторе формул **Microsoft Equation 2.0/3.0** со следующими параметрами: стиль - математический; размеры шрифта: обычный - 10 пт; крупный индекс - 9 пт; мелкий индекс - 7 пт; крупный символ - 12 пт; мелкий символ - 8 пт. Нумерация формул - в круглых скобках с выравниванием по правому краю границ текста.

Рисунки и таблицы монтируются непосредственно в тексте с обтеканием сверху и снизу и помещаются в последовательности, в которой приводятся ссылки на них в статье. Подписуемый текст, номера, названия и содержимое таблиц выполняются шрифтом Times New Roman; размер - 9 пт; стиль - обычный; интервал - 1,0.

Статьи, **не соответствующие научному направлению сборника или требованиям к оформлению статей**, редакцией не принимаются к публикации и назад не возвращаются.

Актуальная версия требований к оформлению статей находится на сайте сборника: <http://resourcesaving.wix.com/sbornik>

Научное издание

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА
И ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ МАТЕРИАЛОВ
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Сборник научных трудов
№2 (19) 2017

Ответственный за выпуск *Л.А. Рябичева*
Литературный редактор *Л.А. Рябичева*
Оригинал-макет *Е.А. Гриниченко*

Подписано к печати 26.07.2017
Формат 60 x 84 /16. Бумага офс. Гарнитура Times.
Печать офсетная. Услов.печ. листов 27,9. Обл.-изд. л. 28,5.
Тираж 100 экз. Изд. № 0049. Заказ № _____. Цена договорная.

Издательство
Луганского национального университета
имени Владимира Даля

Свидетельство о регистрации серия МИ-СГР ИД 000003 от 20.11.2015 г.

Адрес издательства: 91034, г. Луганск, кв. Молодежный, 20а
Телефон: (0642) 34-48-28. Факс: (0642) 34-48-48
e-mail: izdat.lguv.dal@gmail.com
<http://dahlniver.ru/>
<http://resourcesaving.wix.com/sbornik>