М497789

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

На правах рукописи

Крючков Михаил Антонович

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СОЗДАНИЕ НА ЕЕ ОСНОВЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РОБОТОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ МНОГОПЕРЕХОДНОЙ ШТАМПОВКИ ПОВЫШЕННОЙ НАДЕЖНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Специальность 05.03.05 – Процессы и машины обработки давлением

Специальность 05.13.07 – Автоматизация технологических процессов и производств

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва, 1991

Работа выполнена в Московском институте приборостроения

Официальные оппоненты:

Заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
профессор, доктор технических наук НАЙРОЦКИЙ Г.А.
Профессор, доктор технических наук БОЧАРОВ Ю.А.
Профессор, доктор технических наук СОСОНКИН В.Л.

Ведущая организация (предприятие) ВНИИТИЗЕМАШ, г. Москва

Защита состоится "8" мая 1991 г. в 14-30 часов на заседании специализированного совета Д.053.15.05 в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени Государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 107005, г.Москва, 2-ая Бауманская ул., д. 5.

ся в библиотеке Московского
ситета им. Н.Э. Баумана.
емпляре, заверенный печатью,
у. Телефон для справок

6-го 1991 г.

СССР 497789

СЕМЕНОВ В.И.

В В Е Д Е Н И Е

Одной из актуальных задач совершенствования и развития листовой штамповки в условиях преобладания серийного производства является задача ее комплексной автоматизации. Исследованию вопросов теории и практики при решении задач комплексной автоматизации производства посвящены научные работы С.И. Артоболевского, Б.С. Балакшина, А.П. Владзиевского, Л.И. Волчкевича, А.И. Дащенко, В.С. Корсакова, Л.Н. Кошкина, Г.А. Шаумяна, В.А. Яхимовича, П.Н. Белянина, С.П. Митрофанова, Ю.М. Соломенцева, Е.И. Юревича и многих других советских ученых. Существенный вклад в развитие автоматизации листоштамповочного производства внесли А.Н. Малов , В.Ф. Прейс, А.Н. Мансуров, И.А. Норицын, В.И. Власов, Г.Н. Ровинский, В.В. Филиппов, Г.А. Навроцкий, Е.И. Семенов ,Л.И. Живов, В.П. Романовский, Л.Л. Григорьев и другие.

Большая номенклатура штампуемых деталей, многообразие их форм и размеров, частая сменяемость объектов производства определяют ограниченность или невозможность использования традиционных средств автоматизации листовой штамповки для автоматизации серийного производства. Наиболее успешно задачи комплексной автоматизации листовой штамповки в условиях серийного производства решаются путем создания гибких производственных систем на базе использования промышленных роботов (ПР), которые благодаря большой универсальности, быстроте переналадки, возможности управления не только перемещениями своих манипуляторов, но и группой оборудования обеспечивают сравнительно простое решение проблемы автоматизации листовой штамповки такого производства. Положительные примеры автоматизации листовой штамповки на основе ПР показывают, что их применение позволяет повысить производительность, коэффициенты использования и сменности оборудования, высвободить основных рабочих , улучшить условия труда работающих. Однако несмотря на перечисленные достоинства при использовании ПР не всегда обеспечивается снижение себестоимости изготавливаемой продукции, уровень производительности роботизированных систем листовой штамповки в целом ряде случаев не превышает, а порой и ниже, чем при ручном обслуживании прессов. Не соответствует современным требованиям уровень надежности как основного технологического оборудования, так и используемых ПР и другого вспомогательного обору-

МГТУ 1497789 шарочку

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1497789

МГТУ им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

дования. При организации роботизированных систем требуется высокий уровень капитальных затрат и в тоже время уровень адаптации этих систем к изменяющимся условиям еще недостаточно высок. Это объясняется целым рядом организационных, экономических, социальных и технических причин. Особое влияние на эффективность применения ПР в листовой штамповке оказывают технические факторы. К факторам, оказывающим негативное действие на эффективность использования ПР в листовой штамповке, относятся недостаточная приспособленность технологии и инструментальной оснастки к условиям автоматизированного их производства, несовершенство конструкций вспомогательных устройств роботизированных систем листовой штамповки, неоптимальность существующих структур таких систем, отсутствие или несовершенство методик проектирования как отдельных элементов, так и самих систем в целом. Поэтому целью диссертации является разработка научно-технических методов повышения эффективности автоматизации листовой штамповки на базе использования ПР, основанных на целенаправленном формировании структур и состава комплекса функций роботизированного производства и поиска таких технологических и конструкторских решений, которые обеспечивают требуемый способ реализации и степень выполнения функций при обеспечении оптимального уровня себестоимости изготавливаемой продукции.

Актуальность работы

Работа посвящена проблеме повышения эффективности автоматизации многопереходной листовой штамповки на базе использования ПР в условиях серийного производства. Результатом ее является разработка и внедрение новых роботизированных технологий, а также роботизированных систем листовой штамповки, обеспечивающих, по сравнению с существующими, повышение производительности, надежности, снижение уровня капитальных затрат, и поэтому работа является актуальной.

Научная новизна

Научную новизну представляет методика проектирования оптимальных роботизированных систем листовой штамповки, основанная на результатах теоретических и экспериментальных исследований, включающих:

- математические модели вероятностных состояний обслуживания и надежности роботизированных систем листовой штамповки, а также основанная на этих моделях методика расчета характеристик

качества функционирования таких систем, позволяющая на стадии эскизного и технического проектирования оценить количественные показатели функционирования систем и их элементов в зависимости от параметров входящего потока заготовок, потоков обслуживания, надежности элементов и структуры систем;

– регрессионные уравнения надежности роботизированных систем листовой штамповки различных структур, полученные по результатам статистического испытания на ЭВМ на надежность в течение длительного срока эксплуатации с использованием методов Монте-Карло, планирования экстремальных экспериментов и статистики отказов оборудования и штамповой оснастки, а также нормативного времени их восстановления, устанавливающие количественную взаимосвязь надежности систем с надежностью составляющих элементов. Полученные уравнения позволяют осуществлять выбор оптимальных структур, разрабатывать алгоритмы технического обслуживания систем, стратегию их комплектования оборудованием и оснасткой;

– методы анализа и синтеза принципиально-структурных схем роботизированных систем листовой штамповки на основе представления их в операторной форме, позволяющие осуществлять на основании критериев совершенства принципиально-структурных схем, выбор наиболее рациональных;

– соотношений, устанавливающие взаимосвязь размеров столов закрытых прессов, размеров заготовок, вылета и хода руки ПР и схемы захвата заготовок, позволяющие оценить возможности использования ПР с определенными конструктивными параметрами для загрузки закрытых прессов крупногабаритными заготовками, установить оптимальные размеры ПР, проектируемых для закрытых прессов, а также оптимизировать размещение оборудования на участках роботизированных систем штамповки крупногабаритных изделий;

– методика проектирования электромагнитных элементов захватных устройств ПР для листоштамповочного производства, позволяющая разрабатывать элементы с высокой надежностью удержания заготовок или изделий при транспортировании с высокими скоростями, исключающими возможность магнитного сцепления их между собой или с инструментальной оснасткой , обладающими минимальными габаритами и массой, технологичностью конструкции;

– динамические модели работы подвижных штампов в рабочей зоне пресса для роботизированных систем многопереходной штамповки на однопозиционных прессах, позволяющие осуществлять оценку

основных характеристик колебательных процессов, происходящих в штампах и оказывающих влияние на устойчивость их загрузки-разгрузки ПР, а также осуществлять выбор характеристик жесткости упругих элементов раскрытия штамповых блоков и упругого основания таких штампов.

Практическая ценность и реализация работы

Результаты теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в работе, явились основой для разработки новых эффективных технологий и конструкций штамповой оснастки для автоматизированных на основе ПР и манипуляторов систем листовой штамповки; многоцелевых и специальных схватов ПР, используемых в автоматизированных системах листовой штамповки; разработаны новые магазинные устройства с гарантированной поштучной выдачей исходных заготовок на позицию захвата их рукой робота и устройства для ориентированного складирования отштампованных изделий; специальные ПР для загрузки-разгрузки кузнечно-прессового оборудования и передачи полуфабрикатов с одной рабочей позиции на другую, в том числе и при штамповке крупногабаритных изделий; принципиально новые высокоэффективные робототехнические комплексы многопереходной штамповки в выдвижных штампах из штучной, полосовой заготовки или ленты; новые конструкции гибких производственных модулей листовой штамповки для широкой номенклатуры изделий с автоматическими складами инструментальной оснастки и исходных заготовок; новые конструкции автоматизированных систем для многопереходной штамповки крупногабаритных заготовок.

На защиту выносятся:

I. Комплекс решений математических задач функционирования роботизированных систем листовой штамповки, как многофазных простейших систем массового обслуживания с отказами и с ненадежными приборами в каждой фазе обслуживания.

2. Установленные в результате статистического моделирования на ЭВМ закономерности влияния надежности составляющих элементов на надежность роботизированных систем листовой штамповки различных структур в целом.

3. Соотношения, устанавливающие взаимосвязь размеров столов закрытых прессов, размеров заготовок, схемы захвата заготовки и основных конструктивных параметров ПР, осуществляющих загрузку-разгрузку крупногабаритных заготовок на закрытых прессах.

4. Соотношения, определяющие оптимальные геометрические и электрические параметры электромагнитных элементов захватных

устройств ПР для листоштамповочного производства.

5. Соотношения, устанавливающие взаимосвязь между параметрами колебательных процессов выдвижных штампов в рабочей зоне пресса для систем многопереходной штамповки на однопозиционных прессах и параметрами жесткости упругих элементов раскрытия штампов и упругого основания штампов.

6. Методика проектирования оптимальных роботизированных систем многопереходной листовой штамповки.

7. Комплекс конструкторских разработок новых роботизированных систем листовой штамповки и вспомогательного оборудования для этих систем, новые роботизированные технологии штамповки и конструкции штампов.

Разработки по теме диссертации внедрены на Рижском вагоностроительном заводе, объединении "ЭЛЛАР", г.Рига, Самаркандском лифтостроительном заводе, Болошевском машиностроительном заводе, объединении "СИРИУС", г.Хабаровск. Общий годовой экономический эффект составил за 1985-1989 гг. 219 тысяч рублей.

Результаты работы внедрены в учебный процесс Московского института приборостроения в виде методических указаний "Моделирование работы робототехнического комплекса" и "Использование методов планирования экспериментов при моделировании гибких производственных систем на ЭВМ", которые используются студентами специальностей 0531 и 0705 при проведении лабораторных работ, курсовом и дипломном проектировании.

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались на 15 Всесоюзных, республиканских и региональных научно-технических конференциях по проблемам автоматизации технологических процессов на базе использования ПР в Москве, Суздале, Куйбышеве, Фрунзе, Хабаровске, Львове, Орле..., а также на 4 международных симпозиумах в Милане, Токио, Софии и Дели. РТК и элементы РТК листовой штамповки неоднократно демонстрировались на ВДНХ СССР. За успехи в развитии народного хозяйства автор награжден дипломом лауреата ВДНХ, одной серебряной и тремя бронзовыми медалями.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 48 печатных работ и получено 42 авторских свидетельства.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, выводов, списка литературы из 222 наименований и приложения,

изложена на 330 страницах машинописного текста, содержит 184 рисунка и 4 таблицы.

1. ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ НА БАЗЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПР

В главе 1-ой рассмотрены классификация существующих роботизированных систем листовой штамповки, их типовые структуры, области наиболее рационального использования, состав технологического и вспомогательного оборудования, состояние развития технологии штамповки и инструментальной оснастки для роботизированного производства, а также основные методы анализа его подсистем, элементов и связей между ними.

Рассмотрены также проблемы, которые еще не нашли своего оптимального решения при создании такого производства. К таким проблемам, в первую очередь, следует отнести необходимость дальнейшего совершенствования технологических процессов и инструментальной оснастки применительно к роботизированному производству, необходимость разработки многофункциональных, быстродействующих и надежных питателей, транспортно-ориентирующих устройств, в том числе ПР, отвечающих требованиям многономенклатурного производства, проблему разработки многоцелевых и специальных схватов ПР, обеспечивающих возможность захвата и транспортирования заготовок и деталей в широком диапазоне габаритов и формы. Важной проблемой является разработка принципиально новых структур и компановок роботизированных систем листовой штамповки, обладающих по сравнению с существующими повышенными характеристиками надежности, производительности, более высокой приспособляемостью к изменяющимся производственным условиям. Не менее важным является разработка и совершенствование методик проектирования отдельных элементов таких систем и систем в целом. Перечисленные проблемы определили основные цели и задачи работы в направлении разработки методов совершенствования автоматизации листовой штамповки на базе использования ПР и повышения ее эффективности.

2. Разработка математических моделей функционирования роботизированных систем листовой штамповки

Роботизированные системы листовой штамповки рассматриваются как многофазные одноканальные системы массового обслуживания (СМО) Например, РТК однопереходной штамповки можно рассматривать как одноканальную трехфазную СМО при следующих предположениях. Захват

рукой ПР заготовки, ее перенос к прессу, укладывание в штамп, выведение руки робота из рабочей зоны - это первая фаза обслуживания требования в СМО. Штамповка заготовки - это вторая фаза обслуживания в такой системе. Захват отштампованного изделия, его вынос из рабочей зоны и сброс заготовки в тару - это третья фаза обслуживания. Если РТК состоит из "К" прессов, на каждом из которых установлен один штамп, из "2К" одноруких ПР или "К" двуруких ПР для загрузки и разгрузки прессов и "К-I" транспортеров, передающих полуфабрикаты между прессами, - это СМО из 4К-I фаз и т.п. Для анализа качества функционирования таких систем используются методы теории массового обслуживания.

Особенностью функционирования таких многофазных СМО является невозможность образования очереди из заготовок или полуфабрикатов перед всеми фазами, кроме первой, что определяется тем, что роботизированные системы работают, как правило, как жесткие синхронные автоматические системы. Процесс поступления заготовок в такие системы в общем случае имеет вероятностный характер и рассматривается как простейший пуассоновский поток требований с плотностью . Время обработки изделия в каждой фазе в общем случае также является случайной величиной и задается показательным законом. Системы рассматриваются как СМО с ненадежными приборами в каждой фазе, отказы которых происходят только во время работы оборудования. Поток отказов в каждой фазе из-за неисправности оборудования рассматривается как простейший пуассоновский. Время восстановления оборудования в каждой фазе задается показательным законом. Заданные условия функционирования роботизированных систем листовой штамповки позволяют отнести их к классу марковских моделей массового обслуживания с дискретными состояниями, непрерывным временем и однородным. Для описания случайных процессов, протекающих в таких системах используются вероятности состояний системы, для нахождения которых составляются и решаются системы дифференциально-разностных уравнений Колмогорова, имеющих вид

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^{n} \lambda_{ij} P_j(t) - P_i(t) \sum_{j=1}^{n} \lambda_{ij} , \qquad (1)$$

где λ_{ij} - плотность вероятности перехода из i состояния в j. Из всего многообразия различных по структуре и составу оборудования роботизированных систем листовой штамповки выделены четыре типа.

К системам I-ого и II-го типа отнесены системы, в которых допускается совместная работа только загрузочного и разгрузочного

оборудования, во время работы которых другие фазы системы свободны от обслуживания. К системам такого типа относятся трехфазные и четырехфазные РТК. Из таких РТК или модулей формируются РТЛ или ГПС многопереходной штамповки, т.е. системы которые имеют более сложную структуру. В этих более сложных по структуре системах оборудование отдельных модулей функционирует в последовательности работы оборудования РТК простой структуры, но сами модули могут функционировать в любом сочетании совместной работы отдельных модулей. Такие системы отнесены к структурам Ш-го и IУ-го типов.

Для анализа такие системы рассматриваются не как структуры, состоящие из ряда последовательно функционирующих простых фаз, а как структуры, включающие ряд субфаз и простых фаз, если это необходимо, причем каждая субфаза представляет эквивалентную по пропускной способности 3-х или 4-х фазную систему. В свою очередь субфазы могут быть объединены с простыми фазами, реализующими работу того или иного оборудования, входящего в состав системы или с другими субфазами в суперсубфазы, пропускная способность которых и другие характеристики должны соответствовать этому объединению. Такой подход позволяет осуществлять расчет характеристик обслуживания практически любой по структуре роботизированной системы листовой штамповки на основании соотношений, полученных для систем 4-х основных типов, не прибегая каждый раз к составлению и решению систем дифференциально-разностных уравнений вероятностных состояний обслуживания и надежности, что вызывает определенные трудности, связанные с тем, что при усложнении роботизированных систем листовой штамповки резко возрастает количество вероятностных состояний и, следовательно, количество соответствующих дифференциально-разностных уравнений таких состояний, а также с невозможностью получения общих решений из-за большого разнообразия таких систем. В результате анализа вероятностных состояний обслуживания и надежности и решения систем уравнений Колмогорова для стационарного состояния роботизированных систем листовой штамповки 4-х основных типов получены соотношения, позволяющие оценить вероятности занятости обслуживанием, вероятности отказов оборудования в соответствующих фазах систем, коэффициенты готовности систем, а также характеристики качества обслуживания таких систем, такие как относительная и абсолютная пропускная способность систем, коэффициенты загрузки фаз. Из-за ограниченности объема автореферата ниже приводятся соотношения, полученные для расчета аб-

солютной пропускной способности для систем 4-х основных типов, которая определялась как произведение плотности поступления заявок (заготовок) на обслуживание в систему на вероятность того, что обслуживание заявки происходит в последней фазе системы и на вероятность того, что во время обслуживания не произойдет отказ ни одного из приборов системы (вероятность того, что система будет исправна во время обслуживания).

Система I-го типа

$$A = \frac{2\lambda^2 \mu_1 \mu_2 (\mu_1 + \mu_2 + \lambda)}{(\mu_1+\mu_2)[(\mu_1\mu_2 + \mu_1\mu_3 + \mu_2\mu_3)\lambda + \mu_1\mu_2\mu_3 + \lambda^2\mu_3] + \lambda^2\mu_1\mu_3} \times$$
$$\times \frac{\nu_1\nu_2\nu_3(\nu_1+\nu_3+\nu_4)}{(\nu_1+\nu_3+\nu_4)(\nu_1\nu_2\nu_3+\gamma_1\nu_2\nu_3+\gamma_2\nu_1\nu_3+\gamma_3\nu_1\nu_2)+\gamma_4\nu_2(\nu_1^2+\nu_3^2+\nu_1\nu_3)} \quad (2)$$

Система II-го типа

$$A = \frac{\mu_1\mu_2\mu_3\lambda^2(\mu_1+\mu_4+\lambda)\nu_1\nu_2\nu_3\nu_4(\nu_1+\nu_4+\nu_5)}{У \cdot Z}, \quad (3)$$

где $У = (\mu_1+\mu_4)\mu_1\mu_2\mu_3(\mu_4+\lambda) + \mu_4\lambda(\mu_1+\mu_2+\lambda)(\mu_1\mu_2 +$
$+ \mu_1\mu_3 + \mu_2\mu_3) + \mu_1\mu_2\mu_3\lambda^2$; (4)

$Z = (\nu_1+\nu_4+\nu_5)(\nu_1\nu_2\nu_3\nu_4 + \gamma_1\nu_2\nu_3\nu_4 + \gamma_2\nu_1\nu_3\nu_4 +$
$+ \gamma_3\nu_1\nu_2\nu_4 + \gamma_4\nu_1\nu_2\nu_3) + \gamma_5\nu_2\nu_3(\nu_1^2+\nu_1\nu_4+\nu_4^2)$ (5)

Система III-го типа

$$A = \frac{\lambda M_1(M_1+M_2+\lambda)N_1N_2(N_1+N_2+N_3)}{(M_1+M_2)[\lambda^2+\lambda(M_1+M_2)+M_1M_2][(N_1+N_2+N_3)(N_1N_2+\Gamma_1N_2+\Gamma_2N_1)+\Gamma_3(N_1^2+N_1N_2+N_2^2)]} \quad (6)$$

Система IV-го типа

$$A = \frac{\lambda^2 M_1 M_2 (Д + Б + С + 1)K}{E(K + a_1 + a_2 + a_3 + 1 + b_1/N_1 + b_2/N_2 + b_3/N_3)}, \quad (7)$$

где $K = \frac{N_1+N_2+N_3+N_4+N_5+N_6+N_7}{\Gamma_7}$; (8)

$$a_1 = \frac{K\Gamma_6 + N_1}{N_2+N_5+N_6}; \quad (9)$$

$$a_2 = \frac{\kappa\Gamma_5 + N_2}{N_1 + N_5 + N_5}\ ; \qquad (10)$$

$$a_3 = \frac{\kappa\Gamma_4 + N_3}{N_1 + N_2 + N_4}\ ; \qquad (11)$$

$$b_1 = \kappa\Gamma_1 + a_3 N_2 + a_2 N_3 + N_6\ ; \qquad (12)$$

$$b_2 = \kappa\Gamma_3 + a_3 N_1 + a_1 N_3 + N_5\ ; \qquad (13)$$

$$b_3 = \kappa\Gamma_3 + a_2 N_1 + a_1 N_2 + N_4\ ; \qquad (14)$$

$$\Delta = \frac{M_1 + M_2 + M_3}{\Lambda}\ ; \qquad (15)$$

$$B = \frac{(M_2 + M_3)(M_1 + M_2 + M_3) + M_3\Lambda}{M_1\Lambda}\ ; \qquad (16)$$

$$C = \frac{[(M_2 + M_3)(M_1 + M_2 + M_3) + M_3\Lambda][(\Lambda M_1 + M_1M_2 + M_1M_3 + M_2M_3) + \Lambda M_2M_3(M_1 + M_2 + M_3)]}{M_1(M_1 + M_2 + M_3 + \Lambda)} +$$

$$+ \frac{\Lambda M_1[M_2(M_1 + M_2 + \Lambda) + M_3(M_3 + \Lambda)]}{M_1(M_1 + M_2 + M_3 + \Lambda)}\ ; \qquad (17)$$

$$E = \Lambda(M_1M_2 + M_1M_3 + M_2M_3)(C + B) + CM_1M_2M_3 + B\Lambda M_1^2 \qquad (18)$$

В соотношениях 2 + 18

λ ; Λ – плотности потоков заготовок на обслуживание в системы; μ_i ; M_i – плотности потоков обслуживания в i фазах систем; γ_i ; Γ_i ; ν_i ; N_i – плотности потоков отказов и восстановления оборудования в i фазах систем.

С целью оценки влияния надежности отдельных элементов, входящих в состав роботизированных систем листовой штамповки различных структур на надежность систем в целом, а также для проверки полученных соотношений для расчета вероятностных состояний надежности этих систем было проведено моделирование надежности РТК на ЭВМ за длительный срок эксплуатации (в течение года при двусменной работе). Моделирование осуществлялось на основе использования методов Монте-Карло применительно к системам массового обслуживания и планирования экстремальных экспериментов.

В связи с отсутствием практических данных по надежности РТК листовой штамповки на первом этапе было проведено моделирование

3-х и 4-х фазных РТК на основе известных статистических данных по наработке на отказ и времени восстановления ПР, прессов, штамповой оснастки и другого вспомогательного оборудования. Результаты моделирования таких систем были использованы для моделирования надежности более сложных структур, в которые они входят как подсистемы (субфазы). Всего было проведено более 3000 экспериментов. В результате проведения экспериментов на ЭВМ были получены адекватные оптимизированные модели взаимосвязи надежности систем в целом (средняя наработка на отказ) и надежности составляющих ее элементов или подсистем, а также такие показатели, как среднее количество отказов элементов, подсистем и систем в целом, их средняя наработка на отказ и интервал ее варьирования. Эти модели надежности роботизированных систем листовой штамповки в кодированных значениях факторов имеют вид:

1. трехфазная система однопереходной штамповки (субфаза)

$$Y = 3480{,}9 + 58{,}6X_1 + 41{,}44X_2 + 56{,}2X_3 - 165{,}3X_4 + 35{,}4X_1X_4 + 22{,}2X_2X_4 + 34X_3X_4, \quad (19)$$

где X_1 ; X_3 – наработка на отказ загрузочного и разгрузочного ПР; X_2 – наработка на отказ подсистемы пресс+штамп; X_4 – время восстановления оборудования;

2. четырехфазная система двухпереходной штамповки на однопозиционных прессах в выдвижных штампах (субфаза).

$$Y = 3432{,}74 + 57{,}55X_1 + 42{,}97X_2 + 24{,}6X_3 + 54{,}79X_4 - 198{,}57X_5 + 10X_1X_4 + 36{,}4X_1X_5 + 9{,}23X_2X_4 + 20{,}19X_2X_5 + 12{,}1X_3X_5 + 27{,}86X_4X_5, \quad (20)$$

где X_1 ; X_4 – наработка на отказ загрузочного и разгрузочного ПР; X_2 – наработка на отказ подсистемы пресс+штампы; X_3 – наработка на отказ механизма перемещения штампов; X_5 – время восстановления оборудования;

3. субфазная система двухпереходной штамповки с простым магазином для заготовок без дополнительных средств передачи полуфабрикатов между субфазами.

$$Y = 30{,}59 + 46X_1 + 43{,}4X_2 - 214{,}4X_3 + 19X_1X_3 + 10{,}7X_2X_3, \quad (21)$$

где X_1; X_2 – наработка на отказ субфаз I-ого и 2-ого переходов;

X_4 – время восстановления оборудования субфаз;

4. субфазная система двухпереходной штамповки с автоматизированным магазином для подачи заготовок на позицию захвата ПР в I-ой субфазе или система с простым магазином типа стеллажа, и устройством передачи полуфабрикатов между субфазами.

$$У = 3168,7 + 24,64X_1 + 34,24X_3 - 359,6X_4 + 13,85X_1X_4 + 12,77X_3X_4 \quad , (22)$$

где X_1; X_3 – наработка на отказ субфаз I-го и 2-го переходов;

X_4 – время восстановления оборудования субфаз;

5. субфазная система трехпереходной штамповки с транспортными средствами передачи полуфабрикатов между субфазами

$$У = 2969,94 + 26,32X_1 + 24,84X_3 + 29,13X_5 - 477,68X_6 + 6,47X_1X_3 + 13,85X_1X_6 + 13X_3X_5 + 16,35X_4X_6 + 12,87X_5X_6 \quad , (23)$$

где X_1; X_3; X_5 – наработка на отказ субфаз I-го, 2-го и 3-го переходов; X_2; X_4 – наработка на отказ вспомогательного оборудования; X_6 – время восстановления оборудования.

В таблице I приведены показатели надежности роботизированных систем листовой штамповки по результатам статистических испытаний.

Таблица I

Вид системы	Среднее кол-во отказов всех элементов или подсистем системы	Средняя наработка на отказ системы, час	Интервал варьирования средней наработки на отказ системы, час
Трехфазная система однопереходной штамповки	I3I	23	3,5
Субфазная система двухпереходной штамповки без дополнительных средств передачи полуфабрикатов между субфазами	28I	I0,8	3,I
Роботизированная система двухпереходной штамповки в выдвижных штампах	I5I	22,I	2,92
Субфазная система двухпереходной штамповки с транспортной связью между субфазами	3I0	I0,2	0,925
Субфазная система трехпереходной штамповки с транспортными средствами передачи полуфабрикатов	447	6,65	0,85

Сравнение показателей надежности различных систем показывает, что наибольшей надежностью среди систем многопереходной штамповки обладают системы многопереходной штамповки на однопозиционных прессах.

На основе полученных математических моделей и результатах статистических испытаний на надежность разработана методика расчета характеристик качества обслуживания для роботизированных систем листовой штамповки практически любого типа.

3. РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

В 3-ей главе рассмотрены разработанные под руководством автора и внедренные на ряде предприятий страны автоматизированные системы листовой штамповки, которые отличаются от известных более совершенными структурами и по ряду технико-экономических показателей значительно их превосходят. Возможность разработки таких систем была основана на анализе и синтезе принципиально-структурных схем типовых роботизированных систем листовой штамповки, основу которых составляет последовательность технологического процесса, характеристики перемещения обрабатываемого объекта, а также движения рабочих и вспомогательных органов оборудования.

В результате анализа типовых структурных схем роботизированных систем листовой штамповки и их синтеза выявлены наиболее рациональные принципиально-структурные схемы. К таким схемам могут быть отнесены по критериям совершенства принципиально-структурных схем робототехнологические системы многопереходной штамповки на однопозиционных прессах. Подобные системы многопереходной штамповки на однопозиционных прессах впервые разработаны под руководством автора.

Разработаны системы 2-х видов.

Системы первого вида представляют собой РТК, в состав которых входит пресс, на котором осуществляются последовательно после смены штампов все технологические переходы изготовления детали; ПР, производящий загрузку-разгрузку пресса; листоподатчик, предназначенный для поштучной выдачи заготовок на позицию захвата их рукой ПР; укладчик деталей, предназначенный для складирования полуфабрикатов промежуточных переходов и последующей их выдачи на позицию захвата рукой ПР для укладки в штампы последующих технологических переходов после их установки на пресс. Системы целесообразно использовать для штамповки деталей крупных

размеров, отличающихся небольшими отклонениями в размерах исходных заготовок и промежуточных переходов, связанных общностью технологического процесса и возможностью осуществления всех операций на одном прессе. Две системы подобного типа были внедрены на Рижском вагоностроительном заводе для штамповки деталей вагонов электропоездов.

В системах второго вида многопереходная штамповка на однопозиционных прессах осуществляется в выдвижных штампах, которые последовательно вводятся в рабочую зону пресса специальными механизмами. Разработано несколько систем подобного вида: I – системы многопереходной штамповки мелких и средних по габаритам деталей из штучных заготовок, полосы или ленты в выдвижных штампах с линейной траекторией перемещения; 2 – системы многопереходной штамповки с круговой траекторией перемещения штампов из штучных заготовок. Системы включают прессы открытого типа усилием до 1000 кН включительно; различные устройства (магазины, полосоподатчики, руллонницы и т.п.) для складирования и подачи исходных заготовок на позицию захвата их рукой ПР или в штамп I технологического перехода; два или несколько ПР, которые обеспечивают загрузку и разгрузку штампов и перекладку полуфабрикатов из одного штампа в другой. Разработаны также системы, в которых предусмотрены автоматизированные склады для хранения штампов, оснащенные устройствами для смены и перекомплектации штамповой оснастки на прессе. Роботизированные системы для многопереходной штамповки в выдвижных штампах внедрены на заводе им. Орджоникидзе, г. Муром, Болошевском машиностроительном заводе, Рижском вагоностроительном заводе. Технико-экономические расчеты, а также опыт эксплуатации систем многопереходной штамповки в стационарных или выдвижных штампах на однопозиционных прессах показали, что такие системы обладают большей надежностью по сравнению с типовыми РТЛ аналогичного назначения, т.к. содержат меньшее количество прессов, ПР и вспомогательного оборудования, они занимают меньшие производственные площади, для их создания требуется значительно более низкий уровень капитальных затрат.

Исследование процессов загрузки-разгрузки крупногабаритных заготовок в пресса закрытого типа с помощью ПР показало, что возможность манипулирования руки ПР с крупногабаритной заготовкой в рабочей зоне пресса весьма ограничена, что связано с необходимостью соблюдения определенных условий при транспортировании таких заготовок в штамп, установленный на столе закрытого пресса.

Установлено, что при определенных соотношениях размеров стола пресса и размеров крупногабаритных заготовок большинство отечественных ПР по своим конструктивным параметрам не обеспечивают возможность загрузки-разгрузки закрытых прессов такими заготовками, что требует разработки специальных ПР для этих целей. Проблема загрузки-разгрузки крупногабаритных заготовок в пресса закрытого типа была решена путем разработки новых робототехнологических комплексов для многопереходной штамповки на базе использования специальных подвижных ПР с индивидуальным электромеханическим и перестальтическим приводом. Разработано несколько РТК такого типа. I - РТК многопереходной штамповки крупногабаритных заготовок на прессах закрытого типа, в которых штамповка последовательных технологических переходов осуществляется на одном прессе после смены штамповой оснастки. РТК I-ого типа являются универсальными автоматизированными системами, которые можно использовать для многопереходной штамповки крупногабаритных изделий любого типа. 2 - РТК двухпереходной штамповки, в которых штамповка последовательных технологических переходов осуществляется одновременно в штампах, установленных друг за другом на столе пресса в горизонтальной плоскости. РТК 2-ого типа можно использовать для двухпереходной штамповки крупногабаритных изделий, имеющих сравнительно небольшие поперечные размеры. 3 - РТК двухпереходной штамповки, в которых штамповка последовательных технологических переходов осуществляется одновременно в специальных штампах с рабочими позициями, расположенными друг над другом в вертикальной плоскости. РТК 3-его типа могут быть использованы для двухпереходной штамповки изделий с любыми продольными и поперечными габаритными размерами, но имеющими определенные ограничения габаритов по высоте. РТК 2-ого и 3-его типа, являясь менее универсальными по сравнению с РТК I типа, имеют более высокую производительность. Загрузка-разгрузка заготовок и изделий, а также перегрузка полуфабрикатов из одного штампа в другой в РТК 2-ого и 3-его типов осуществляется подвижными ПР, представляющими собой приводные управляемые тележки, снабженные захватными устройствами. РТК двухпереходной штамповки крупногабаритных изделий типа панелей теплообменников внедрен на Болошевском машиностроительном заводе, а также внедряется на заводе лабораторных печей, г. Утена для штамповки деталей типа панелей облицовки.

4. РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗАХВАТНЫХ УСТРОЙСТВ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

В 4-ой главе рассмотрены конструкции оригинальных вспомогательных устройств, разработанных для робототехнологических систем многопереходной штамповки в стационарных и выдвижных штампах на однопозиционных прессах. Использование этих устройств позволяет повысить эффективность функционирования систем. К ним относятся:

1. Многофункциональные шиберные питатели, принципиально отличающиеся от обычных конструкций наличием дополнительного устройства для захвата и удаления из рабочей зоны в ориентированном положении отштампованного изделия, что позволяет заменить в составе робототехнологических линий многопереходной штамповки на ряде позиций промышленные роботы более простыми и производительными механизмами подобного типа. Это упрощает структуру линий, повышает их надежность и производительность.

2. Магазинные устройства для исходных листовых заготовок, снабженные механизмами принудительного отделения одной заготовки от стопы и их подачи в рабочую зону захвата ПР с одновременной смазкой их поверхности, в том числе магазинные устройства, в конструкциях которых реализован новый способ укладки листовых заготовок в стопу и отделения листа от стопы, предусматривающий при укладке ориентацию каждого листа в двух взаимно перпендикулярных направлениях, а при отделении сдвиг всех листов относительно стопы в одинаковом направлении. Такие магазинные устройства обеспечивают повышение надежности отделения одной заготовки и исключают возможность подачи нескольких заготовок в штамп.

3. Многопозиционные устройства для складирования полуфабрикатов промежуточных переходов и выдачи их на рабочую позицию захвата ПР, обеспечивающих возможность создания РТК многопереходной штамповки в стационарных штампах на однопозиционных прессах, ориентированного складирования отштампованных изделий, а также возможность компановки робототехнологических линий многопереходной штамповки по принципу несинхронных систем, отличающихся повышенными характеристиками надежности, и гибкой перестройкой таких систем в автономно функционирующие ячейки.

4. Магазинные устройства для складирования и смены штамповой оснастки для роботизированных систем штамповки в выдвижных

штампах, обеспечивающих возможность автоматической смены комплектов штампов, а также их перекомплектации при смене номенклатуры штампуемых изделий или последовательности технологических переходов, что позволяет повысить уровень приспособляемости систем к изменяющимся производственным условиям и сократить время переналадки систем на выпуск новой продукции.

5. Специальные подвижные ПР, выполненные в виде приводных тележек с захватными устройствами с индивидуальным пневмо или электромеханическим и перистальтическим приводом для загрузки-разгрузки штампов в несинхронных системах многопереходной штамповки, а также в системах штамповки крупногабаритных изделий на прессах закрытого типа, отличающихся от серийных ПР, более простой кинематической структурой, а, следовательно, и надежностью и имеющих по сравнению с ними значительно больший диапазон обслуживания.

6. Быстродействующие пневмоприводы для вспомогательных устройств роботизированных систем и ПР, осуществляющих загрузку-разгрузку прессов, в которых повышение быстродействия на 30-50% обеспечивается за счет использования эффекта уменьшения сил трения поступательного перемещения путем дополнительного поворота перемещающихся частей вокруг оси, совпадающей с направлением перемещения, следствием чего является уменьшение времени подготовительного периода, связанного с наполнением воздухом рабочей полости до давления, необходимого для начала движения поршня. Дополнительный поворот перемещающихся частей обеспечивается специальными серводвигателями, которые могут быть выполнены в виде поступательных или поворотных пневмоцилиндров, сопел Лаваля, дополнительных лопастей, устанавливаемых на торцах поршня, или механического привода.

7. Многофункциональные клещевые захватные устройства (ЗУ) ПР, обеспечивающие возможность без переналадки захват и транспортирование плоских заготовок, полых изделий и отходов, а также захватные устройства, обеспечивающие захват и транспортировку заготовок и полуфабрикатов с одновременной избирательной смазкой необходимых участков их поверхностей перед последующей штамповкой, благодаря наличию в губках ЗУ механизмов распыления смазки на поверхность транспортируемого объекта.

8. ЗУ ПР для захвата, транспортировки и укладки с асимметрией внутреннего или наружного контура, обеспечивающие сокраще-

МВТУ им. Н.Э. Баумана БИБЛИОТЕКА

№ 947789

ние цикла загрузки-разгрузки оборудования ПР за счет возможности ориентирования заготовок во время транспортировки, специальными механизмами, которыми снабжены ЗУ.

9. ЗУ ПР с электромагнитными захватными элементами и механизмами их вертикального перемещения параллелограммного типа для транспортировки плоских и объемных высоких изделий, позволяющие увеличить зону обслуживания специализированных ПР с относительно небольшими вертикальными перемещениями руки за счет использования механизмов перемещения захватных элементов, встроенных в ЗУ, а также обеспечить возможность увеличения запаса исходных заготовок в магазинных устройствах, типа стеллажей, что позволяет увеличить время непрерывной работы роботизированных систем между остановками для дозагрузки в магазины заготовок.

Конструкции электромагнитных захватных элементов, разработанных ЗУ имеют технологическую конструкцию, минимально возможные габариты и массу, обеспечивают надежное удержание объекта при захвате и транспортировании рукой ПР и исключают возможность магнитного сцепления тонколистовых заготовок между собой и заготовок и изделий с оснасткой. Это обеспечивается методикой проектирования таких элементов, разработанной в работе, основанной на анализе и экспериментальной проверке условий формирования оптимальных геометрических размеров магнитопроводов и электрических параметров электромагнитных катушек электромагнитных захватных элементов.

5. РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ РТК ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

В 5-ой главе рассмотрены новые технологические процессы и конструкции штампов для разработанных робототехнологических систем многопереходной штамповки, позволяющие расширить область их использования и повысить эффективность.

Существующие технологические процессы изготовления штамповкой полых деталей с фланцем с дном или без дна, с дополнительными отверстиями, ребрами жесткости, пуклевками, отбортовками и другими элементами на боковой поверхности включают большое количество последовательно выполняемых операций (от 4 до 15). Это не позволяет создавать для таких процессов надежно работающие роботизированные системы из-за необходимости включения в их состав большого количества прессов, вспомогательного оборудования и ПР.

Для преодоления этой проблемы разработаны технологические процессы и конструкции штампов, обеспечивающие возможность совмещения операций вырубки исходной заготовки из полосы или ленты, многократной вытяжки, пробивки отверстия в дне и отбортовки дна, а также совмещение операций обрезки фланца с операциями - обработки полых деталей с фланцем (формовки, пробивки отверстий и др.), что позволяет сократить количество технологических переходов при изготовлении таких деталей и создает реальные предпосылки для автоматизации процесса на основе использования ПР. На базе усовершенс зованной технологии изготовления полых деталей с фланцем для Рижского вагоностроительного завода модернизирована технология изготовления горловин бензобаков, включавшая 9 технологических переходов и разработана РТЛ, которая обеспечивает изготовление горловин в 3 технологических перехода. РТЛ включает два пресса усилием 630 кН. Для изготовления полых деталей без фланца разработаны штампы, в которых реализовано совмещение операций вытяжки полых деталей, в том числе малогабаритных, с одновременной обрезкой торца деталей и пробивкой отверстий в дне, если это необходимо. Использование этой технологии для модернизации технологических процессов изготовления деталей типа стаканов, являющихся заготовками муфт рукавов высокого давления на заводе "Металлорукав", г.Москва позволило сократить количество технологических переходов с 5 до 2 и разработать РТЛ двухпереходной штамповки для автоматизации их изготовления. Одним из препятствий для организации роботизированного производства штамповкой некоторых типов деталей является неустойчивость техпроцессов их изготовления. К таким деталям относятся крупногабаритные детали рической или криволинейной формы. Сложность вытяжки деталей сферической и криволинейной формы состоит в том, что большая часть материала между пуансоном и матрицей в процессе вытяжки не соприкасается с инструментом. Под действием тангенциальных напряжений заготовка при вытяжке может потерять устойчивость и образуются гофры на боковой поверхности. Для вытяжки таких деталей разработаны конструкции штампов, позволяющие упростить и повысить точность настройки прижимных устройств благодаря наличию прижима специальной конструкции, а также обеспечить возможность увеличения опорной поверхности фланца заготовки в процессе вытяжки, благодаря выполнению вытяжной матрицы в виде коаксиально расположенных обойм, взаимодействующих с механизмами их последовательного выключения в процессе вытяжки. Использование таких штампов

для вытяжки корпусов поплавков на Болошевском машиностроительном заводе позволило исключить образование гофров на фланце и боковой поверхности и обеспечило надежное использование оснастки в составе роботизированной системы. В ряде случаев при создании роботизированных штамповочных производств наиболее эффективной их формой являются системы, в которых реализована многопозиционная штамповка последовательных технологических переходов на однопозиционных прессах в сравнительно простых штампах, что позволяет уменьшить время штамповки на одно изделие, снижает уровень необходимых капитальных затрат. Для таких систем разработаны новые конструкции многопозиционных штампов для штамповки малогабаритных полых деталей с устройствами передачи полуфабрикатов между рабочими позициями и устройствами смены рабочих элементов штампов, а также двухпозиционных штампов с вертикально расположенными друг над другом рабочими позициями для двухпереходной штамповки крупногабаритных панелей, снабженных механизмами регулирования соотношения рабочих усилий и ходов в рабочих позициях. Штампы последней конструкции использованы в составе РТК двухпереходной штамповки панелей облицовки электропечей, разработанного для завода лабораторных печей, г. Утена.

Для систем многопереходной штамповки на однопозиционных прессах в выдвижных штампах с линейной или круговой траекторией их перемещения разработаны конструкции штампов для штамповки деталей из штучных заготовок, полосы или ленты. Их основной конструктивной особенностью является наличие пружинного привода для раскрытия штамповых блоков и отсутствие жесткой связи со столом и ползуном пресса. Штампы для штамповки из полосы или ленты дополнительно снабжаются клино-роликовыми захватами. Под воздействием пружинного привода раскрытия выдвижных штампов, а также упругого основания, с которым взаимодействуют нижние плиты штампов в рабочей зоне пресса, в момент раскрытия штампов после окончания штамповки в них происходят колебательные процессы, основные характеристики которых определяют устойчивость работы оснастки при их разгрузке ПР, а также устойчивость положения изделия в штампе. Была исследована динамика работы выдвижных штампов в рабочей зоне пресса при их раскрытии и проведена оценка их работоспособности.

Установлено, что стойкость выдвижных штампов в среднем

в I,5 - 4 раза выше стойкости штампов, стационарно закрепляемых на прессе. Конструкции разработанных выдвижных штампов внедрены в составе РТК многопереходной штамповки на Рижском вагоностроительном заводе, объединении "Эллар", г. Рига, Болошевском машиностроительном заводе, заводе им. Орджоникидзе, г. Муром.

6. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ МНОГОПЕРЕХОДНОЙ ШТАМПОВКИ

В главе 6 рассмотрена методика проектирования оптимальных роботизированных систем многопереходной штамповки, основанная на результатах теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в работе, а также комплексе конструкторских разработок новых роботизированных систем листовой штамповки, вспомогательного оборудования для этих систем и инструментальной оснастки.

Она включает следующие этапы:

- формирование номенклатуры деталей, закрепляемых за роботизированной системой на основании общности конструктивно-технологических признаков для совместной их обработки;
- разработку вариантов способов штамповки для деталей (детали) - представителей сформированной группы деталей с использованием как типовых технологий, так и новых технологических процессов, предложенных в работе;
- составление принципиально-структурных схем РТК для каждого варианта технологического процесса на основе представления их в операторной форме;
- синтез принципиально-структурных схем РТК для каждого варианта технологического процесса и отбор структур, отвечающих критериям совершенства принципиально-структурных схем;
- определение состава и технических характеристик основного и вспомогательного оборудования РТК и разработка планировки оборудования участка для наиболее совершенных по критериям совершенства принципиально-структурных схем;
- построение циклограмм работы оборудования для разработанных планировок РТК;
- расчет производительности и других показателей функционирования РТК листовой штамповки с учетом надежности основного и вспомогательного оборудования на основе методики, предложенной в работе, и выбор вариантов, обеспечивающих наибольшую произво-

дительность;

– расчет себестоимости обработки годового выпуска деталей для наиболее производительных систем и выбор оптимального варианта по критерию себестоимости.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

I. Анализ состояния автоматизации процессов листовой штамповки на основе использования ПР показал, что показатели ее эффективности (уровень себестоимости продукции автоматизированного производства, экономическая эффективность, надежность и производительность роботизированных систем, коэффициенты использования оборудования и сменности, уровень адаптации к изменяющимся производственным условиям, величина капитальных затрат) не удовлетворяют современным требованиям. Существующая технология и инструментальная оснастка не соответствуют условиям автоматизированного производства. Конструкции вспомогательных устройств роботизированных участков, ПР, осуществляющих загрузку-разгрузку оборудования, существующие структуры РТК, РТЛ и автоматизированных участков листовой штамповки не являются оптимальными. Отсутствует методика проектирования отдельных элементов и оптимальных роботизированных систем в целом.

2. Разработана новая методика проектирования оптимальных роботизированных систем листовой штамповки, основанная на результатах теоретических и экспериментальных исследований включающих:

– методы анализа и синтеза принципиально-структурных схем роботизированных систем, позволяющие осуществлять выбор наиболее рациональных структур ;

– комплекс решений математических задач функционирования роботизированных систем как многофазных систем массового обслуживания для оценки количественных показателей функционирования таких систем и их элементов в зависимости от входящего потока заявок (заготовок), потоков обслуживания в каждой фазе, надежности элементов и структуры систем;

– результаты экспериментальных исследований надежности роботизированных систем, полученные моделированием работы систем на ЭВМ в течении длительного срока эксплуатации, в результате которого получены модели, устанавливающие количественную взаимо-

связь надежности систем с надежностью составляющих элементов и позволяющие осуществлять стратегию комплектования роботизированных систем оборудования и оснасткой;

- результаты теоретических исследований процессов загрузки-разгрузки промышленными роботами крупногабаритных заготовок в пресса закрытого типа, позволяющие оценить возможности использования ПР с определенными конструктивными параметрами, установить оптимальные размеры ПР, проектируемых для закрытых прессов, а также оптимизировать размещение оборудования на участках роботизированных систем штамповки крупногабаритных изделий;

- динамические модели работы выдвижных штампов в рабочей зоне пресса, позволяющие осуществлять оценку основных характеристик колебательных процессов, происходящих в штампах и производить выбор характеристик жесткости упругих элементов приводов раскрытия штамповых блоков и упругого основания таких штампов;

- методику проектирования электромагнитных элементов захватных устройств ПР для листоштамповочного производства, позволяющую разрабатывать элементы с высокой надежностью удержания заготовок или изделий при транспортировании с высокими скоростями, без магнитного сцепления их между собой или с инструментальной оснасткой, обладающими минимальными габаритами и массой, технологичностью конструкции.

3. На основе использования методики проектирования оптимальных роботизированных систем разработаны и внедрены новые системы многопереходной штамповки на однопозиционных прессах в стационарных или выдвижных штампах, в том числе и для штамповки крупногабаритных заготовок, включающие в свой состав в зависимости от назначения оригинальные конструкции:

- магазинных устройств с механизмами принудительного отделения заготовок от стопы и их подачи в рабочую зону с возможностью нанесения на поверхность заготовок технологической смазки, обеспечивающих повышение надежности отделения и исключение возможности подачи в рабочую зону нескольких заготовок;

- многопозиционных устройств для складирования и выдачи полуфабрикатов промежуточных переходов, обеспечивающих возможность компановки робототехнологических линий многопереходной штамповки по принципу несинхронных систем;

- специальных, подвижных ПР с индивидуальным пневматическим, электромеханическим и перистальтическим приводом для загрузки-

-разгрузки прессов и передачи полуфабрикатов между рабочими позициями, отличающихся от серийно выпускаемых ПР более простой конструкцией, надежностью и быстродействием;

- магазинных устройств для складирования и смены комплектов штампов, обеспечивающих повышение уровня приспособляемости систем к изменяющимся производственным условиям и сокращение времени их переналадки на выпуск новой продукции.

Разработанные системы отличаются от известных конструкций более высокой надежностью, производительностью, гибкостью, занимают меньшие производственные площади, требуют меньшие капитальные затраты.

4. Для повышения быстродействия, расширения технологических возможностей ПР и других устройств, функционирующих в составе разработанных систем созданы новые конструкции:

- многофункциональных захватных устройств ПР, обеспечивающих возможность без переналадки захват и транспортировку плоских и объемных заготовок, изделий и отходов, а также захватных устройств, обеспечивающих смазку заготовок при их транспортировке в штамп;

- захватных устройств ПР для захвата, транспортировки и укладки в штамп заготовок и изделий с асимметрией внутреннего или наружного контура, обеспечивающих сокращение цикла загрузки-разгрузки оборудования ПР за счет возможности их ориентирования во время транспортировки;

- захватных устройств ПР для захвата и транспортировки крупногабаритных плоских и объемных заготовок и изделий, включающих электромагнитные захватные элементы, разработанные в соответствии с методикой проектирования таких элементов, предложенной в работе, и позволяющих расширить зону обслуживания специализированных ПР для листоштамповочного производства, обеспечить возможность захвата одной тонкостенной заготовки из стопы и надежность удержания при транспортировке с высокими скоростями;

- быстродействующих пневмоприводов, в которых повышение быстродействия на 30-50 % обеспечивается за счет использования эффекта уменьшения сил трения поступательного перемещения путем дополнительного поворота специальными серводвигателями перемещающихся частей вокруг оси, совпадающей с направлением перемещения, следствием чего является уменьшение времени подго-

товительного периода, связанного с наполнением воздухом рабочей полости до давления, необходимого для начала движения поршня.

5. Для расширения области использования разработанных роботизированных систем многопереходной листовой штамповки разработаны новые эффективные конструкции:

- штампов, обеспечивающих возможность реализации совмещения операций штамповки полых деталей с фланцем при многократной вытяжке на однопозиционных прессах; вытяжки полых деталей, в том числе малогабаритных с одновременной обрезкой торца; совмещение операций обрезки фланца с формовкой боковой поверхности полых деталей;

- штампов для штамповки крупногабаритных деталей сферической и криволинейной формы, позволяющих повысить устойчивость технологических процессов штамповки за счет практического исключения возможности образования гофров на фланце и боковой поверхности таких деталей;

- штампов для многопозиционной штамповки малогабаритных и крупногабаритных деталей на однопозиционных прессах, позволяющих повысить производительность роботизированных систем;

- выдвижных штампов, для реализации многопереходной штамповки из штучных заготовок, полосы и ленты на однопозиционных прессах, позволяющих, как показали проведенные экспериментальные исследования и опыт эксплуатации такой оснастки в производственных условиях, повысить стойкость штампов в 1,5 – 4 раза.

6. Представленные в работе конструкции и технологические процессы внедрены на отечественных машиностроительных заводах с фактическим экономическим эффектом 216 тыс.рублей, полученным в 1984--89 гг. На ряд конструкций и технологических процессов получено 42 авторских свидетельства на изобретения. За достижения в развитии народного хозяйства автор награжден одной серебряной, тремя бронзовыми медалями и дипломом лауреата ВДНХ.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

1. Семенов Е.И., Скородумов С.А., Крючков М.А. Применение промышленных роботов в листоштамповочном производстве // Прогрессивная технология приборостроения: Межвузовский сборник научных трудов. – М.: ВЗМИ, 1977. – С. 151-160.

2. Кузьмин М.П., Крючков М.А., Медник А.И. Исследование динамики патентования и прогнозирования средств механизации и ав-

томатизации листоштамповочного производства // Новое в обработке давлением: Межвузовский сборник научных трудов. - М.: ВЗМИ, 1977. - С. 90-98.

3. Автоматизация процесса листовой штамповки с помощью промышленных роботов / Е.И.Семенов, С.А.Скородумов, М.А.Крючков и др. // Обработка металлов давлением в автомобилестроении: Межвузовский сборник научных трудов. - М.: МАМИ, 1978. - С. 202-211.

4. Семенов Е.И., Скородумов С.А., Крючков М.А. об опыте разработки захватов промышленных роботов, используемых для автоматизации штамповки крупногабаритных деталей // Обработка металлов давлением в автомобилестроении: Межвузовский сборник научных трудов. - М.: МАМИ, 1978. - С. 191-202.

5. Семенов Е.И., Скородумов С.А., Крючков М.А. Структурный анализ и общие принципы конструирования механических захватов промышленных роботов // Промышленные роботы: Межвузовский сборник научных трудов. - М.: ВЗМИ, 1980. - С. 93-108.

6. Семенов Е.И., Скородумов С.А., Крючков М.А. Основные тенденции развития автоматизации кузнечно-штамповочного производства с использованием промышленных роботов // Промышленные роботы: Межвузовский сборник научных трудов. - М.: ВЗМИ, 1980. - С. 5-25.

7. Исследование возможности листовой штамповки крупногабаритных заготовок с использованием промышленных роботов / Е.И.Семенов, С.А.Скородумов, М.А.Крючков, Б.Сулейманов // Обработка металлов давлением в автомобилестроении: Межвузовский сборник научных трудов. - М.: МАМИ, 1980. - Выпуск 2. - С. 171-177.

8. Некоторые вопросы автоматизации листовой штамповки с использованием промышленных роботов / Е.И.Семенов, С.А.Скородумов, М.А.Крючков, Б.Сулейманов // Обработка металлов давлением в автомобилестроении: Межвузовский сборник научных трудов. - М.: МАМИ, 1980. - С. 178-190.

9. Построение роботизированного комплекса листовой штамповки с оптимальным расположением оборудования / Е.И.Семенов, С.А. Скородумов, М.А.Крючков, Б.Сулейманов // Кузнечно-штамповочное производство. - 1980. - № 8. - С. 18-24.

10. Разработка роботизированного комплекса листовой штамповки / Е.И.Семенов, С.А.Скородумов, М.А.Крючков, Б.Сулейманов // Сборник трудов НИИТАВТОПРОМа. - 1980. - С. 12-15.

11. Семенов Е.И., Скородумов С.А., Крючков М.А. Новое в автоматизации кузнечно-штамповочного производства с использованием промышленных роботов // Вестник машиностроения. - 1981. - № 1. - С. 55-57.

12. Крючков М.А., Мальцевский В.В. Вопросы обеспечения безопасности работы оборудования роботизированных технологических комплексов для холодной листовой штамповки // Вестник машиностроения. - 1982. - № 8. - С. 21-22.

13. Промышленные роботы в машиностроении / Е.И.Воробьев, М.А.Крючков, Е.И.Семенов и др. - М.: Машиностроение, 1982. - 32 с.

14. Автоматизация процессов изготовления деталей применительно к вагоностроению с помощью промышленных роботов: Отчет о НИР / ВНИИЦентр, рук. Е.И.Семенов, ответственный исполнитель М.А.Крючков. - № ГР. 81008035; Инв. № 02830015. - М., 1982. - 60 с.

15. Крючков М.А. Основные направления развития гибких производственных систем для листовой штамповки // Тезисы докладов на научной сессии ВМЭИ им. Ленина. - София, 1983. - С. 22.

16. Проектирование электромагнитных захватов промышленных роботов, используемых для транспортировки листовых ферромагнитных заготовок в технологических процессах холодной штамповки / Е.И.Семенов, С.А.Скородумов, М.А.Крючков, В.В.Мальцевский // Прогрессивная технология приборостроения: Межвузовский сборник научных трудов. - М.: ВЗМИ, 1983. - С. 102-119.

17. Семенов Е.И., Скородумов С.А., Крючков М.А. Проектирование захватных механизмов промышленных роботов // Труды 6-го Всемирного конгресса по теории машин и механизмов. - Дели, Индия, 1983. - Т.2. - С. 1090-1093.

18. Автоматизированные линии для многопереходной штамповки с использованием промышленных роботов / Е.И.Семенов, С.А.Скородумов, М.А.Крючков и др. // Автоматизация процессов обработки металлов давлением в автомобилестроении: Межвузовский сборник научных трудов. - М.: МАМИ, 1983. - С. 151-173.

19. Технологическое оборудование робототехнических комплексов холодной листовой штамповки / Е.И.Семенов, С.А.Скородумов, М.А.Крючков, М.Н.Суетина. - М.: НИИМАШ, 1984. - 71 с.

20. Разработка, изготовление и внедрение усовершенствованных роботизированных комплексов для изготовления деталей применительно к вагоностроению в условиях серийного производства: Отчет

о НИР / ВНТИЦентр, Рук. Е.И.Семенов, ответственный исполнитель М.А.Крючков. - № ГР. 01830017191; Инв. № 0383000156I. - М., 1984. - 45 с.

21. Автоматизация процессов изготовления штамповкой деталей холодильников и др. агрегатов на основе промышленных роботов: Отчет о НИР / ВНТИЦентр, Рук. Е.И.Семенов, ответственный исполнитель М.А.Крючков. - № ГР. 01823009643; Инв. № 0284006862. - М., 1984. - 66 с.

22. Степанский Л.Г., Крючков М.А. Расчет надежности и производительности робототехнического комплекса для холодной штамповки как системы массового обслуживания // Кузнечно-штамповочное производство. - 1984. - № 1. - С. 36-37.

23. Ver Semanov, S. Scorodumov, M. Kryuchkov. Transfer Lines for Multistep Sheet-Metal Stamping with Industrial Robots// Proc. I International Conference on Technology of Plasticity. - Tokyo, Japan, 1984. - V.1 - P. 466-470.

24. Автоматизированный комплекс для штамповки деталей с внутренней асимметрией поверхности / М.А.Крючков, С.А.Скородумов, Б.Сулейманов, М.П.Суетина // Обработка металлов давлением в автомобилестроении: Межвузовский сборник научных трудов. - М.: МАМИ, 1984. - С. 132-143.

25. Семенов Е.И., Скородумов С.А., Крючков М.А. Автоматизированный на основе промышленных роботов комплекс для двухпереходной штамповки // Проблемы создания ГАП для различных отраслей машиностроения: Материалы семинара. - М., 1985. - С. 136-141.

26. Крючков М.А., Артемов Ю.М., Скородумов С.А. Об опыте разработки штамповой оснастки для автоматизированных на основе роботов комплексов и линий листовой штамповки // Прогрессивная технология приборостроения: Межвузовский сборник научных трудов. - М.: ВЗМИ, 1985. - С. 3-17.

27. Крючков М.А. Автоматизация и механизация листоштамповочного производства // Ковка и штамповка: Справочник / Под ред. Е.И.Семенова. - М.: Машиностроение , 1985. - Т.1 - С. 326-351.

28. Вспомогательные устройства для роботизации процессов листовой штамповки и эффективность внедрения РТК / М.А.Крючков, Ю.М.Артемов, В.А.Поникаров и др. - М.:ВНИИТЭМР, 1986. - 40 с.

29. Гибкие производственные системы для листовой штамповки /М.А.Крючков, В.Я.Лагвешкин, В.А.Поникаров и др. - М.: ВНИИТЭМР, 1987. - 52 с.

30. Крючков М.А., Поникаров В.А. Повышение эффективности применения промышленных роботов в листоштамповочном производстве. - М.: ВНИИТЭМР, 1987. - 44 с.

31. Артемов Ю.М., Крючков М.А., Суетина М.П. Повышение быстродействия пневматического привода промышленного робота // Робототехника в приборостроении. - М.: ЦНИИТЭМ приборостроения, 1987. - С. 33-37.

32. Повышение быстродействия приводных устройств вспомогательного оборудования РТК листовой штамповки / Ю.М.Артемов, М.А.Крючков, Г.И.Крестникова и др. // Прогрессивная технология приборостроения: Межвузовский сборник научных трудов. - М.: ВЗМИ, 1987. - С. 12-15.

33. Крючков М.А., Поникаров В.А., Чистова Л.И. Оценка влияния производительности роботизированных технологических комплексов на эффективность их использования в процессах листовой штамповки // Технология, оборудование, организация и экономика машиностроительного производства: Экспресс-информация, выпуск 5. - М.: ВНИИТЭМР, 1987. - С. 8-13.

34. Крючков М.А., Крестникова Г.И., Суетина М.П. использование методов планирования экспериментов при моделировании гибких производственных систем на ЭВМ: Методические указания по выполнению курсовых и дипломных проектов для студентов специальности 0531 и 705. - М.: МИП, 1988. - 20 с.

35. Влияние технико-экономических параметров промышленных роботов на эффективность их использования / М.А.Крючков, В.А.Поникаров, Ю.М.Артемов и др. // Передовой производственный опыт и научно-технические достижения, рекомендуемые для внедрения: Информационный сборник. - М.: ВНИИТЭМР, 1989. - № 3. - С. 17-19.

36. Моделирование гибких производственных систем листовой штамповки / М.А.Крючков, Г.И.Крестникова, Ю.М.Артемов и др. // Математические методы в метрологии: Межвузовский сборник научных трудов. - М.: МИП, 1989. - С.119-129.

37. А.с. 527286 СССР, МКИ[2] В 25 J 15/00, B30B 15/32, В 21 Д 45/02. Приспособление к манипулятору для захвата и удаления полых деталей / Е.И. Семенов, М.А. Крючков и др. // Б.И. - 1976. - № 33.

38. А.с. 682392 СССР, МКИ[2] В 30 В 15/30, В 25 J 15/00, В 30 В 15/32, В 21 Д 45/02. Приспособление к манипулятору для захвата и удаления полых деталей / Е.И. Семенов, М.А. Крючков и др. // Б.И. - 1979. - № 32.

39. А.с. 869931 СССР, МКИ[3] В 21 J 13/10, В 25 J 15/00. Манипуляторы / Е.И. Семенов, М.А. Крючков и др. // Б.И. - 1981.- № 37.

40. А.с. 925624 СССР, МКИ[3] В 25 J 15/00, В 30 В 15/32. Устройство контроля захвата листовой заготовки рукой промышленного робота / Е.И. Семенов, М.А. Крючков и др. // Б.И. - 1982. - № 17.

41. А.с. 925625 СССР, МКИ[3] В 25 J 15/00, В 30 В 15/32. Захват руки промышленного робота / Е.И. Семенов, В.В. Мальцевокий, М.А. Крючков и др. // Б.И. - 1982. - № 17.

42. А.с. 1069921 СССР, МКИ[3] В 21 J 13/12, 3/00, В 21 Д 37/18. Клещевой захват / Е.И. Семенов, С.А. Скородумов, М.А. Крючков, Б. Сулейманов // Б.И. - 1984. - № 4.

43. А.с. 1166989 СССР, МКИ[4] В 25 J 18/04. Рука манипулятора / Е.И. Семенов, С.А. Скородумов, М.А. Крючков и др. //Б.И. - 1985. - № 26.

44. А.с. 1250454 СССР, МКИ[4] В 25 J 15/00. Схват промышленного робота / Е.И.Семенов, М.А.Крючков и др. // Б.И. - 1986. - № 30.

45. А.с. 1436309 СССР, МКИ[4] В 21 Д 43/18, В 30 В 15/30. Вакуумный захватный орган / Ю.М.Артемов, М.А.Крючков и др. //Б.И. - 1987. - № 39.

46. А.С. 1015973 СССР, МКИ[3] В 21 Д 22/30, 37/12, 43/00. Штамп для вытяжки и обрезки / Е.И.Семенов, М.А.Крючков и др. //Б.И. - 1983. - № 17.

47. А.с. 1031570 СССР, МКИ[3] В 21 Д 22/02. Штамп для вытяжки полых изделий / Е.И.Семенов, С.А.Скородумов, М.А.Крючков, и др. // Б.И. - 1983. - № 28.

48. А.с. 1138208 СССР, МКИ[3] В 21 Д 22/30. Комбинированный совмещенный штамп /Е.И.Семенов, М.А.Крючков и др. // Б.И. - 1985. - № 5.

49. А.с. 1184588 СССР, МКИ[3] В 21 Д 35/00. Комбинированный штамп / Ю.М.Артемов, М.А.Крючков // Б.И. - 1985. - № 38.

50. А.с. 1232333 СССР, МКИ[3] В 21 Д 22/30. Штамп для многопереходной вытяжки / Н.П.Шляхин, М.А.Крючков и др. // Б.И. - 1986. - № 19.

51. А.с. 1234006 СССР, МКИ[3] В 21 Д 43/00, 22/02. Устройство для многопереходной штамповки / Н.П.Шляхин, М.А.Крючков и др. // Б.И. - 1986. - № 20.

52. А.с. 1300318 СССР, МКИ[4] В 21 Д 22/30. Штамп для вытяжки / Ю.М.Артемов, М.А.Крючков, Е.С.Шкарев // Б.И. - 1987. - № 17.

53. А.с. 740360 СССР, МКИ[2] В 21 Д 43/24, В 30 В 15/30. Листоподаватель / Е.И.Семенов, М.А.Крючков и др. // Б.И. - 1980. - № 22.

54. А.с. 1480935 СССР, МКИ[4] В 21 Д 43/00. Штамп для многопереходной штамповки / М.А.Крючков, Ю.М.Артемов и др. // Б.И. - 1989. - № 19 .

55. А.с. 1058686 СССР, МКИ[3] В 21 Д 43/00, В 30 В 15/30. Устройство для отделения листовой заготовки от стопы и подачи ее в рабочую зону пресса / Е.И.Семенов, М.А.Крючков и др. //Б.И. - 1983. - № 45.

56. А.с. 1061899 СССР, МКИ[3] В 21 Д 43/24, В 30 В 15/30. Устройство для отделения листовых заготовок от стопы и подачи в рабочую зону машины - орудия / Е.И.Семенов, В.В.Мальцевский, М.А.Крючков и др. // Б.И. - 1983. - № 47.

57. А.с. 1065065 СССР, МКИ[3] В 21 Д 43/00, В 30 В 15/30. Способ укладки листов в стопу отделения листа от стопы и устройство для его осуществления / Е.И.Семенов, С.А.Скородумов, М.А.Крючков и др. // Б.И. - 1984. - № 1.

58. А.С. 774722 СССР, МКИ[3] В 21 Д 43/00. Автоматизированный комплекс для листовой штамповки / Е.И.Семенов, С.А.Скородумов, М.А.Крючков, Б.Сулейманов // Б.И. - 1980. - № 40.

59. А.с. 1013042 СССР, МКИ[3] В 21 Д 43/00, В 30 В 15/30. Автоматизированный комплекс для многопереходной штамповки /Е.И.Семенов, С.А.Скородумов, М.А.Крючков и др. // Б.И. - 1983. - № 15.

60. А.с. 1163942 СССР, МКИ[4] В 21 Д 43/00, В 30 В 15/30. Автоматизированный комплекс для многопереходной штамповки /Е.И.Семенов, С.А.Скородумов, М.А.Крючков и др. // Б.И. - 1985. - № 24.

61. А.с. 1163943 СССР, МКИ[4] В 21 Д 43/00, В 23 Ж 7/00, В 30 В 15/30. Автоматизированный комплекс для многопереходной штамповки / Е.И.Семенов, С.А.Скородумов, М.А.Крючков и др. //Б.И. - 1985. - № 24.

62. А.с. 1205972 СССР, МКИ[4] В 21 Д 43/00, В 30 В 15/30. Роботизированный комплекс для многопереходной штамповки / Ю.М. Артемов, М.А.Крючков // Б.И. - 1986. - № 3.

63. А.с. 1207576 СССР, МКИ[4] В 21 Д 43/00, В 30 В 15/30. Автоматизированный комплекс для многопереходной штамповки /М.А.Крючков, Ю.М.Артемов // Б.И. - 1986. - № 4.

64. А.с. 1219221 СССР, МКИ[4] В 21 Ж 13/02, В 30 В 15/02. Многопозиционное устройство для перемещения штампов на плите пресса /Ю.М.Артемов М.А.Крючков // Б.И. - 1986. - № 11.

65. А.с. 1230721 СССР, МКИ[4] В 21 Д 43/00, В 30 В 15/30. Роботизированная линия для многопереходной штамповки /Е.И.Семенов, М.А.Крючков и др. // Б.И. - 1986. - № 18.

66. А.с. 1230722 СССР, МКИ[4] В 21 Д 43/00, В 30 В 15/30. Роботизированный комплекс для листовой штамповки / Ю.М.Артемов, М.А.Крючков, Е.С.Шкарев // Б.И. - 1986. - № 18.

67. А.с. 1253699 СССР, МКИ[4] В 21 Д 43/00, В 30 В 15/30. Автоматизированный комплекс для листовой штамповки заготовок с внутренним асимметричным контуром / Е.И.Семенов, С.А.Скородумов, М.А.Крючков и др. // Б.И. - 1986. - № 12.

68. А.с. 1282946 СССР, МКИ[4] В 21 Д 43/00, В 30 В 15/30. Линия для штамповки деталей из листового материала /М.А.Крючков, Ю.М.Артемов и др. // Б.И. - 1987. - № 2.

69. А.с. 1316733 СССР, МКИ[4] В 21 Д 43/00, В 30 В 15/30. Линия для штамповки деталей из листового материала / М.А.Крючков, Ю.М.Артемов и др. // Б.И. - 1987. - № 22.

70. А.с. 1327725 СССР, МКИ[4] В 21 Д 43/00, В 30 В 15/30. Автоматизированный комплекс для штамповки крупногабаритных деталей / М.А.Крючков, Ю.М.Артемов и др. // Б.И. - 1987. - № 27.

71. А.с. 1344471 СССР, МКИ[4] В 21 Д 43/00, В 30 В 15/30. Автоматизированная линия для многопереходной штамповки /М.А. Крючков, Ю.М.Артемов и др. // Б.И. - 1987. - № 38.

72. А.с. 1516195 СССР, МКИ[4] В 21 Д 43/00. Автоматизированный комплекс для многопереходной штамповки крупногабаритных деталей / М.А.Крючков, Ю.М.Артемов и др. // Б.И. - 1989. - № 39.

73. А.с. 1581436 СССР, МКИ[4] В 21 Д 43/00. Автоматизированный комплекс для многопереходной штамповки крупногабаритных панелей / М.А.Крючков, Ю.М.Артемов и др. // Б.И. - 1990. - № 28.

Подп. в печать 26.03.91. Объем 2 п.л., тираж 100, заказ 104
Ротапринт ММП