

М 85788

Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской революции
и ордена Трудового Красного Знамени
Государственный технический университет имени Н.Э.Баумана

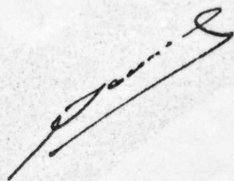
На правах рукописи

КОШЕЛЕВ Олег Сергеевич

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТОРСКИЕ МЕТОДЫ
УПРАВЛЕНИЯ СИЛАМИ В МЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕССАХ

Специальность 05.03.05 - Процессы и машины
обработки давлением

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



Москва 1992

Работа выполнена в Нижегородском ордена Трудового Красного Знамени политехническом институте.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Богданов Э.Ф.

доктор технических наук, профессор Власов О.Г.

доктор технических наук, профессор Еинов Л.И.

Ведущая организация - ПО ЗИЛ г.Москва

Защита состоится "27" мая 1992 г. в _____ часов на заседании специализированного совета Д 053.15.05 в Московском государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана по адресу: 107005, г.Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МТУ им. Н.Э.Баумана.

Ваш отзыв на автореферат, заверенный печатью, просим направить по указанному адресу.

Автореферат разослан "17" апреля 1992 г.

Сем

Семенов В.И.

M 85788

16. Бумага оберточная. Печать
з. Заказ 76. Бесплатно.

600, ГСП-41, г.Нижний Новгород,

8875488

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ. Формоизменение изделий на кривошипных прессах сопряжено с возникновением силового воздействия между составными частями системы заготовка - штамп - пресс - оператор. В связи с ростом массы изделий, получаемых на прессах, и приближением формы поковки (штамповки) к форме готовой детали все большее количество прессов работает на пределе своих возможностей. Увеличение мощности и технологических возможностей КПМ приводит к увеличению масс подвижных элементов: усложнению структуры механизмов, применяемых на них, что, в свою очередь, приводит к возникновению в период холостых ходов в элементах прессов нагрузок, сопоставимых с рабочими. Поэтому условия работы КПМ должны анализироваться и для холостого и для рабочего хода. Силовые взаимодействия в прессе могут являться причиной колебаний элементов системы, которые приводят к значительному снижению долговечности деталей оборудования, а на частотах, близких к элементам человеческого тела, и звуковых - к профессиональным заболеваниям и снижению комфортности труда.

Поэтому выявление причин возникновения сил в системе, характера их изменения, способов описания и моделирования, разработка методов (технологических, конструкторских и их синтеза) управления взаимодействиями, обобщение результатов многофакторных исследований в данном направлении является актуальным требованием времени.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. На базе принципов системного подхода разработать новые и обобщить существующие технологические и конструкторские методы управления силами в системе КПМ, разработать классификационную структуру методов, разработать методику силового, в том числе, динамического анализа системы, для чего создать способы, включая приближенные с заранее известной точностью, быстрой отработки силовой, математической, а при динамическом расчете и дискретной моделей, их оптимизация с целью выявления возможностей изменения сил в желаемом направлении и более полного определения ожидаемого поведения машины и влияния на это поведение.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. Создана классификация методов и предложены способы управления силами с помощью технологических и конструкторских мероприятий, позволяющих менять величину, закон

I

НИОПИТУ ИМ. Н. С. Баумана



1085788

Кошелев О.С. Технологичес



изменения, время действия или последствия, в том числе динамических сил на систему КПМ.

Для ускорения процесса отработки ДДМ в работе предложены приближенные методы, позволяющие проводить эту операцию быстро, с использованием сравнительно простых вычислительных средств. Погрешность расчета может быть определена еще до выполнения такового. Это позволяет в десятки раз уменьшить время, требуемое на расчет элементов машины.

В процессе выполнения исследований были:

- выявлены новые и уточнены известные факторы, влияющие на условия нагружения прессов: смещения результирующей силы, нагружающей систему пресса; влияние на нагружение системы пресса колебаний объема заготовки и его связь с характеристиками машины; непостоянство параметров машины в зависимости от изменения технологического усилия; зависимость технологического усилия от размещения детали в штампе, скорости деформирования, квалификации наладчика; выявлены специфические особенности изменения сил на ползунах ЛШП двойного действия;

- создан новый метод решения уравнений движения механической системы и определения величины сил, вызванных изменением движущихся масс, размеров, жесткостей и т.п., т.е. параметров звеньев. Метод позволяет управлять силой за счет изменения конструкции элементов прессов;

- разработан способ определения усилий деформирования при горячей объемной штамповке при ограниченном числе экспериментов;

- разработан способ описания зависимости усилия штамповки в функции пути деформирования или времени с использованием интеграла Фурье;

- разработан принципиально новый способ штамповки (в.с. № 576142).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. Теоретические исследования основывались на теории механических колебаний, теории ОМД, теоретических основах расчета деталей машин и ТММ. Экспериментальные исследования методом электрического тензотрирования проведены на 31 объекте, включая уникальные машины КШП усилием 63 МН, 40 МН, 16 МН; ГКМ усилием 20 МН, 12,5 МН, 12 МН; ЛШП усилием 9,5 МН тройного и 4/3,5 МН двойного действия; лонжеронные прессы усилием 85 МН и 40 МН. Эксперименты выполнены на основе метрологи-

ческой проработки с использованием аттестованных преобразователей, поверенной стандартной градуировочной техники и регистрирующей аппаратуры.

В работе защищаются:

- методы управления технологическими усилиями, классификация методов и способ описания математически в функции пути или времени деформирования технологических сил ;
- методы определения усилий, а значит и управления усилиями, возникающими в звеньях при движении, путем конструкторских изменений элементов пресса; классификация методов;
- метод создания и оптимизации с привлечением приближенных уравнений дискретных динамических и математических моделей.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ. Методы управления силами в прессах, разработанные в диссертации, дают возможность определять влияние статических и динамических сил на величину напряжений в различных элементах КМ, управлять ими, определять характеристики колебательных процессов в прессе в зависимости от условий его нагружения.

Результаты работы использованы в производственных объединениях ГАЗ и ГАЗО, а также в учебном процессе для студентов специальности ИЗО. Учетный экономический эффект от внедрения результатов исследований составил более 240 тыс.руб. в ценах до 2.04.91 г.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ И ПУБЛИКАЦИИ. Основные положения работы доложены на Всесоюзных в гг. Москве и Воронеже и Республиканских в гг. И.Новгороде, Уфе, Челябинске конференциях, научно-технических семинарах более чем в 8 докладах.

По результатам исследований опубликованы 43 работы, в том числе одно учебное пособие и 7 авторских свидетельств. 27 работ опубликованы в центральных издательствах.

Объем работы: Диссертационная работа изложена на 265 страницах машинописного текста с 82 рисунками и 47 таблицами. Кроме того, она включает в себя оглавление, список использованной литературы (256 наименований) и приложение. Основная часть работы состоит из введения, пяти глав и общих выводов.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В предисловии к работе показано, что элементы КПМ обладают недостаточной, не всегда предсказуемой долговечностью. Одной из главных причин этого является отсутствие методов, позволяющих описать спектр нагрузок, действующих в прессе и, как следствие ошибки в расчетах и в конструктивном оформлении машины.

Глава I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

В прессах формоизменение объекта обработки и работа механизмов связаны с энергосиловыми затратами. Это значит, что по элементам машины перетекают энергетические потоки, которые определяют поведение машины.

Эти потоки могут проявляться через силы или моменты сил перемещающиеся на некоторое расстояние в течение какого-то времени. Поэтому для определения поведения прессы в процессе выполнения технологической операции необходимо знать какие силовые воздействия возникают в элементах прессы, чем они вызваны и какими характеристиками должен обладать пресс, чтобы отреагировать на эти воздействия желательным образом, т.е. ответить на вопросы, представленные на блок-схеме, показанной на рис. I.

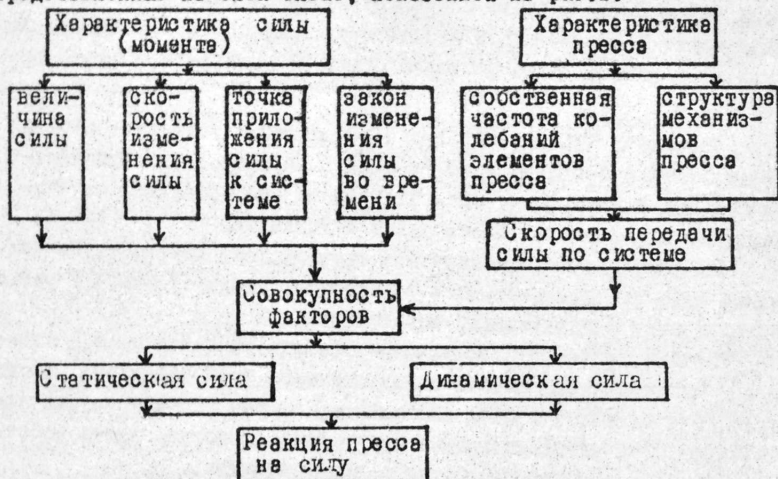


Рис. I. Факторы, определяющие реакцию прессы на приложенную силу

Выяснением условий формирования силовой картины нагружения пресса и анализом его поведения при выполнении различного рода технологических процессов занимались многие отечественные и зарубежные ученые. Достаточно сказать, что только в процессе написания данного обзора было изучено более 600 литературных источников, в том числе работы И.В.Афанасьева, Ж.Р.Бейбея, В.И.Власова, Ж.А.Даггерхарта, Л.И.Живова, И.А.Игнатова, Б.П.Кокоулина, Л.Г.Конев, Е.Н.Манского, И.Е.Морзе, Г.А.Навроцкого, Г.М.Родова, Н.Д.Стиварта, Г.М.Стойновского, Р.Т.Хинкла и др.

При изучении существующих методик определения технологических усилий анализировались работы: в области объемной штамповки – Э.Ф.Богданова, М.С.Додина, А.С.Журавлева, О.В.Залесского, И.С.Зелцера, К.К.Мертенса, Г.А.Навроцкого, Е.А.Попова, А.В.Ресельского, В.И.Семенова, Л.Н.Соколова, М.В.Сторожева, А.Д.Томленова и др.; в области листовой штамповки – Ф.Дохманна, В.Майджона, И.А.Поспелова, В.П.Романовского и др.

В результате анализа и обобщения литературных источников выяснено, что часть факторов, определяющих величину сил, изменять в условиях производства невозможно, другими – можно варьировать и, следовательно, силами можно управлять. К числу последних относятся факторы, показанные на рис.2 и 3.

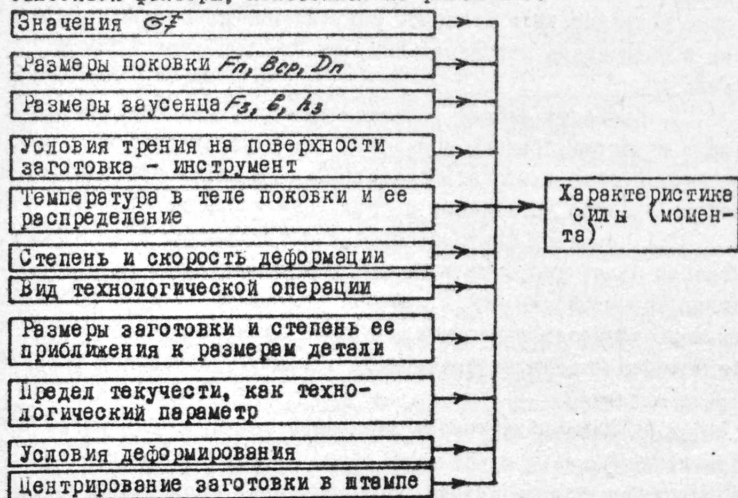


Рис.2. факторы, позволяющие управлять силами

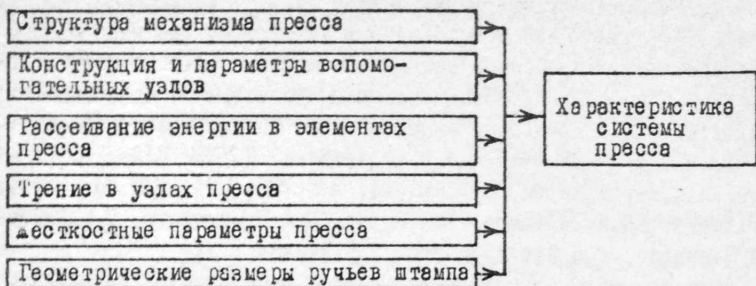


Рис.3. Факторы, позволяющие управлять параметрами пресса

Был проведен анализ возможных способов управления каждым из выделенных факторов. Мы остановились на пяти способах: 1 - изменение конструкции штампа; 2 - изменение конструкции пресса; 3 - изменение технологического режима (условий нагрева, последовательности переходов, методов штамповки и т.д.); 4 - разработка дополнительных приспособлений; 5 - изменение режима работы пресса.

Далее был проведен анализ способов влияния на каждый из факторов. Для того, чтобы предусмотреть меры по организации силовых воздействий в желаемом направлении на стадии проектирования и объяснения поведения КПП, необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ точности существующих методик расчета сил и выяснить причины появления сил в узлах пресса.

2. Проанализировать существующие и разработать вновь возможные способы управления силами. Для этого необходимо:

2.1. Выявить факторы, определяющие величину и скорость изменения силы, скорость и характер передачи силы по системе, условия формирования сил в системе и влияние их на технологические возможности и параметры пресса, возможности описания закона изменения силы математически в виде, удобном для использования в анализе.

2.2. Классифицировать указанные факторы. Для того, чтобы эта классификация могла быть использована в практических целях в основу классификации положить признаки, на которые можно влиять тем или иным способом.

5. Уточнить как отражается изменение силы на движении элементов системы, сформулировать условия отнесения сил к статическим или динамическим, поскольку опыт эксплуатации и анализ литературных источников позволяют утверждать, что поведение машины определяется величиной силы и характером ее изменения.

Глава 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИЛА В СИСТЕМЕ ЗАГОТОВКА - ШТАМП - ПРЕСС

При изучении технологического усилия процессы объемной и листовой штамповки рассматривались отдельно. Общие закономерности - объединялись.

Для того, чтобы систематизировать факторы, определяющие силу, детали группировались. В основу классификации поковок и штамповок положены признаки формы и размеров, т.е. геометрические. Причины такого подхода к классификации деталей подробно изложены в диссертации.

При рассмотрении процессов объемной штамповки по геометрическим признакам поковки были разделены на 7 групп. Из каждой группы выбраны представители. Штамповка поковок, за исключением 2-х групп, представители которых получались в экспериментальных штампах, осуществлялись в производственных штампах на различных предприятиях в разные годы.

При определении усилия штамповки анализировались известные типовые методики с соблюдением следующих особенностей:

- в формулы подставлялись размеры не с чертежа поковок, а фактически полученные при замерах размеров поковок;

- напряжение текучести σ_T для тела поковки и заусенца определялся отдельно;

- для уточнения результатов по стали 55ПП (материал ряда испытывавшихся поковок) было проведено специальное исследование механических свойств.

Для штамповки на ГММ выбирались только те поковки, для получения которых в конструкции штампа отсутствовали специально предусмотренные компенсационные полости (заусенец), матрица разъемна в поперечном направлении, а значит и податлива ее в значительной степени определяется жесткостными характеристиками машины. Поэтому излишняя масса заготовки ведет к увеличению технологического усилия. Кроме того, учитывались возможные варианты

штамповки на ГКМ, а именно:

- штамповка из прутка (представители в исследованиях - полуось автомобиля ГАЗ-24, муфта вторичного вала коробки передач автомобиля ГАЗ-51). Здесь излишек металла имеет возможность вытекать в сторону прутка;

- штамповка из штучной заготовки (блок шестерен коробки передач автомобиля ГАЗ-52, чашка дифференциала автомобиля ГАЗ-66). Здесь объем замкнут.

Известно, что температура штамповки существенно влияет на усилие деформирования. В работе установлена связь этого фактора с конструкцией поковки.

С целью определения влияния состояния штампа и прессы на усилие деформирования штамповка шатунов двигателей автомобилей проводилась в изношенных и новых штамповых вставках на одном прессе усилием 16 МН перед его капитальным ремонтом и сразу после ремонта; штамповка ведомой шестерни главной передачи - на двух разных прессах одного усилия и одного завода-изготовителя, штамповка полуосей и муфты первичного вала проводилась несколько раз на одних и тех же прессах после разного срока их эксплуатации в одном межремонтном периоде.

С целью изучения влияния конструкции штампа на усилие штамповки был изготовлен специальный штамп для получения деталей типа крестовин. Детали изготавливались из материалов ЛС59-І, Л63, АМц, АМг-2 и стали 20Х.

При изучении технологических усилий в процессах листовой штамповки детали были разбиты на три группы:

1. Крупногабаритные, кузовные детали сложной формы, штампуемые из сравнительно тонкого (до 0,8 мм) листа.

2. Детали сложной формы с удлиненной осью, штампуемые из толстого (6-8 мм) листа. Характерными представителями этой группы являются лонжероны грузовых автомобилей.

3. Сравнительно небольшие в форме коробочек детали, типа экранов радиоустройств.

Детали первой и второй групп штамповались в условиях ГАЗ при работе на программу в производственных штампах. В этом случае исследовались технологические усилия, возникающие при штамповке крыши автомобиля ГАЗ-66 на прессе тройного действия и деталей кузова автомобилей ГАЗ-24, ГАЗ-13, ГАЗ-53 на прессе

двойного действия. Штамповка проводилась при нескольких наладках пресса.

Особое значение для нагружения машины имеет скорость деформирования, поскольку она определяет скорость нагружения элементов пресса, а значит динамичность или статичность прикладываемого усилия. Исследование влияния скорости на усилие деформирования проводилось на кафедре ННПМ при штамповке-вытяжке деталей типа "коробочка" из заготовки размером 44x48 мм толщиной 0,5 мм. В качестве штампуемых материалов применялись сплавы АМг2М, Д6З и сталь 20. В опытах измеряли предельную высоту детали, при которой отсутствовали внешние признаки нарушения ее целостности. Исследования проводились на прессе, оснащенном коробкой передач, которая позволяла получать скорости деформирования от 0,034 до 0,228 м/с.

Надежность пресса определяется и стабильностью его нагружения, поскольку в этом случае возможно разработать какие-то узлы или другие мероприятия конструкторского плана, позволяющие исключить либо уменьшить вредные последствия возникающих сил. В работе установлен факт зависимости величины усилия штамповки от характера приложения нагрузки без изменения конструкции штампа.

Для проведения этого эксперимента был спроектирован и изготовлен пресс (в.с. № 301285), который позволяет в одном цикле делать разные по величине рабочие ходы. В результате предложен способ штамповки (в.с. № 576142), позволяющий увеличивать глубину вытягиваемого изделия до 35% по сравнению с традиционными методами вытяжки. Установлено, что введение определенной выдержки между ходами пресса без удаления полуфабриката из штампа повышает глубину вытяжки еще на 7-10%.

В результате исследования технологических усилий в процессах объемной и листовой штамповки установлено, что приемлемыми для аналитического определения деформирующих сил при штамповке на прессах являются методики М.В.Сторожева, Е.И.Семенова и Е.А.Попова, а при штамповке на ГЧМ - методика А.В.Ребельского. При использовании указанными методиками рекомендуется:

- при расчете усилия деформирования предел текучести штампуемого материала выбирать разным по зонам поковки;
- усилие штамповки сложных по конфигурации поковок находить в виде суммы усилий штамповки их элементов;

- усилие штамповки поковок типа зубчатых венцов, имеющих заусенец и тонкую выдру, рассчитывать по формулам, применяемым для поковок в форме балки.

Наряду с указанным установлено, что:

- усилие штамповки с толщиной заусенца связано нелинейной зависимостью;

- в формулы для определения усилий необходимо подставлять фактические, а не чертежные размеры поковок. Поэтому после отладки процесса надо проводить замеры размеров серии поковок и вносить коррективы в процесс. Это целесообразно делать и в процессе эксплуатации штампов, для того, чтобы контролировать их износ и условия нагружения пресса;

- при штамповке в замкнутом объеме из штучной заготовки судить о точности дозировки необходимо по массе поковки, а не заготовки. Объясняется это разным угаром, температурой нагрева и др.;

- при штамповке из прутка масса поковки определяется в первую очередь настройкой пресса и состоянием штампа;

- перегрузка пресса зависит от точности дозировки массы заготовки, жесткости машины, удельной массы штампуемого материала, геометрических параметров поковки и связана с ними зависимостью:

$$\rho = \frac{C_{пр} \cdot C_{пол} \cdot m_{изб}}{\delta \cdot (F_T \cdot C_{пол} + K \cdot C_{пр} \cdot F_D)}, \quad (I)$$

где $C_{пр}$ и $C_{пол}$ - соответственно коэффициенты продольной и поперечной жесткости пресса; F_T и F_D - торцевая и боковая поверхности поковки; δ - плотность штампуемого материала; $K = (P_D - P) / P_D$; P_D - сила по боковому ползуну; P - сила предварительной затяжки (сила между матрицами при отсутствии заготовки); P_D - сила по головному ползуну. Величина K определяется по методике, предложенной в работе; $m_{изб}$ - избыточная масса заготовки.

Таким образом, выбор пресса должен проводиться с учетом всей истории процесса.

Влияние температуры на деформирующую силу определяется и формой штампуемой поковки. Так, снижение температуры на 100°C для поковок дифференциала заднего моста грузового автомобиля

приводит к росту деформирующей силы в 2-2,5 раза, а снижение температуры штамповки на ту же величину для поковок типа крестовин - в 4-5 раз.

В работе на примере штамповки поковок шасси автомобиля разработана методика определения деформирующей силы по коэффициентам $K_{\text{вн}}$ влияния в зависимости от температуры по ограниченному количеству экспериментов. Сила может быть найдена по выражению:

$$P = K_{\text{вн}} \cdot t \quad (2)$$

Коэффициент ($K_{\text{вн}}$) влияния отражает особенности поведения материала в ручье штампа, в значительной степени определяется конфигурацией ручья, может характеризовать интенсивность нагружения деформируемого металла и полноту использования пластических свойств.

В процессе проведения исследований выяснено, что:

- при уменьшении размеров компенсационной щели деформирующая сила растет не прямо пропорционально размерам щели. Это сказывается на осевых и поперечных силах;

- деформирующая сила зависит от расположения отрошков на поковке (сверху или снизу). Расположение отрошков сверху приводит к падению силы в 1,2-2 раза;

- появление ряда поверхностных дефектов (например, зажимов) зависит от величины радиусов заходной части отрошков.

С силой связана и энергетика процесса. Она изучалась на всех поковках. Наибольший интерес представляют данные, полученные при штамповке шатунов двигателей автомобилей ГАЗ-12, ГАЗ-24 и ГАЗ-51. Визуальные по форме, условиям деформирования, конечным требованиям (весовые детали), они штампуются в разных штампах. Поэтому на примере штамповки их можно сделать ряд обобщений:

- износ штампа незначительно отражается на силовой стороне процесса (усилие снижается на 4-10%);

- при практически одинаковом построении технологического процесса, идентичных размерах ручьев штампа соотношения между усилиями в них различно. Так, на шатуне двигателя ГАЗ-51 усилие в чистовом ручье на 25-40% больше, чем в черновом; на шатуне двигателя ГАЗ-51-12 эта разница составляет 0-19%; на шатуне двигателя ГАЗ-24 усилие в чистовом ручье меньше усилия в черновом на 2-18%. По мере износа штампа эта разница уменьшается в

1,5-2 раза. Объяснить полученные результаты можно разницей в размерах заусенца и поведением ползуна прессы в процессе штамповки.

Приведем некоторые результаты, полученные при исследовании процессов штамповки 8-ми кузовных деталей различных автомобилей на ЛШП двойного и тройного действия. Величина сил в этом случае на главном и наружном ползунах различна. Остановимся на качественной картине распределения сил, которая остается постоянной и представлена на рис.4.

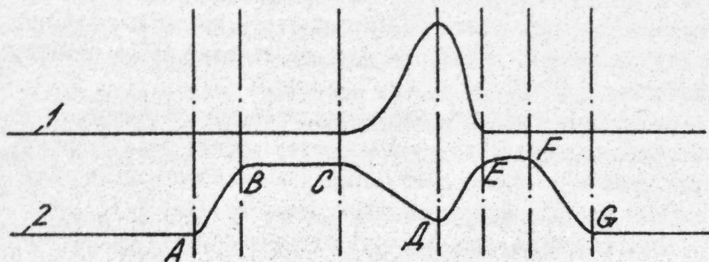


Рис.4. Обобщенная осциллограмма сил на ползунах прессы:
1 — головной ползун; 2 — наружный ползун

Уменьшение силы в точке "Д" относительно точек "С" и "Е" при штамповке деталей можно объяснить двумя причинами:

1) в момент выстоя наружного ползуна в период совершения технологической операции рычаги привода совершают некоторое перемещение относительно определенного положения и наружный ползун совершает незначительные перемещения в нижней положении;

2) в момент работы главного ползуна станина прессы в зоне штампа дополнительно нагружается растягивающей силой, что приводит к снижению силы на наружном ползуне.

Установлено, что основной причиной снижения усилия на наружном ползуне прессы является дополнительная деформация станины. Исходя из этого были сформулированы требования к жесткостной характеристике прессы.

Выяснено, что значения силы в точках В, С, Д, Е и F (см. рис.4), не остаются постоянными при переходе от штамповки одной детали к другой даже одного наименования и тем более при

12

переналадке прессы. Колебания силы по разным точкам составляют от 1,8 до 41,6%. "Сбор" силы по прижимному ползуну в точке "Д" может достигать до 90%. Это определяется формой детали, штампуемой на данном прессе и наладкой прессы.

Силовые условия формоизменения деталей второй группы исследовались на примере штамповки лонжеронов грузовых автомобилей на прессах усилием 35 и 40 МН.

Особое место в этом разделе работы было отведено изучению последствий переналадки прессов. При этом установлено, что:

- между максимальными усилиями по прижимному и главному ползунам отсутствует качественная и количественная связь;

- величина максимальной силы в зависимости от наладки прессы по главному ползуну колеблется в пределах от 2,5 до 39,7% по отношению к минимальному значению; по прижимному - от 23,4 до 38,6% в начале (точка "С") и от 7,3 до 85% (точка "Д") в конце процесса;

- между силами на прижимном ползуне в начале и в конце процесса штамповки существует качественная (но не количественная) связь;

- в целом для деталей одной формы наладчики стремятся обеспечить одинаковую качественную зависимость распределения сил по точкам подвески ползуна не всегда оптимально;

- в основном не соблюдается качественная связь между распределением сил в начале и в конце процесса вытяжки, хотя и здесь бывают нарушения;

- количественно силы по точкам подвески ползуна в зависимости от наладки прессы могут отличаться в 2,5 раза и более.

Результаты экспериментов на листоштамповочных прессах позволяют утверждать, что скорость деформирования оказывает влияние на величину силы. Для каждого штампуемого материала это влияние свое.

Сказанное не является новым, главное состоит в том, что практически отсутствуют методики, которые позволяли бы в зависимости от формы детали заранее предсказать направление и интенсивность изменения усилия. Вопрос важный при создании прессов, оборудованных многоскоростным приводом.

С целью выявления влияния закона изменения силы на технологический процесс в работе исследовался новый способ штамповки

(в.с. № 576142). Суть способа состоит в том, что заготовка деформируется с определенной скоростью на определенную глубину, затем процесс вытяжки прекращается и усилие с заготовки снимается, после чего процесс штамповки повторяется. В перерыве между нагружениями делается определенная временная выдержка. Выявлено, что при этом способе вытяжки усилие деформирования ниже, чем при традиционном.

Для всех материалов, применявшихся в экспериментах, новый способ позволяет увеличивать высоту вытягиваемого изделия от 9,2% до 42,5% в зависимости от скорости деформирования и штампуемого материала.

Одним из важных выводов, полученных при анализе процесса нагружения прессы, является положение о том, что на пресс помимо продольных усилий в процессе совершения технологической операции действуют поперечные силы.

Для исследования поведения поперечных сил была выбрана условная точка приложения результирующей силы, которая определялась следующим образом:

- тензометрированием замерялась величина силы на стойках и стяжных шпильках станины или элементах подвески ползунов прессы;

- по правилу равенства моментов в фронтальной и перпендикулярной ей плоскости прессы находилась точка приложения результирующей силы, нагружающей указанные элементы прессы. Установлено, что:

- 1) переналадка прессы изменяет скорость перемещения точки приложения результирующей силы в несколько раз;

- 2) скорость перемещения этой точки существенно отличается от скорости ползуна как в большую, так и в меньшую стороны. Причем, если на ЛШП средние значения скорости достигали 1,5 м/с, то на КГШП - 190 м/с и более;

- 3) по величине скорость перемещения точки приложения результирующей силы изменяется по гармоническому закону. Следовательно, она либо отражает колебательные процессы в прессе (это мнение предпочтительнее), либо является одной из причин этих процессов;

- 4) траектория движения в плоскости резъема не остается постоянной даже при получении деталей одного наименования;

5) для деталей, получаемых методами объемной штамповки, наблюдается перемещение точки приложения усилия в том направлении, в котором совершает колебания пресс после включения муфты и окончания процесса штамповки, т.е. направление перемещения определяется только прессом, штампом и их наладкой.

Для того, чтобы было возможно управлять усилием деформирования, а также для составления математических моделей и включения в этот процесс вычислительных машин необходимо иметь математические зависимости, описывающие кривые изменения силы в функции пути рабочего органа машины или в функции времени. Эти зависимости должны быть относительно простыми и удобными для использования в расчетах. Необходимо знать остается ли эта функция постоянной и если меняется, то в каких пределах и в зависимости от каких параметров системы. С целью выяснения этого были проведены исследования, суть которых состоит в следующем:

- выбирались типовые графики технологических операций;
- эти графики описывались с привлечением практического гармонического анализа и интеграла Фурье;
- по результатам исследований трех последовательно получаемых деталей определяли коэффициенты Фурье для кривых, описывающих изменение сил.

В результате доказано, что:

- работа системы заготовка - штамп - пресс - оператор, затрачиваемая на совершение технологической операции и деформацию отдельных элементов машины при неизменной схеме техпроцесса не зависит от настройки прессы (колебания 1,7-7,7%);
- работа деформации при штамповке поковок одного наименования в чистовом ручье практически не меняется (колебания 4,5-4,8%);
- в тех случаях, когда ручьи штампа спроектированы с большой разницей по энергетическим затратам на формообразование (значение коэффициента заполнения графика по ручьям отличаются в 1,4 раза и более) колебания работы деформации в черновом ручье могут достигать величины 43-54%.

Для механических прессов в качестве исполнительного чаще всего выступает звено, совершающее возвратно-поступательное движение (ползун). Сказанное выше позволяет утверждать, что задача определения пути, скорости и ускорения ползуна - одна из

важнейших при анализе условий нагружения машины. В работе предложена универсальная, не зависящая от вида механизма, методика определения этих параметров, а также метод пересчета зависимости сила-путь в зависимости сила-время и наоборот.

Результаты, полученные при исследовании прессов двойного и тройного действия, позволили изучить в первом приближении положение о постоянстве параметров машины в зависимости от условий деформирования в зоне штампа. В качестве исследуемого параметра была выбрана жесткость машины. Установлено, что изменение условий нагружения ведет к изменению параметров машины, изменение параметров машины к изменению условий нагружения и т.д.

Глава 3. ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ СИЛЫ В СИСТЕМЕ ЗАГОТОВКА - ШТАМП - ПРЕСС - ОПЕРАТОР

Надежность КПП в значительной мере определяется величиной сил, появляющихся в звеньях машины в период совершения ею холостых и вспомогательных ходов, в период трогания и остановки. Величина таких усилий сопоставима, а иногда и больше усилий, возникающих при совершении прессом собственно рабочих ходов.

Поэтому при создании пресса очень важно правильно распределить массы по машине, выбрать жесткостные и демпфирующие характеристики, уметь влиять на них с помощью оформления конструкции в нужном направлении. Последнее понимается как конструкторские методы управления силами в звеньях пресса.

При анализе и синтезе механизмов КПП приходится обычно решать задачи двух типов:

- создание такого закона движения, который бы обеспечивал желаемое распределение сил в механизме;
- определение сил, действующих в детали, в интересующем промежутке времени движения.

При решении этих вопросов механизмы условно разделим на две группы: 1. С жесткими звеньями; 2. С упругими звеньями.

Реально механизмов первой группы нет. Однако, существует большое число узлов машин, для которых на определенном этапе расчета упругими деформациями можно пренебречь. В других случаях - это начальный момент расчета.

При анализе механизмов первой группы нами было использовано общее уравнение движения механизма с переменной массой и

жесткими звеньями. Иногда это уравнение называют обобщенным уравнением Ньютона

$$m \frac{d^2 S}{dt^2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{dm}{dS} \cdot \left(\frac{dS}{dt} \right)^2 = P, \quad (3)$$

здесь m - масса звеньев, приведенная к рассматриваемому звену; S - перемещение звена; t - время перемещения; P - величина приведенных сил.

До недавнего времени не было способов решения в общем виде представленного уравнения. В работе предложен графоаналитический метод, позволяющий решать прямую (создание закона движения) и обратную (определение сил) задачи.

При использовании метода для решения прямой задачи задаемся качественной картиной распределения сил на исследуемом звене (закон изменения P). Имея структурную, а затем и конструктивную схемы механизмов (задаются и создаются проектировщиком) находим m и dm/dS . Затем выражение (3) решается относительно dS/dt или d^2S/dt^2 , которые связаны между собой определенным выражением. Поскольку вначале мы задались качественным законом распределения P , то и результат определения dS/dt или d^2S/dt^2 - качественный. В работе создана методика пересчета полученной качественной зависимости в количественную. При решении обратной задачи известными являются m и dS/dt . Определяются dm/dS , d^2S/dt^2 и затем $P=f(t)$ или $P=f(S)$.

В одном из промежуточных этапов при расчетах использовался метод графического дифференцирования, предложенный Г.В. Лебедевым, и создан новый метод, основанный на преобразовании получающихся зависимостей dS/dt и d^2S/dt^2 в линейные на отдельных участках изменения t или S и затем внутри этих участков проведении простейших математических вычислений.

При анализе механизмов с упругими звеньями использовалось уравнение Лагранжа:

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{\partial}{\partial V} \left(\frac{mV^2}{2} \right) \right] - \frac{\partial}{\partial S} \left(\frac{mV^2}{2} \right) + \frac{\partial W}{\partial S} = P. \quad (4)$$

При разработке способа решения этого уравнения учитывалась методика М.С. Комарова, в которой доказано, что первые два члена

уравнения сводятся к уравнению Ньютона. Была предложена методика определения третьего члена и решения уравнения в целом. Третий член уравнения Лагранжа после преобразований принимает вид:

$$\frac{P_A}{A} \cdot \delta_M^* \cdot \frac{dP_A}{dS} + \frac{1}{2} \cdot \frac{P_A^2}{A} \cdot \frac{d\delta_M^*}{dS} \quad (5)$$

здесь P_A - усилие сопротивления движению на исполнительном звене механизма; δ_M^* - податливость механизма.

В работе предложен метод определения податливости механизма и доказано, что для механических прессов она является функцией положения механизма.

Поскольку решение о виде (статическая или динамическая) силы должно приниматься в зависимости от результатов сопоставления скорости ее изменения с характеристиками системы, на которую оно действует, была разработана методика определения собственной частоты колебаний механизма в случае если он представляется в виде одномассовой системы (в следующей главе доказано, что это можно делать при соблюдении некоторых условий). Окончательное выражение для определения круговой частоты колебаний имеет вид:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \delta_M^* \cdot m} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \frac{\psi \pi}{16 \pi^2}} \right)}, \quad (6)$$

здесь ψ - относительное рассеивание энергии при колебаниях (выбирается по таблицам, представленным в работе); π - число демпфирующих элементов системы.

Демпфирование в механизмах в работе рассматривалось с позиций трения в шарнирах и направляющих главного механизма. Доказано, что сила трения может меняться в десятки раз, при колебательном процессе в машине она может иметь знакопеременный характер и в свою очередь приводить к появлению колебаний в машине, вызывая вторично генерируемые процессы.

Величина сил трения в направляющих ползуна в период штамповки зависит от усилия штамповки, ориентации ручья относительно оси ползуна, угла поворота эксцентрикового вала. Она может составлять до 18,4% от фактического усилия на ползуна. Минимальное относительное значение силы трения имеет место при максимальном усилии на ползуна прессы (2,1%). При подходе ползуна

к нижней мертвой точке величина сил трения падает. Это объясняется выравниванием ползуна в направляющих машины.

В работе рассмотрены и доказаны возможности изменения силы в прессе как за счет целенаправленного изменения кинематических параметров, так и за счет изменения кинематической схемы механизма, например, применения кулачково-рычажных и шестизвенных механизмов. Даны правила их синтеза с целью получения желаемых характеристик.

Глава 4. ДИНАМИЧЕСКАЯ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕССОВ

Проведенный в работе анализ способов управления силами в прессе позволяет утверждать, что важным становится решение вопроса о том в какую категорию (статическая или динамическая) сила падает до и после ее изменения.

Одновариантный анализ кривошипных прессов – неперемнная составная часть типовых проектных задач современной техники проектирования: параметрический синтез, оптимизация, структурный синтез.

Наиболее распространенным подходом к решению задачи одно-вариантного анализа является синтез математической модели (ММ) кривошипного пресса в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений, интегрирование ее.

Недостатком традиционного подхода является необходимость разработки новой ММ, а следовательно, и новой программы даже при незначительном изменении структуры объекта. Это требует создания большого количества программ анализе для различных структур.

Следовательно, на этапе получения динамической модели (ДМ) и ММ важными являются вопросы:

- создания ДМ по формальным признакам механизма или пресса, что дает возможность не учитывать опыт конструктора;
- ускорения и упрощения создания и решения ММ;
- определения устойчивости ДМ пресса;
- определения направлений изменения ДМ пресса;
- определения соответствия одному прессу постоянной ДМ и ММ и выяснение в зависимости от каких факторов они изменяются.

В работе на основании анализа литературных источников

предложен следующий алгоритм создания ДДМ по формальным признакам:

- на основании анализа кинематической схемы пресса определить направление силовых потоков и возможные направления деформаций;

- по местам перераспределения сечений, расположенных перпендикулярно силовым потокам; раскрывающимся при работе стыкам и сопряжениям (под раскрывающимися понимаются такие, на которых зависимость деформация - сила нелинейна), опасным сечениям расчленить пресс на элементы;

- оценить податливость элементов, находящихся между соседними или в членящем сечении. Элементы, имеющие податливость в десять и более раз меньшую по сравнению с соседними можно принять за "жесткие" массы; податливые элементы - за упругие. Если масса упругого элемента сопоставима с жесткой, то на данном этапе она учитывается в виде самостоятельной, если она мала - ее пренебрегают;

- представить полученную конструкцию в виде модели. В данном случае модель состоит из жестких масс и упругих элементов, соединяющих их;

- сопоставляя динамическую модель и конструктивные особенности пресса, а также учитывая положения, высказанные в работе, выделить в местах установки упругих элементов устройства, которые могли бы выполнять роль демпферов - стыки, сопряжения, узлы трения и т.д.;

- определить величину рассеивания энергии в каждом из демпферов и дополнить ими динамическую модель.

Использование предлагаемого метода приводит к появлению громоздких динамических моделей, которые должны затем максимально быстро упрощаться, т.е. начинается отработка и оптимизация ДДМ. В основе этого процесса известные положения о том, что движение системы из n -масс описывается дифференциальным уравнением $2n$ -го порядка, которое сводится к решению алгебраического характеристического уравнения (ХУ). В работе после многочисленных математических преобразований и статистической обработки их доказано, что коэффициенты ХУ могут быть построены по зависимости:

$$A_i = \sum_{\ell=0}^n C_n^\ell \cdot E_\ell \left\{ \sum_{k=0}^n [C_{n-k}^{2n-(A+2k+p+2q)} \times \right. \\ \left. \times D_\ell \sum_{\ell=0}^{n-1} \left(\prod_{j=0}^p \frac{k_\ell}{m_{\ell+1}} \cdot \prod_{i=0}^q \frac{c_\ell}{m_{\ell+1}} \right) \right\}, \quad (7)$$

т.е. это есть сумма сочетаний C_n^ℓ элементов типа $E_\ell = c_\ell/m_\ell$ или $E_\ell = (c_{\ell+1} + c_\ell)/m_\ell$ из n (число масс ДМ) по K . Каждое такое сочетание умножается на сумму сочетаний $C_{n-k}^{2n-(A+2k+p+2q)}$ из $n-k$ элементов типа $D_\ell = k_\ell/m_\ell$ или $D_\ell = (k_{\ell+1} + k_\ell)/m_\ell$ по $F = 2n - (A + 2k + p + 2q)$. В свою очередь, каждое сочетание умножается на произведение членов типа $c_\ell/m_{\ell+1}$ и $k_\ell/m_{\ell+1}$. Здесь k_ℓ , c_ℓ , m_ℓ - соответственно коэффициенты демпфирования, жесткости и масса ℓ -того элемента, образующего ДМ: k , q и p - целые числа, которые перебираются в любом возможном сочетании до тех пор пока соблюдается условие

$$F = 2n - (A + 2k + p + 2q) \geq 0, \quad (8)$$

A - степень неизвестного в характеристическом уравнении, при котором определяется коэффициент.

В предлагаемой методике коэффициенты носят блочную структуру. Структура блока определяется значениями k , p и q . При построении коэффициентов можно брать либо только $E_\ell = c_\ell/m_\ell$ и $D_\ell = k_\ell/m_\ell$, либо только $E_\ell = (c_{\ell+1} + c_\ell)/m_\ell$ и $D_\ell = (k_{\ell+1} + k_\ell)/m_\ell$ т.е. в принципе возможно получение двух типов ХУ, описывающих движение системы.

Доказано, что в двух алгебраических уравнениях одного порядка, коэффициенты которых построены по одинаковым или близким зависимостям, относительная разница корней может быть найдена до решения их по выражению:

$$\Delta = \left(\frac{A_{in} - A_{it}}{A_{in}} \right)^{1/(2n-A)}, \quad (9)$$

здесь A_{in} и A_{it} - соответственно коэффициенты при неизвестной в степени A в одном и другом уравнениях.

На основании этого предложено вместо действительного ХУ на стадии отработки ДДМ использовать приближенные уравнения, коэффициенты которых получаются по упрощенному выражению:

$$A_{in} = \sum_{i=0}^n C_n^k \cdot E_i \cdot \sum_{i=0}^n \left[C_{n-k}^{2n-(A+2k)} D_i \right]. \quad (10)$$

Достоинство предлагаемого уравнения в том, что оно получается из n уравнений, описывающих движение отдельной массы в ДДМ. Каждое из n уравнений имеет вид:

$$m_i \ddot{z}^2 + (k_{i-1} + k_i) \dot{z} + C_{i-1} + C_i = 0 \quad (11)$$

и с помощью современных средств вычислительной техники решается практически мгновенно.

На основании изложенного предложен и реализован алгоритм отработки ДДМ и ММ, показанный на рис.5.

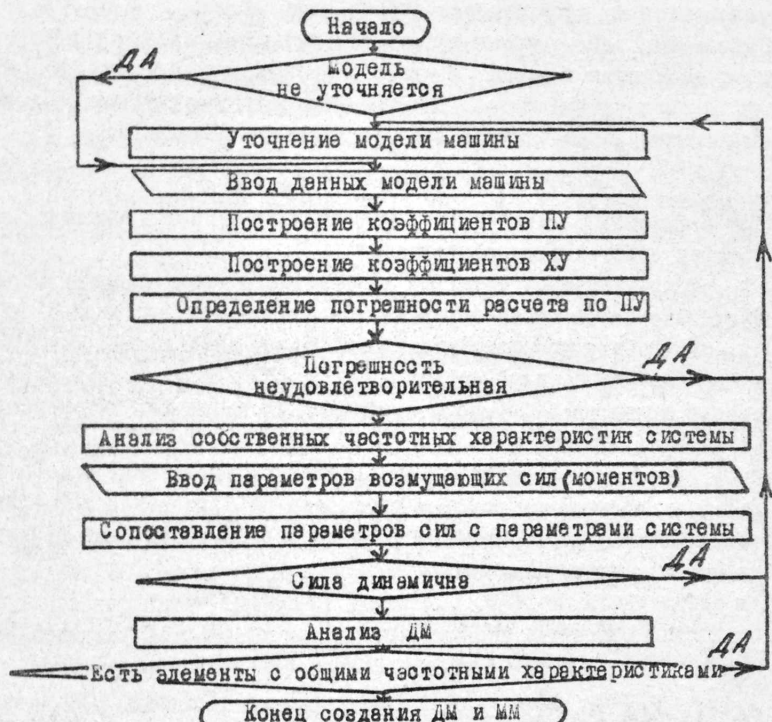


Рис.5. Укрупненная блок-схема алгоритма создания ДМ и ММ КПП с механическим приводом

Анализ схем 150 КПМ (механические прессы, ГКМ, ХВА) позволил сделать заключение о том, что ДМ удобно представлять в виде трех типов:

- с последовательным соединением масс (в крутильных системах - моментов инерции);
- с параллельным соединением масс (в крутильных системах - моментов инерции);
- комбинированные. Эти системы представляются как повторяющаяся некоторое число раз совокупность 2-х первых.

Такая классификация позволяет утверждать, что для создания любой ДДМ достаточно определить свойства и особенности компоновки ДМ двух первых типов.

Предлагаемая методика подробно проиллюстрирована на ДДМ с последовательным соединением масс.

На основе преобразований матрицы коэффициентов дифференциальных уравнений, описывающих движения масс системы, доказано, что она может быть представлена при анализе колебательных процессов в конкретном сечении в виде одномассовой динамической модели с переменной массой. За массу в этом случае принимается условная (приведенная) величина, которая получается методом, отличным от описываемых в ТММ. В этом случае изменение массы отражает только изменение кинетической энергии в системе и поэтому система может быть аналогом при замене многомассовой системы на одномассовую. Вместе с тем, поскольку это положение отличается от общепринятых, оно потребовало дополнительных экспериментальных исследований, которые и были выполнены.

В работе показаны способы определения отдельных составляющих одномассовой системы, описываемой представленными уравнениями.

В литературе, начиная с работ А.Н.Крылова в 1909 году, нет четкого разделения сил на статическую и динамическую. Поэтому мы считали за статическую силу такую, которая удовлетворяет двум условиям:

- после окончания действия силы в системе будут отсутствовать механические колебания и система не разрушится;
- при наличии силы система в своих движениях повторяет характер изменения силы.

Использование этих понятий позволило математическим путем

доказывать, что статическая сила может нарастать с ограниченной скоростью V_p , зависящей от собственной круговой частоты ω_0 колебаний системы.

Следовательно, при появлении "закрывающейся" внутри системы силы часть ее величиной $P = P_m \cdot V_p / V_p^{\Phi}$ (P_m - максимальная сила, V_p^{Φ} - скорость фактического нарастания силы) замкнется в системе, а часть, равная

$$P_0 = \left(1 - \frac{V_p}{V_p^{\Phi}}\right) \cdot P_m \quad (12)$$

будет передана в окружающее пространство или замкнется каким-то другим способом. Положение, которое необходимо учитывать при проектировании целого ряда узлов, например, - предохранителей прессов. Отсюда, учитывая, что деформационные процессы в системе могут распространяться двумя способами (деформация сосредотачивается в определенных элементах системы, практически не затрагивая остальных (ДДМ) и деформации распространяются по всем элементам системы (волновой процесс)), можно положить, что ДМ может выступать в виде: дискретной статической системы; дискретной динамической системы; распределенной динамической (волновой) системы; жесткого тела.

Границы перехода одной системы в другую условны, т.е. в каждом случае имеются и переходные системы. То насколько система дискретна или насколько она является распределенной или жестким телом можно судить по уравнению (12).

При построении ДМ величины параметров m_i , K_i и C_i , определяющих колебательный процесс, зависят от того, как было проведено членение системы на отдельные элементы. В работе показано в каком направлении необходимо вести доработку ДМ, если она этого требует.

В этой же главе разработана методика косвенной оценки динамических характеристик станин механических прессов.

Глава 5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ОСНОВНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ РАБОТЫ

В главе описаны эксперименты, проведенные с целью подтверждения или опровержения теоретических положений работы. При этом почти не затрагиваются вопросы технологического порядка,

поскольку эти эксперименты описаны в главе 2.

Экспериментальные исследования проведены на 4-х специально изготовленных моделях, 8-ми модернизированных прессовых установках в условиях лаборатории и 19 прессах в условиях действующего производства ГАЗ и Черниговского завода автозапчастей.

В процессе экспериментов подтверждена методика построения ДДМ; доказана нестабильность ДДМ; изучены основные характеристики трения в направляющих и шарнирах главного механизма прессов; изучены некоторые явления, связанные с термоэлектрическим эффектом в подшипниках; проверены и подтверждены основные положения, связанные с решением уравнений движения; проведено исследование КПД прессов и их жесткостных характеристик.

В исследованиях использовались стандартная поверенная аппаратура: электронные и шлейфовые осциллографы, задающий генератор частоты, 4-х и 8-ми каналные тензометрические усилители, образцовые манометры для гидронагружателей, тензорезисторы и пьезоэлектрические датчики, фотопирометры различных моделей, контактные термопары, коммутационная и соединительная арматура различных моделей.

НЕКОТОРЫЕ ОБОБЩЕНИЯ ПО РАБОТЕ

1. Показано, что блок-схема реализации задачи управления имеет вид, представленный на рис.6.

2. Можно выделить пять методов управления силами в системе заготовка - штамп - пресс - оператор:

2.1. Изменение конструкции штампа.

2.2. Изменение конструкции пресса.

2.3. Разработка дополнительных приспособлений как в штампе, так и в прессе.

2.4. Изменение технологического режима.

2.5. Изменение режима работы пресса.

В диссертации способы с 2.1 по 2.3 объединены условно под названием конструкторские методы и оставшиеся два - под названием технологические методы. В работе дана подробная расшифровка каждого из них.

3. Заготовка - штамп - пресс - оператор образуют единую систему, распадающуюся на подсистемы, в каждой из которых имеются изменяемые параметры, влияющие на поведение только подсистемы

или системы в целом. Такие параметры в работе выявлены.

4. В работе установлено на какой из параметров, каким методом можно влиять.

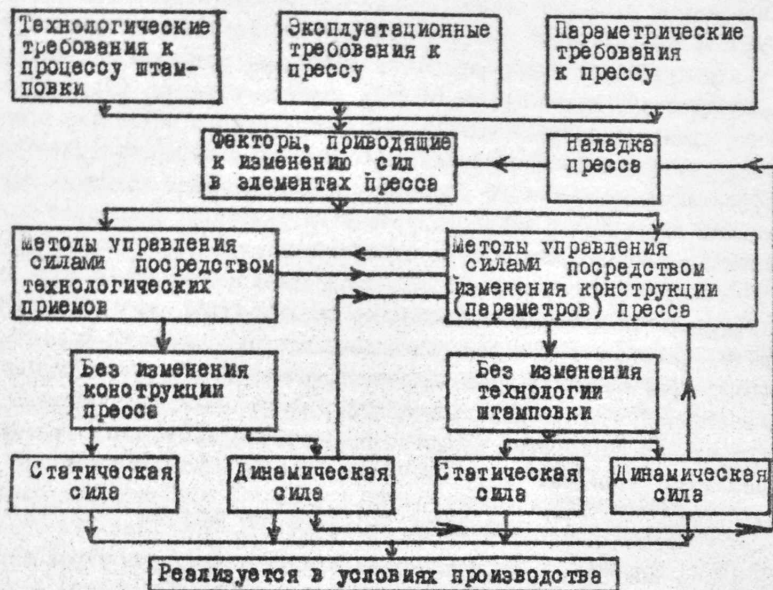


Рис.6. Блок-схема реализации задачи управления силами в системе элементов пресса

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. На базе многофакторных исследований гаммы систем заготовки - штамп - пресс - оператор разработаны научно обоснованные методы управления усилиями в КПМ, позволяющие уменьшить число отказов и повысить надежность работы прессов и тем самым ускорить технический прогресс в машиностроении.

2. В работе синтезирована классификационная структура сил, оперативное управление которыми реализуется с установленной точностью на основе обобщенного алгоритма, позволяющего быстро оценивать вид (динамическая, статическая) силы и принимать необходимые решения при отработке конструкции пресса.

3. методы управления силами в соответствии с классификационной структурой делятся на технологические методы:

- организация технологических процессов ОМД;
- выбор машин-орудий и их расположение в технологическом процессе;

- регулировка машин и инструмента.

Конструкторские методы, предусматривающие варьирование:

- конструкцией несущих частей пресса;
- конструкцией основных и вспомогательных узлов при сохранении способа штамповки;
- конструкцией основных и вспомогательных устройств с целью получения новых способов штамповки или их совершенствования;
- дополнительными элементами в конструкции прессы с целью расширения диапазона регулировки;
- конструкцией инструмента с целью оптимизации силового режима штамповки.

4. Разработаны методические основы динамического расчета кривошипных прессов, включающие: методику описания и определения технологических усилий, нагружающих пресс; методику определения параметрических усилий; методику построения и отработки дискретных динамических моделей (ДДМ).

5. При исследованиях в производственных и лабораторных условиях технологического усилия штамповки широкой номенклатуры поковок и штамповок на КГШП, ГШМ и ДШП установлено, что при расчетах потребных усилий деформирования необходимо учитывать широкий спектр требований, определяющих процесс на конкретном прессе, при конкретной наладке, технологической цепочке и состоянии инструмента. Эти требования накладываются на конструкцию машины, условия ее эксплуатации, ее место в технологическом процессе и позволяют при их выполнении обеспечить устойчивый режим работы прессы.

6. Создан научно обоснованный метод решения обобщенных уравнений движения для жестких и упругих механических систем, позволяющий определять величину сил в любом элементе машины.

7. Разработана методика определения потребного усилия штамповки с учетом изменения температуры заготовки с помощью ограниченного числа экспериментов.

8. Создана методика построения ДДМ, основанная на применении приближенных уравнений движения масс колебательной системы с определением заранее погрешностей замены ими точных уравнений, позволяющая ускорить процесс оптимизации ДДМ в десятки раз и применять более простую вычислительную технику, что особенно важно для систем оперативного управления машинами.

9. Создана методика определения границ существования и применимости ДДМ при расчетах, позволяющая предсказать необходимость и направление совершенствования модели, необходимость перехода на модели, отличные от ДДМ, а для ряда узлов (например, предохранителей) – надежность работы последних и если таковая не обеспечивается, то направление конструктивного и технологического совершенствования прессы или процесса.

10. Учетный экономический эффект от внедрения научно-технических разработок на ПО ГАЗ, ГАЗО составил 240 тыс. рублей в ценах до 2 апреля 1991 г.

По материалам исследований опубликовано 43 работы. Основное содержание диссертации отражено в работах:

1. А.с. 576142 СССР, М В21Д 22/02. Способ глубокой вытяжки / О.С.Кошелев, А.М.Шуляков. – Оpubл. 15.10.77. Бкл. Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки. 38. – 2 с.: ил.1.
2. Барыкин В.И., Кошелев О.С. Сопоставление методов расчета усилий штамповки на КШП // Кузнечно-штамповочное производство. – 1980. – № 10. – С. 7-10.
3. Барыкин В.И., Кошелев О.С. О нагружении системы пресс-штамп технологическим усилием в зависимости от ее состояния // Автомобильная промышленность. – 1984. – № 2. – С. 29-30.
4. Климов И.В., Кошелев О.С. Некоторые общие вопросы в аналитическом определении пути, скорости и ускорения ползуна отдельных механизмов // Современные проблемы ТММ. М.: Наука, 1965. – С. 172-176.
5. Кошелев О.С. Оптимальный дезаксиал кривошипно-шатунного механизма прессы // Вестник машиностроения. – 1968. – № 10. – С. 67-68.
6. Кошелев О.С. Аналитическое построение типовых графиков штамповки // Вестник машиностроения. – 1969. – № 3. – С. 67-69.

7. Кошелев О.С. Определение собственных частотных характеристик несущих частей открытых кривошипных прессов // Кузнечно-штамповочное производство. - 1971. - № II. - С. 23-27.
8. Кошелев О.С. Графо-аналитический способ решения некоторых уравнений движения // Известия вузов. Машиностроение. - 1975. - № 4. - С. 56-59.
9. Кошелев О.С. К вопросу о косвенной оценке "жесткости" станин открытых механических прессов // Труды Уфимского авиационного института. - 1975. - Вып.101. - С. 68-73.
10. Кошелев О.С. Расчет динамических нагрузок в кулачково-рычажных и сложных колено-рычажных (типа привода наружного ползуна прессов двойного действия) механизмах в период холостого хода. - Воронеж: ЭНИКМАШ, 1983. - 87 с.
11. Кошелев О.С. Определение динамических нагрузок в элементах КПО с механическим приводом. - Горький: Изд. ГПИ, 1984. - С. 1-99.
12. Кошелев О.С., Ключенков Л.Н. Особенности нагружения и долговечность ЛШП двойного действия // Автомобильная промышленность. - 1965. - № 9. - С. 25-26.
13. Кошелев О.С., Ключенков Л.Н., Грязнов Е.М. Влияние наладки на работу ЛШП двойного действия // Автомобильная промышленность. - 1987. - № 8. - С. 32-33.
14. Кошелев О.С., Шуляков А.М., Нестеров В.С. Некоторые особенности процесса вытяжки деталей коробчатой формы // Кузнечно-штамповочное производство. - 1975. - № 3. - С. 30-32.
15. Кошелев О.С. О влиянии усилия деформирования на параметры КШМ // Региональная научно-техническая конференция. Прогрессивная технология и инструмент изготовления деталей машин: Тез. докл. - Н.Новгород. - 1991. - С. 96.
16. Шуляков А.М., Кошелев О.С., Нестеров В.С. Штамповка точных поковок в штампах с разъемными матрицами // Кузнечно-штамповочное производство. - 1980. - № 5. - С. 38-39.
17. Шуляков А.М., Кошелев О.С. Изготовление точных поковок в штампах с разъемными матрицами // Вестник машиностроения. - 1986. - № 8. - С. 56-57.