

На правах рукописи

ВЫДАЕТСЯ

Крук Александр Тимофеевич

**РАЗРАБОТКА НАУЧНО ОБОСНОВАННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ
РЕШЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ТОЧНОСТИ ПОКОВОК,
СОЗДАНИЕ НА ИХ ОСНОВЕ И ПРОМЫШЛЕННОЕ
ВНЕДРЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ КРИВОШИПНЫХ
ГОРЯЧЕСТАМПОВОЧНЫХ ПРЕССОВ**

**Специальность 05.03.05 – Процессы и машины
обработки давлением**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Воронеж – 2006

Работа выполнена в ООО «Воронежстанкоинструмент-сервис»

Официальные оппоненты:

д. т. н, профессор Синицкий Владимир Михайлович

д. т. н, профессор Васильев Константин Иванович

д.т.н, профессор Кошелев Олег Сергеевич

Ведущее предприятие: ОАО ГАЗ (г.Нижний Новгород)

Защита состоится «18» X 2006 г. в 14³⁰ часов на заседании
диссертационного совета Д212.141.04 при МГТУ им.Н.Э.Баумана по адресу:
105005, г.Москва, 2-я Бауманская ул, 5.

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью,
просим выслать по указанному адресу.

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

Телефон для справок 267-09-63.

Автореферат разослан «04» 09 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
К.Т.Н., доцент

Семенов В.И.



Подписано к печати 21.06. 2006 г. Зак. 329 Объем 1.0 п.л. Тир.100 экз.
Типография МГТУ им.Н.Э.Баумана

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Широкое применение в промышленности материалов с особыми физико-механическими свойствами - высокопрочных, жаростойких и жаропрочных, коррозионно-стойких и тугоплавких материалов, которые в своем большинстве являются трудно деформируемыми и высокоэнергоемкими, определяет сложность изготовления поковок для изделий, увеличивает себестоимость их изготовления и создает проблемы обеспечения высокого качества. Особенно важным становится решение проблемы получения крупных точных горячештампованных поковок с массой свыше 50 кг. Данная проблема может быть решена широким внедрением в промышленность тяжелых кривошипных горячештамповочных прессов (КГШП) номинальной силой 63 – 160 МН и выше. Однако существующие конструкции и параметры КГШП не отвечают требованиям точности и качественной обработки современных материалов и энергетическим параметрам при обеспечении высокоэнергетических технологических процессов. Современные конструкции тяжелых КГШП не в полной мере удовлетворяют требованиям широкой автоматизации производственного цикла при получении крупногабаритных поковок изделий широкой номенклатуры.

Одна из основных задач заключается в проектировании тяжелых КГШП более совершенными, чем существующие и обеспечивающими выполнение прогрессивных технологических процессов. В противном случае любой пресс, несмотря на его высокие технические параметры быстро морально устаревает, даже если он спроектирован на современном уровне машиностроения. С этой целью должны быть применены при проектировании КГШП прогрессивные направления как в развитии машиностроения, так и в технологии кузнечно-штамповочного производства. Для тяжелых КГШП, имеющих большие расходы энергии при выполнении технологического процесса, важным показателем является эффективность его работы, определяемая затратами энергии за время машинного цикла. В связи с этим представляется существенным выявление возможностей снижения потерь энергии и повышения эффективной работы пресса как конструктивными решениями при создании пресса, так и условиями его эксплуатации.

Решение задачи повышения точности отштампованной поковки при создании тяжелых КГШП зависит от параметров технологического процесса и пресса. Повышение точности поковок увеличением жесткости тяжелых КГШП достигло предельных возможностей. Увеличение жесткости отрицательно влияет на технические и экономические показатели пресса, а при создании тяжелых КГШП ввиду больших габаритов и массы пресса создаются проблемы изготовления крупногабаритных деталей, сборки узлов пресса, а также транспортирования пресса заказчику.

Существующие методы проекторочных расчетов КГШП не в полной мере отвечают требованиям, предъявляемым при разработке и создании современных тяжелых КГШП. Многие параметры КГШП выбираются и рас-

считываются с использованием эмпирических и приближенных зависимостей, т.е. нет возможности принимать научно обоснованные решения, что существенно важно при создании тяжелых КГШП. Поэтому разработка научно обоснованных технических решений при создании современных тяжелых КГШП является актуальной проблемой, решение которой позволит создавать новое оборудование, обеспечивающее повышение эффективности кузнечно-штамповочного производства.

Работа выполнена в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2006-2008 годы)» по проекту РНП 2.1.2.8355).

Цель работы состоит в разработке научно обоснованных технических решений, создании на их основе и промышленном внедрении тяжелых кривошипных горячештамповочных прессов, что позволит получать точные крупногабаритные поковки из обычных, легированных и трудно деформируемых металлов и сплавов с заданными эксплуатационными свойствами с высокими энергетическими показателями работы пресса.

Для достижения указанной цели в работе поставлены следующие задачи:

- на основе анализа достижений отечественного и зарубежного прессостроения определить технические и экономические направления развития конструкций тяжелых КГШП;
- разработать экспертный анализ существующих и прогнозируемых параметров тяжелых КГШП, определить требования, предъявляемые к тяжелым КГШП и разработать новые конструкции тяжелых КГШП;
- установить взаимовлияние параметров пресса и технологического процесса на эффективность работы КГШП и точность штампуемых на нем поковок;
- установить влияние регулирования параметров пресса в процессе его работы на точность штампуемых поковок;
- осуществить промышленное освоение КГШП, исследовать их работу в производственных условиях;
- разработать показатели оценки технического и эксплуатационного уровня КГШП, размерный ряд и предложить научно обоснованные параметры в ГОСТ на КГШП.

Научное содержание и новизна работы состоит в следующем:

- установлены закономерности влияния конструктивных и эксплуатационных параметров пресса и параметров технологической операции на энергетические параметры пресса;
- в качестве оценки конструктивных и эксплуатационных параметров КГШП введено понятие и получено значение критической кинетической энергии пресса, которая включает затраты энергии на упругую деформацию пресса и трение в кинематических парах ГИМ при нагружении пресса номинальной силой, позволяющей оценивать затраты энергии при выполнении технологической операции;
- введено понятие относительной кинетической энергии пресса, определяющей эффективность использования энергии при выполнении технологической операции, значение которой определяется отношением номинальной энергии пресса к критической кинетической энергии. Рекомендовано для

КГШП принимать в проектных расчетах относительную энергию $\bar{T} \geq 10$, при которой кпд хода деформирования $\eta_0 > 0,8$ при силе в конце хода деформирования равной номинальной;

- установлено взаимовлияние жесткости пресса, кпд хода деформирования и энергетических затрат при выполнении технологической операции, определяемых коэффициентами потерь энергии, учитывающих конструкцию главного исполнительного механизма (ГИМ) пресса, конструкции и размеры кинематических пар и условий их работы;
- установлен интервал применения значений жесткости КГШП, нижняя граница которого определяется допустимыми потерями энергии при выполнении технологической операции во время хода деформирования, а верхняя граница определяется допустимыми значениями точности по высоте отштампованной поковки;
- получена научно обоснованная взаимозависимость жесткости пресса, точности отштампованной поковки и затрат энергии при выполнении технологической операции;
- установлена зависимость влияния параметров технологического процесса (температуры, массы заготовки и других параметров, влияющих на силу деформирования) на максимальный и допустимый диапазон отклонения размеров и на точность по высоте отштампованной поковки и влияние подрегулирования параметров пресса (закрытой высоты пресса) в зависимости от параметров технологического процесса на точность по высоте штампуемых поковок;
- научно обоснована необходимость разработки конструкций КГШП с переменными параметрами, обеспечивающих получение поковок заданной точности по высоте с учетом параметров технологического процесса подрегулированием закрытой высоты пресса, что обеспечивает повышение точности по высоте штампуемых поковок без увеличения жесткости пресса и штамповой оснастки;
- разработана много массовая динамическая и математическая модели тяжелых КГШП, что позволило уточнить условия работы элементов конструкции на этапах машинного цикла;
- разработаны модели единой трехмерной системы деталей тяжелых КГШП и штампового блока, их напряженно-деформированное состояние и контактное взаимодействие при внецентренном технологическом нагружении;
- разработаны показатели параметров и показатели сравнения КГШП, объединенные в шесть групп по силовым, энергетическим, геометрическим и экологическим признакам с учетом их значимости в зависимости от ранжирования на главные и вспомогательные показатели параметров.

Предметом защиты является:

- научно обоснованные технические решения по повышению точности поковок, создание на их основе и промышленное внедрение тяжелых кривошипных горячештамповочных прессов, позволяющие устанавливать взаимозави-

симулю связь конструкции, кинематических, жесткостных и энергосиловых параметров прессы с параметрами технологического процесса и точности по высоте отштампованной заготовки;

- совокупность теоретических зависимостей, положенных в основу определения энергоемкости, жесткости, эффективности процесса штамповки и точности по высоте отштампованных поковок;
- математические и динамические модели и результаты исследований динамики тяжелых КГШП на этапах машинного цикла;
- модели единой трехмерной системы деталей тяжелых КГШП и штампового блока, напряженно-деформированное состояние и модели контактного взаимодействия деталей единой системы КГШП и штампа при внецентренном технологическом нагружении;
- научно обоснованные перспективные конструкции тяжелых КГШП с изменяемыми параметрами в зависимости от жесткости прессы, температуры и массы штампуемой заготовки и точности поковки по высоте;
- результаты экспериментальных исследований реальных конструкций КГШП в производственных условиях;
- методика проектировочных и проверочных расчетов тяжелых КГШП номинальной силой 63-125 МН, размерный ряд тяжелых КГШП 63-160 МН и предложение в ГОСТ на КГШП;
- экспертный анализ существующих и прогнозируемых параметров тяжелых КГШП и показатели сравнения КГШП;
- производственно-технологическая и метрологическая база обеспечения качественного производства тяжелых КГШП.

Достоверность основных научных положений, выводов и рекомендаций обоснована соответствующими теоретическими доказательствами, базирующимися на фундаментальных физических законах и основах механики, результатах вычислительных экспериментов на математических моделях динамических моделей тяжелых КГШП, адекватность которых и обоснованность принятых допущений подтверждена экспериментальными исследованиями разработанных прессов в производственных цехах ЗАО «Тяжмехпресс» (ЗАО ТМП) и заказчиков при промышленной эксплуатации прессов с применением современных методов измерений механических и электрических величин.

Методы исследования. При теоретическом исследовании тяжелых КГШП применялось моделирование динамических процессов в системах прессов, представленных многомассовыми динамическими моделями и математическими моделями в виде систем дифференциальных уравнений на этапах машинного цикла, на этапах нагруточных и разгрузочных фаз хода деформирования при нагружении прессов нагружателями. Исследования проводились аналитическими и численными методами расчета с применением ЭВМ и программных комплексов МАКС и специализированного пост-процессора, программного комплекса динамических исследований ПА9, комплекса экспериментальных исследований «Hotinger».

Экспериментальные исследования проводились с использованием электрических методов измерения механических величин с применением тензорезисторов, современных приборов, электронно-усилительной и регистрирующей аппаратуры. Объекты исследований: опытный образец КГШП модели K04.086.851 номинальной силой 125 МН в период освоения; КГШП модели KSP-1200 номинальной силой 120 МН с клиновым приводом ползуна фирмы Ешмисо, работающий на КАМАЗе в составе автоматической линии по производству коленчатых валов и балок передней оси; КГШП 125 МН, изготовленный ЗАО ТМП и поставленный Нижегородскому автозаводу (АвтоГАЗ) в составе автоматической линии и др.

Практическая ценность работы:

- получены научно обоснованные технические решения по повышению точности поковок, позволяющие разрабатывать и эффективно внедрять в промышленность тяжелые кривошипные горячештамповочные прессы;
- разработаны методики проектирования и расчета тяжелых КГШП с учетом конструктивных особенностей прессы – параметров жесткости, затрат энергии на выполнение технологической операции и точности отштампованной поковки с учетом температуры и массы заготовки;
- разработана конструкция КГШП с изменяемыми параметрами при эксплуатации прессы, обеспечивающая получение поковок с заданной точностью с учетом параметров жесткости прессы, температуры и массы заготовки;
- разработаны, изготовлены и внедрены в промышленную эксплуатацию тяжелые КГШП – номинальной силой 63 МН, номинальной силой 80 МН и номинальной силой 125 МН, как в России, так и за рубежом;
- по результатам теоретического анализа разработан размерный ряд тяжелых КГШП и предложения в ГОСТ «Прессы кривошипные горячештамповочные», в основные параметры которых впервые включены: номинальная энергия хода деформирования, жесткость прессы, частота рабочих ходов ползуна с номинальной энергией, величина подрегулировки расстояния между столом и ползуном;
- разработаны научно-обоснованная методика проектного и проверочного расчетов тяжелых КГШП.

Реализация результатов работы:

- получены научно обоснованные технические решения по повышению точности поковок, которые нашли применение при разработке и создании тяжелых КГШП номинальной силы 63, 80 и 125 МН и позволили обосновать параметры размерного ряда тяжелых КГШП и разработать предложения в ГОСТ «Прессы кривошипные горячештамповочные»;
- внедрены в производство тяжелые КГШП– номинальной силой 63 МН (14 прессов), номинальной силой 80 МН (3 прессы) и номинальной силой 125 МН (8 прессов) как в России, так и за рубежом (США, Южная Корея, Мексика, Китай, Индонезия, Япония, Италия, Франция, Испания).
- выполнены проектные работы по созданию тяжелого КГШП номинальной силой 160 МН.

Апробация работы. Основные положения работы доложены и обсуждены на:

- заседаниях IV и VII научных сессий РАН по проблемам повышения эффективности технологических процессов в заготовительных производствах (МГТУ им. Н.Э.Баумана), апрель 1998 г., апрель 2001 г.;
- техническом совете ЗАО «Тяжмехпресс» 21 октября 1999 года;
- международных конференциях по ресурсосберегающим технологиям, оборудованию и автоматизации штамповочного производства (Тульский государственный университет), ноябрь 1999 г., октябрь 2004г.;
- заседаниях научного семинара кафедры МТ-6 МГТУ им. Баумана - декабрь 1999 г., октябрь 2003 г., июнь 2005г.

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 71 печатной работе, в том числе 10 авторских свидетельств и патентов на изобретения.

Структура и объем работы: диссертация состоит из введения, пяти глав и выводов, включающих 421 страницу машинописного текста, в том числе 181 рисунок, 53 таблицы, библиографический список из 297 наименований источников отечественных и зарубежных авторов и приложения. Общий объем работы 435 страниц.

Во введении обоснована актуальность работы, направленной на разработку и создание современных конструкций тяжелых КГШП, удовлетворяющих требованиям широкой автоматизации производственного цикла при получении крупногабаритных поковок изделий широкой номенклатуры. Сформулирована цель работы, определены научное содержание и новизна, практическая значимость, перечень положений, выносимых автором на защиту.

Первая глава посвящена анализу основных направлений развития конструкций КГШП отечественных и зарубежных производителей. Проанализированы конструкции механизмов регулирования параметров КГШП и дан анализ конструкций и тенденций развития тяжелых КГШП. Рассмотрены технические и экономические проблемы создания тяжелых КГШП. Рассмотрено состояние теории, экспериментальных исследований и методов проекторочного расчета КГШП.

Особенности конструктивных схем связаны с использованием принципиально различающихся главных исполнительных механизмов КГШП. Проведен анализ этих механизмов. Показана нецелесообразность дополнительных передаточных элементов в силовой цепи пресса и неэффективность дальнейшего наращивания жесткости КГШП сверх величин, достигнутых в конструкциях современных отечественных КГШП.

Анализ главных исполнительных механизмов КГШП, как основы конструкции, проведен с позиций устойчивости ползуна при его эксцентричном нагружении, жесткости системы пресс-штамп и затрат инвестиционного и эксплуатационного характера. Обоснована предпочтительность конструктивной схемы тяжелых КГШП с центральным кривошипно-шатунным механиз-

мом, имеющим два отдельных шатуна, с механизмом регулирования штамповой высоты, размещенным в ползуне, механизмом подрегулирования закрытой высоты пресса в процессе выполнения машинного цикла и с системой циркуляционной жидкой смазки всех подшипников главного исполнительного механизма.

Проведенный анализ современного состояния теории и методов расчета кривошипных прессов и, особенно, КГШП показал, что совершенствование известных конструкций КГШП и создание новых конструкций, удовлетворяющих возрастающим требованиям к их эффективности и надежности работы, повышения точности штампуемых поковок и технологичности изготовления прессов при увеличении их габаритов и массы представляют собой проблему большой практической значимости.

Основы аналитического расчета кривошипных прессов разработаны, в основном, трудами отечественных ученых и инженеров. Первые теоретические исследования по кривошипным прессам выполнены М.В. Сторожевым, по кривошипным горячештамповочным прессам и горизонтально-ковочным машинам И.И. Гиршем, по кривошипным гибочным машинам В.И. Залесским. Большой вклад внесли своими трудами в области исследования кинематических, динамических и энергосиловых параметров, систем управления и расчета кривошипных прессов А.Н. Банкетов, Э.Ф. Богданов, Ю.А. Бочаров, А.А. Боков, В.И. Власов, А.В. Власов, В.Ф. Волковицкий, В.Н. Горожанкин, Л.И. Живов, А.И. Зимин, А.А. Игнатов, Н.Н. Клеванский, Е.Н. Ланской, Н.Ф. Мартынов, Г.А. Навроцкий, А.Ф. Нистратов, А.Г. Овчинников, А.В. Сафонов, Е.И. Семенов, Е.Н. Складчиков, В.Н. Тынянов, И.Н. Филькин, Б.А. Чумаков и другие ученые и инженеры, результаты исследований которых способствовали развитию теории, методов расчета и внедрения в промышленность кривошипных машин.

Проведенный анализ работ выявил цели и требования, предъявляемые к расчетам кинематических параметров кривошипно-ползунного механизма, статическому расчету кривошипно-ползунного механизма, расчетам на прочность и геометрию зубчатых передач и допускаемых сил на ползуне, расчету эксцентриковых валов, расчету моментов инерций вращающихся частей привода, потерь энергии при холостом ходе пресса, главного электропривода, клиноременных передач, силовому расчету муфты и тормоза и наибольшей частоты их включений, расчету на прочность валов, осей, расчету уравнивателей, расчету станины, ползунов и шатунов, подшипников (качения и скольжения), механизма регулировки штамповой высоты и др. расчетам, выполняемым при проектировании.

На основании проведенного анализа сформулирована цель работы, установлены необходимые для ее достижения задачи исследования, определены научная новизна и практическая ценность работы, а также положения, выносимые автором на защиту.

Вторая глава посвящена теоретическим исследованиям КГШП. Выполнен анализ влияния параметров технологического процесса штамповки на

конструктивные схемы и конструкции КГШП. Проведено исследование влияния жесткости КГШП на точность штампуемых поковок, энергосиловые и геометрические параметры прессы. Выполнен анализ и дано обоснование способов повышения точности штампуемых поковок на КГШП с учетом параметров технологического процесса штамповки (температуры и массы заготовки). Проведено математическое моделирование и исследование динамического состояния прессов на этапах машинного цикла и математическое моделирование контактного взаимодействия и напряженно-деформированного состояния единой системы деталей КГШП и штампа.

Одним из важных параметров КГШП, назначаемых конструктором при проектировании, является приведенная жесткость (далее просто жесткость) прессы, определяемая жесткостью звеньев и кинематических пар КГШП. С целью определения влияния жесткости на энергетические параметры КГШП использована зависимость, устанавливающая связь между кинетической энергией T , израсходованной прессом на ходе деформирования, полезной работой деформирования A_∂ , потерями на упругую деформацию A_y звеньев и кинематических пар прессы и потерями энергии на работу трения A_T в кинематических парах прессы

$$T = A_\partial + A_y + A_T. \quad (1)$$

С учетом значений параметров A_∂ , A_y и A_T зависимость (1) можно представить

$$T = \int_0^{s_\partial} P_\partial(s) ds + \frac{P_\partial^2}{2 \cdot C} + a \cdot \left(\int_0^{s_\partial} P_\partial(s) ds + \frac{P_\partial^2}{2 \cdot C} \right) \quad (2)$$

где P_∂ - сила прессы в конце хода деформирования; s_∂ - ход деформирования; C - жесткость прессы;

$a = a_A + a_B + a_O + a_H$ - суммарный коэффициент потерь энергии на трение, зависящий от конструкции главного исполнительного механизма (ГИМ) прессы, конструктивного исполнения кинематических пар ГИМ и условий их работы (условий смазки, влияющих на коэффициент трения в кинематических парах):

$$a_A = \frac{1 + \frac{\lambda \cdot \sin \alpha}{\sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \alpha} - \lambda \cdot \mu_H \cdot \sin \alpha} \cdot \mu_H}{\sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \alpha}} \cdot (1 + \lambda) \cdot r_A \cdot \mu_A;$$

$$a_B = \frac{1 + \frac{\lambda \cdot \sin \alpha}{\sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \alpha} - \lambda \cdot \mu_H \cdot \sin \alpha} \cdot \mu_H}{\sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \alpha}} \cdot \lambda \cdot r_B \cdot \mu_B;$$

$$a_O = \frac{1 + \frac{\lambda \cdot \sin \alpha}{\sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \alpha} - \lambda \cdot \mu_H \cdot \sin \alpha} \cdot \mu_H}{\cos \alpha} \cdot \mu_O r_O;$$

$$a_H = \frac{\sin \alpha \cdot \sin(\alpha + \arccos \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \alpha})}{\sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \alpha} \cdot (\sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \alpha} - \lambda \cdot \mu_H \cdot \sin \alpha)} \cdot R \cdot \lambda \cdot \mu_H.$$

Коэффициенты потерь энергии на трение a, a_A, a_B, a_O, a_H зависят от угла поворота α эксцентрикового вала, параметров главного исполнительного механизма: радиуса эксцентриситета R , радиуса большой головки шатуна r_A , радиуса малой головки шатуна r_B , радиуса опорных поверхностей эксцентрикового вала r_O , параметра шатуна λ и условий смазки в соответствующих кинематических парах и направляющих ползуна, определяемых коэффициентами трения $\mu_A, \mu_B, \mu_O, \mu_H$.

Суммарный коэффициент потерь энергии может быть определен как $a = \frac{1 - \eta_m}{\eta_m}$, где η_m – механический КПД пресса. Суммарные потери энергии на трение

$$A_T = a \cdot \left(\int_0^{s_o} P_o(s) ds + \frac{P_o^2}{2 \cdot C} \right) = \frac{a}{1 + a} \cdot T \quad (3)$$

На рис.1 приведена диаграмма распределения энергий и работ при объемной штамповке, где составляющие потерь энергии на трение A_{To} и A_{Ty} соответственно пропорциональны полезной работе деформирования A_δ и работе упругой деформации A_y ,

$$A_{To} = a \cdot \int_0^{s_o} P_o(s) ds; \quad A_{Ty} = a \cdot \frac{P_o^2}{2 \cdot C}. \quad (4)$$

На рис.1 обозначены: 1 - полезная работа деформирования; 2 - работа упругой деформации пресса; 3 и 4 - потери энергии на работу трения от выполнения полезной работы деформирования и работы упругой деформации пресса; 5 - изменение энергии при упругой разгрузке пресса.

Кинетическая энергия, возвращенная подвижным частям пресса при упругой разгрузке пресса (5) и КПД хода деформирования (6)

$$T_{\eta} = A_m - A_{\eta m} = A_{\eta m} (1 - a) = \frac{P_o^2}{2C} (1 - a), \quad (5) \quad \eta_o = \frac{1}{1 + a} - \frac{P_o^2}{2CT_o}. \quad (6)$$

Важным энергетическим показателем КГШП является величина критической кинетической энергией $T_{УТН}$, которая необходима для нагружения пресса до номинальной силы P_H без выполнения технологической операции. Критическая энергия $T_{УТН}$ определяет затраты энергии только на упругую деформацию пресса и трение в кинематических парах ГИМ при нагружении пресса номинальной силой P_H

$$T_{УТН} = (1 + a) \frac{P_H^2}{2C}. \quad (7)$$

Величина $T_{УТН}$ определяет качество изготовления пресса и его жесткость.

Данный показатель определяет относительную кинетическую энергию пресса. Величины T_0 и КПД хода деформирования η_0 представлены в виде безразмерных относительных величин

На рис.2 приведен график изменения относительного КПД хода деформирования от величины относительной кинетической энергии пресса, расходуемой на ход деформирования.

При данных значениях P_0 и η_0 энергия, затрачиваемая на ходе деформирования

При заданных значениях T из (10) определяется жесткость прессы C

$$C \geq 5 \cdot (1 + a) \cdot \frac{P_H^2}{T} \quad (11)$$

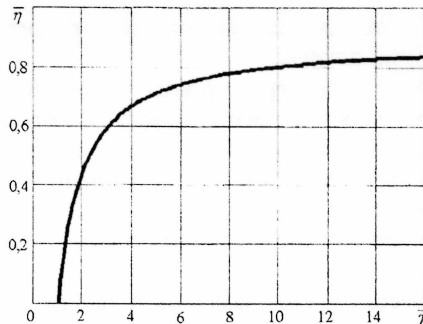


Рис. 2. Изменение относительного кпд хода деформирования от величины относительной кинетической энергии.

При штамповке на КГШП зависимость точности заданных размеров отштампованных поковок определяется многими параметрами, характеризующими технологический процесс и определяющих силу деформирования $P_d = f(t, V, \mu, R, e, \dots)$. Одним из параметров является сила деформирования заготовки в конце хода ползуна пресса. Основными факторами, влияющими на силу деформирования при выполнении технологического процесса, являются колебания температуры ($\Delta t^0 C$) и объема (ΔV) штампуемой заготовки. Меньше на силу деформирования оказывают влияние такие факторы технологического процесса, как условия смазывания (μ) штампов, шероховатость (R) рабочей поверхности штампа, точность центрирования (e) заготовки в штампе и некоторые другие факторы.

Отклонение размеров заготовок δ_1 и δ_2 от номинальной величины (рис.3), полученной при штамповке заготовки с номинальными значениями температуры $t_H^0 C$ и объема V_{oH} , определяется реальной температурой заготовки во время штамповки и объемом заготовки. При минимальных значениях температуры и максимальном объеме заготовки высота отштампованной поковки (с целью упрощения рисунка показана операция осадки) больше номинальной на δ_1 , а при максимальных значениях температуры и минимальном объеме заготовки высота отштампованной поковки меньше номинальной на δ_2

$$\delta_1 = \frac{P_{dm1} - P_{dmH}}{C}, \quad \delta_2 = \frac{P_{dmH} - P_{dm2}}{C} \quad (12)$$

где P_{dmH} - сила в конце хода деформирования при номинальном режиме штамповки при $t_H^0 C$ и V_{oH} ; P_{dm1} - сила в конце хода деформирования при $t_{min}^0 C$ и V_{o1} ; P_{dm2} - сила в конце хода деформирования при $t_{max}^0 C$ и V_{o2} .

Максимальный диапазон отклонения размера заготовки $\delta = \delta_1 + \delta_2$.

Величина возможного допустимого отклонения δ определяется величиной допуска Δ по высоте отштампованной поковки $\delta = \Delta/k_3$, где k_3 - коэффициент запаса, необходимый для получения гарантированного допуска Δ по высоте штампуемой поковки.

Получение точных размеров по высоте поковок возможно обеспечить при регулировании закрытой высоты пресса непосредственно перед ходом деформирования. Перед штамповкой заготовки диаметром D_H и высотой H_H (рис.3) закрытая высота пресса настраивается на получение заданного номинального хода деформирования S_{oH} и номинального размера отштампованной по высоте поковки при штамповке из заготовки с номинальным объемом и с номинальной температурой.

Жесткость пресса с учетом заданной точности

$$C = \frac{\Delta P_o}{\delta} = \frac{\Delta P_o}{\Delta} \cdot k_3, \quad (13)$$

где ΔP_o – изменение силы деформирования при отклонении δ высоты поковки.

Жесткость пресса может быть определена в интервале, обеспечивающем заданную точность поковки и высокий КПД хода деформирования

$$5 \cdot (1 + a) \cdot \frac{P_H^2}{T} \leq C \leq \frac{\Delta P_o}{\Delta} \cdot k_3, \quad (14)$$

При штамповке заготовки при температуре меньше номинальной $t_{min}^{\circ}C$ или больше номинальной $t_{max}^{\circ}C$ и объема заготовки больше номинального или меньше номинального V_{o1} (при H_{o1} и D_{o1}) (рис.3) ход деформирования S_{o1} и S_{o2} определяется упругой деформацией пресса. Для сохранения заданной высоты отштампованной поковки необходимо закрытую высоту пресса уменьшить на величину (рис.3)

$$e_1 = \frac{P_{ome1} - P_{omH}}{C} \quad (15) \quad e_2 = \frac{P_{om} - P_{o2e}}{C} \quad (16)$$

где P_{ome1} и P_{ome2} - максимальная сила в конце хода деформирования при уменьшенной и увеличенной закрытой высоте пресса.

Исследование точности штампуемых поковок на КГШП 80МН с подрегулированием и без подрегулирования закрытой высоты пресса выполнено с помощью программного комплекса анализа динамических систем ПА9, разработанного в МГТУ им. Н.Э.Баумана.

На рис.4. приведены диаграммы рабочих ходов без подрегулирования закрытой высоты пресса с обозначением параметров. Обозначения на рис. 4а: 1- регулировка перемещения ползуна, 2 – частота вращения электродвигателя привода, 3 – сила уравнивателя, 4, 5 - частота вращения и напряжение электродвигателя регулировки, 6 – момент муфты, 7 – перемещение ползуна, 8 – включение муфты, 9 – скольжение эксцентрика, 10 – технологическая сила, 11 – отклонение высоты поковки. Обозначения на рис. 4б: 1, 2 и 3 – отклонения высоты поковок на первом, втором и третьем ходах ползуна пресса.

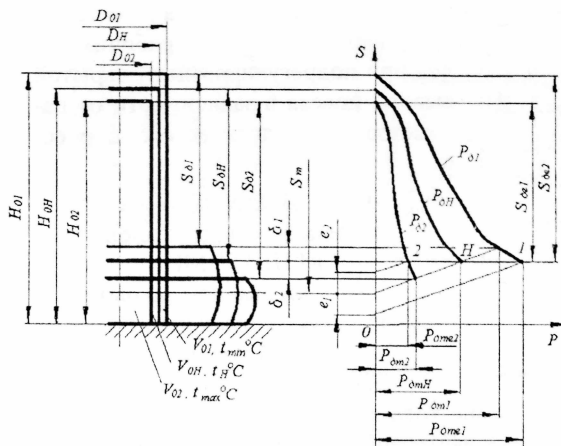


Рис. 3. График влияния параметров технологического процесса и жесткости кривошипного пресса на размеры поковки по высоте

Первый ход - деформирование заготовки с номинальной силой в конце хода деформирования, что определяется деформированием заготовки с номинальной температурой и массой. *Второй ход*

- деформирование заготовки с силой больше номинальной в конце хода деформирования, что определяется деформированием заготовки с температурой ниже номинальной и массой больше номинальной. *Третий ход* - деформирование заготовки с силой меньше номинальной в конце хода деформирования, что определяется деформированием заготовки с температурой выше номинальной и массой меньше номинальной. Высота поковки на втором ходе деформирования (при деформировании с силой больше номинальной) больше высоты поковки, полученной при номинальной силе деформирования. Высота поковки, полученной на третьем ходе деформирования (при деформировании с силой меньше номинальной), меньше высоты поковки, полученной при номинальной силе деформирования.

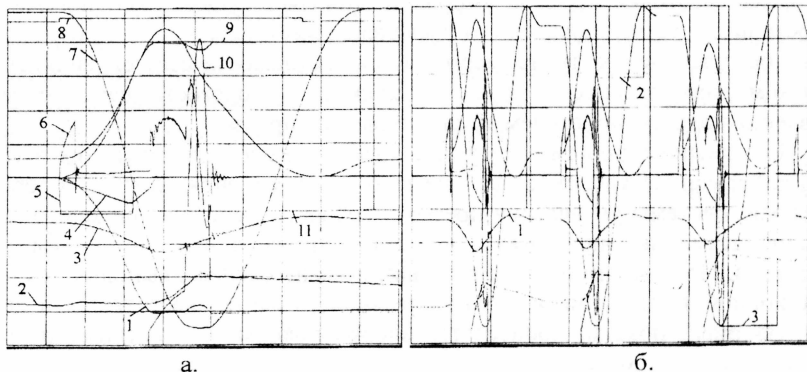
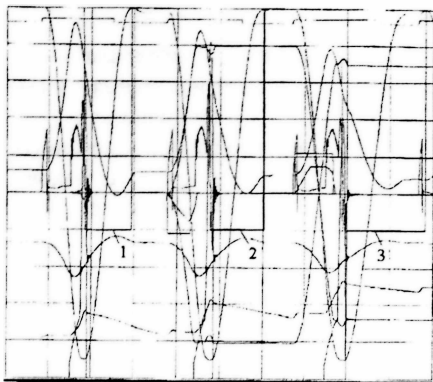


Рис.4. Диаграммы рабочего хода (а) и трех последовательных ходов (б) КГШП 80 МН без подрегулирования закрытой высоты пресса



На рис.5 приведена диаграмма трех последовательных рабочих ходов при подрегулировании закрытой высоты прессы в зависимости от параметров технологического процесса.

Рис.5. Диаграмма трех последовательных ходов КГШП 80 МН с подрегулированием закрытой высоты прессы: отклонение высот 1, 2 и 3 поковок

Первый ход - деформирование заготовки с номинальной силой в конце хода деформирования. Система регулирования закрытой высоты прессы настроена на заданный размер высоты поковки, показанной на диаграмме. *Второй ход* – деформирование заготовки с силой больше номинальной. *Третий ход* – деформирование заготовки с силой меньше номинальной. При ходе приближения ползуна вниз на втором и третьем ходах произведено подрегулирование закрытой высоты прессы на увеличение и уменьшение закрытой высоты прессы. Из диаграммы видно, что все три поковки отштампованы с одинаковой высотой, как при номинальном режиме штамповки.

Таким образом, при подрегулировании закрытой высоты прессы размеры поковки по высоте определяются не жесткостью прессы, температурой и массой (объемом) заготовки, а точностью работы системы управления закрытой высотой прессы.

Система управления изменения закрытой высоты КГШП по температуре и массе заготовки перед штамповкой позволяет существенно повысить точность штампуемых поковок без увеличения жесткости прессы и, следовательно, без увеличения его размеров, массы и стоимости изготовления. Недостатком данного способа является сложная и дорогостоящая система управления подрегулированием закрытой высоты прессы.

Повышение точности размеров поковки по высоте до смыкания и упругой деформацией упоров штампа не требует применения сложной и дорогостоящей системы управления прессом. Точность размеров при много переходной штамповке определяется при штамповке заготовки в последнем ручье штампа. Поэтому штамповка в предварительных ручьях выполняется по традиционной технологии, а в окончательном ручье осуществляется в два этапа. На рис.6 показан процесс штамповки поковки в последнем ручье штампа 9 (поковка показана в виде осаживаемой цилиндрической заготовки).

Жесткость заготовки в конце хода деформирования определяет в данном случае жесткость отштампованной поковки. Для КГШП номинальной силы $P_H = 80$ МН и жесткостью $C_{np} = 16225$ МН/м приняты значения $P_H/P_I = 5$, $S_K = 0,00447$ м. Жесткость заготовки (поковки) $C_n = 14310,8$ МН/м на втором этапе нагружения при $P_{m1} = P_H$ (рис.7), минимальной температуре деформирования и максимальной массе. Аналогичным образом определяется жесткость штампуемой заготовки для P_{m1} и P_{m2} . В реальных условиях жесткость поковки не является постоянной величиной и увеличивается с увеличением силы как на первом, так и на втором этапах хода деформирования.

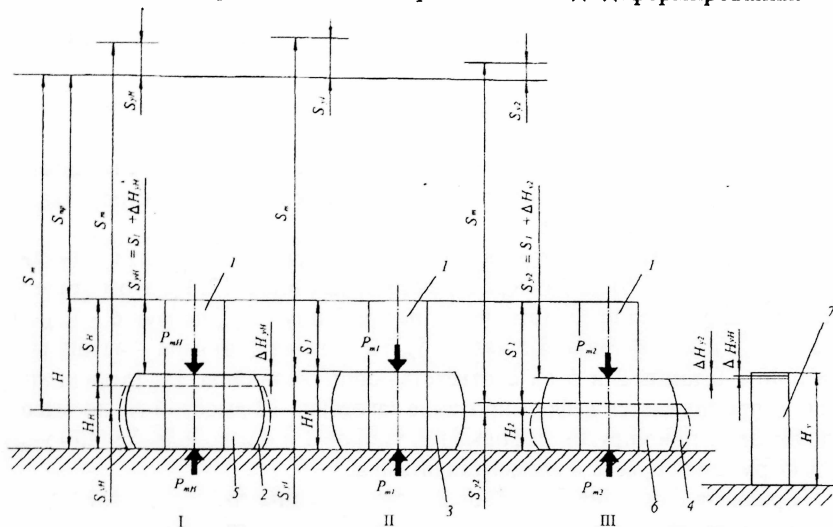


Рис.7. Этапы деформирования заготовки при штамповке γ с упорами.

После преобразования с учетом принятых значений P_H , P_{10} , $S_H = 0,01 \sqrt{P_H}$ и $S_K = 0,0005 \sqrt{P_H}$ для КГШП 80 МН по формуле (17) средняя жесткость поковки на втором этапе нагружения принимает значение

$$C_n = 16 \cdot \frac{P_H}{S_H} = 1600 \cdot \sqrt{P_H} \quad [\text{МН/м}] \quad (18)$$

При штамповке без упоров размеры поковки по высоте определяются силой деформирования в конце хода ползуна и жесткостью $C_{при}^*$ системы пресс-штамп

$$C_{при}^* = \frac{C_{np}}{1 + \frac{C_{np}}{C_{шм}} + \frac{C_{np}}{C_m}} \quad (19)$$

где C_{np} - приведенная жесткость пресса; C_m - приведенная жесткость матриц; $C_{шм}$ - приведенная жесткость штамповых плит под матрицами.

Максимальное отклонение δ размера поковки при штамповке без упоров определяется приведенной жесткостью системы пресс-штамп $C_{прш}^*$ и величинами максимальной P_{m1} и минимальной P_{m2} сил в конце хода деформирования в зависимости от температуры и массы заготовки.

$$\delta = \frac{P_{m1} - P_{m2}}{C_{прш}^*} \quad (20)$$

Приведенная жесткость C_y^* системы пресс – штамп - упоры - поковка

$$C_y^* = \frac{C_{пр} \left(\frac{C_n}{1 + \frac{C_n}{C_m} + \frac{C_n}{C_{шм}}} + \frac{C_y}{1 + \frac{C_y}{C_{шy}}} \right)}{C_{пр} + \frac{C_n}{1 + \frac{C_n}{C_m} + \frac{C_n}{C_{шм}}} + \frac{C_y}{1 + \frac{C_y}{C_{шy}}}} \quad (21)$$

где C_y - приведенная жесткость упоров; $C_{шy}$ - приведенная жесткость штамповых плит под упорами; C_n жесткость заготовки (поковки).

Значения приведенных жесткостей системы пресс-штамп-упоры определяются расчетом. Результаты расчетов и экспериментальных исследований показывают, что деформация плит штампового блока составляет примерно 10% от деформации пресса, деформация полного штампа (блоки, штамповые плиты, вставки), например, для КГШП номинальной силой 25 МН, составляет 30...40% от деформации пресса.

Исследование точности штампуемых поковок на КГШП 80МН при штамповке с упорами выполнено также с помощью программного комплекса анализа динамических систем ПА9. На рис.8 показана диаграмма трех последовательных рабочих ходов при штамповке до упоров без подрегулирования закрытой высоты пресса. *Первый ход* с силой 70 МН в конце хода деформирования - деформирование с номинальными параметрами заготовки - с номинальной температурой и массой. *Второй ход* с силой 75 МН в конце хода деформирования. *Третий ход* с силой 65 МН в конце хода деформирования. Отштампованные поковки имеют различные размеры по высоте в зависимости от параметров заготовки. Максимальное отклонение высоты поковки составляет 0,452 мм, что существенно меньше отклонения поковки при штамповке без упоров и без подрегулирования закрытой высоты пресса. При максимальной силе 75 МН в конце хода деформирования происходило касание упоров штампа без их силового нагружения. Наблюдаемый всплеск нагружения упоров силой 0,5 МН вызван ударным действием ползуна массой 100 т. Жесткость упоров выбрана таким образом, чтобы суммарная сила нагружения пресса от деформирования заготовки и упоров не превышает номинальную силу пресса. При номинальных параметрах заготовки сила нагружения упоров 4,6 МН и суммарная максимальная сила нагружения пресса 74,6 МН.

При параметрах заготовки (рис.9) с максимальной температурой и минимальной массой сила нагружения упоров составила 9,2 МН и суммарная максимальная сила нагружения пресса 74,2 МН. Максимальная сила нагружения упоров составляет 11,5% от номинальной силы пресса.

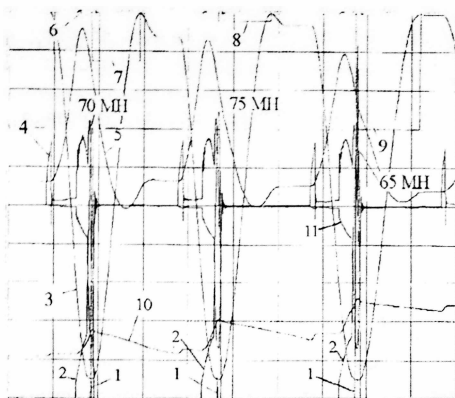


Рис.8. Диаграмма технологического процесса штамповки заготовок с упорами при различных значениях температуры и массы

1 – сила на упорах штампа; 2 – технологическая сила; 3 – перемещение ползуна; 4 – момент муфты; 5 – давление в уравновешивателе; 6 – регулирование перемещения ползуна; 7, 8, 9 – отклонение высоты поковок; 10 – частота вращения электродвигателя привода; 11 – скольжение в эксцентрике.

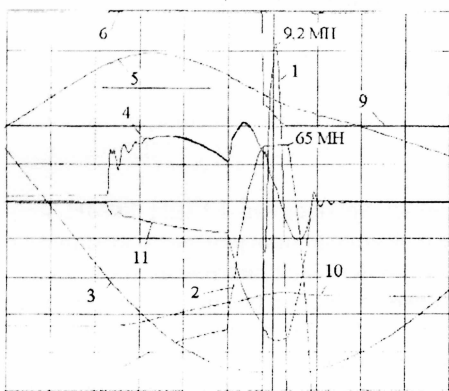


Рис.9. Фрагмент штамповки поковки с упорами с минимальной силой деформирования.

Исследования показали, что штамповка на КГШП до смыкания упоров штампа с учетом выше упомянутых ограничений позволяет уменьшить отклонение размера высоты поковки до 5 раз, что повышает точность штампуемых поковок без увеличения жесткости

пресса и штампа и усложнения системы его управления.

Другим важным показателем, зависящим также и от жесткости пресса является эффективный КПД пресса. КПД хода деформирования в зависимости от вида технологической операции изменяется обычно в пределах от 0,8 при осадке до 0,2 при штамповке в окончательном ручье. Таким образом, не смотря на возможные высокие энергетические показатели работы пресса на других этапах машинного цикла, КПД хода деформирования является определяющим в общих затратах энергии при работе пресса.

Для энергосилового анализа работы пресса предложена степенная зависимость

$$P_{\partial} = P_n (1 + \psi \cdot S^n)^{-k} \quad (22)$$

где коэффициенты ψ , k и n определяются параметрами кусочно-линейного силового графика технологической нагрузки и зависят от соотношения сил P_n , P_0 и P_{10} и соотношения участков хода деформирования S_n , S_l и S_k .

С учетом принятых параметров линеаризованного графика для КГШП номинальной силы $P_n = 80$ МН принимаются следующие значения $P_n/P_0 = 20$, $P_n/P_{10} = 5$, $\psi = 20$, $k = 1,7$, $n = 0,674$, $S_n = 0,1245$, $S_l = 0,12$ и $S_k = 0,0045$.

С учетом упругой деформации пресса КГШП 80 МН с жесткостью $C = 16225$ МН/м номинальный ход деформирования составляет $S_{ny} = 0,12943$ м, первого участка $S_{ly} = 0,12099$ м и второго участка $S_{ky} = 0,00844$ м, а уравнение (22) принимает вид

$$P_{\partial y} = P_{ny} (1 + \psi_y \cdot S^{n_y})^{-k_y}, \quad (23)$$

где $\psi_y = \psi = 20$, $k_y = k = 1,7$, $n_y = 0,704$.

Установлена взаимозависимость между жесткостью пресса C , кпд хода деформирования η_{∂} и энергии T_{∂} , расходуемой на ходе деформирования (рис.10). На рис.11 приведены зависимости между жесткостью пресса, энергией и кпд хода деформирования.

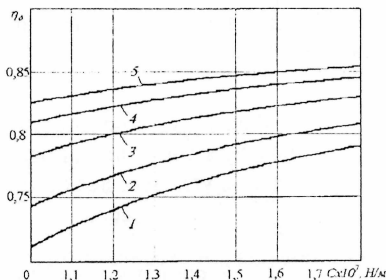


Рис.10 Изменение кпд хода деформирования от изменения жесткости C пресса

1 — $T_{\partial 1} = 1797,26$ кДж; 2 — $T_{\partial 2} = 2190$ кДж; 3 — $T_{\partial 3} = 3000$ кДж; 4 — $T_{\partial 4} = 4000$ кДж; 5 — $T_{\partial 5} = 5000$ кДж.

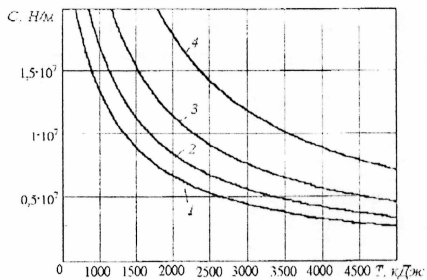


Рис. 11. Изменение жесткости пресса в зависимости от энергии, расходуемой на ходе деформирования и кпд хода деформирования
1 - 0,65; 2 - 0,7; 3 - 0,75; 4 - 0,8.

Анализ результатов исследования показывает (рис.10), что с увеличением энергии, расходуемой на ходе деформирования кпд хода деформирования увеличивается, при этом кпд увеличивается также с увеличением жесткости пресса. Например, для КГШП 80 МН при увеличении энергии хода деформирования с рекомендуемой энергии 2190 кДж до 3000 кДж (в 1,37раза) возможно обеспечить сохранение $\eta_{\partial} = 0,8$ и при необходимости жесткость

пресса может быть уменьшена также в 1,37 раз. При проектировании КГШП необходимо обеспечить возможности расходования максимальной энергии на ходе деформирования, что расширяет технологические возможности прессы, а также позволяет существенно уменьшить жесткость прессы, его габариты, массу и стоимость изготовления, а также упростить условия изготовления, сборки и транспортировки прессы заказчику. Установлено, что потери на трение при принятых значениях коэффициента трения 0,005 в кинематических парах ГИМ и на упругую деформацию прессы при применяемых значениях жесткости прессы приблизительно одинаковые и составляют для КГШП 80 МН 184,26 кДж и 197 кДж и соответственно 10,2 % и 10,9% от общих затрат энергии (1797,26 кДж) на ходе деформирования, а КПД хода деформирования составляет 78%. Результаты расчетов позволяют дать обоснованные рекомендации по выбору параметров прессы из условия максимальной эффективности его работы. Установлено, что с увеличением энергии, расходуемой на ходе деформирования, с 1797,26 кДж до 3000 кДж (на 66,9%) КПД хода деформирования увеличивается на 5,6%.

В разделе, посвященном математическому моделированию контактного взаимодействия и напряженно – деформированного состояния системы прессы и штампа (рис.12), приведен результат (таблица) расчетного исследования МКЭ КГШП 125 МН при внецентричном в направлении слева – направо технологическом нагружении номинальной силой при эксцентриситете вправо 0,26 м (12,3% соответствующего размера рабочей плоскости подштамповой плиты) и опрокидывающем моменте на ползуне 35 МНм.

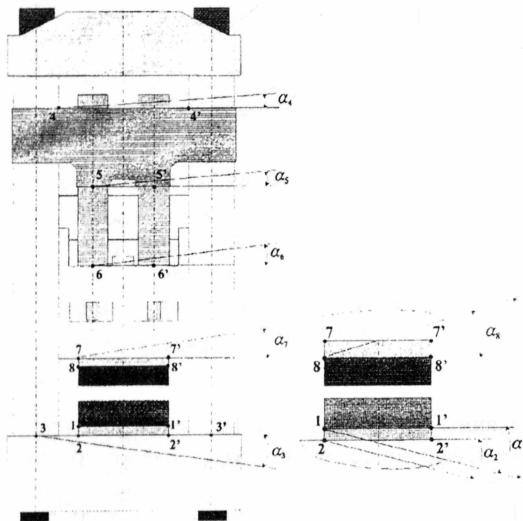


Рис. 12. Совокупность базовых точек для определения угловых деформаций прессы

Расчет проведен при максимальных значениях проектных зазоров в контактных стыках деталей исполнительного механизма и суммарном зазоре 0,8 мм в направляющих ползуна. Получены данные по распределению силовых потоков в деталях исполнительного механизма и станины по левой

и правой половинам прессы, при этом силы в правом и левом шатунах отличаются в 1,6 раза.

Тело, №	Деталь	Угол, β_j	Угловая деформация	
			$tg\beta_j$, мм/м	в % от $tg\beta_{\Sigma}$
2	Подштамповая плита	$\beta_2 = \alpha_1 - \alpha_2$	0,013432	1,65
3	Стол (по центральному продольному сечению)	$\beta_3 = \alpha_2 - \alpha_3$	0,157904	19,39
4	Стойка (станина)	$\beta_4 = \alpha_3 - \alpha_4$	0,113348	13,92
5	Эксцентриковый вал	$\beta_5 = \alpha_3 - \alpha_4$	0,158661	19,49
6 (7)	Шатуны	$\beta_6 = \alpha_6 - \alpha_5$	0,139572	17,14
8	Ползун (с пальцем шатуна)	$\beta_8 = \alpha_7 - \alpha_6$	0,222428	27,32
9	Надштамповая плита	$\beta_9 = \alpha_8 - \alpha_7$	0,008905	1,09
Суммарная деформация		$\beta_{\Sigma} = \alpha_1 - \alpha_8$	0,814250	100

Расчетное значение вертикальной жесткости прессы, определенное по центрам рабочих плоскостей над- и подштамповой плит (19,23 МН/мм), хорошо согласуется с соответствующим экспериментальным значением (19,75 МН/мм). Приведен баланс вертикальной деформации деталей прессы, а полученные расчетом по МКЭ величины жесткости деталей использовались при исследовании динамической модели прессы.

Проведенный анализ составленного по результатам расчета по МКЭ баланса угловой деформации деталей прессы показал, что более четверти угловой деформации приходится на ползун вследствие его поворота в зазорах в направляющих станины, деформации направляющих, жесткости пальца шатуна в сечениях, работающих на сдвиг. Существенны (17...20%) доли угловых деформаций шатунов, стола, эксцентрикового вала. В целом, расчетно-экспериментальные, в том числе предпроектные, исследования позволили получить при угловой деформации 0,85 мм/м угловую жесткость прессы 39,91 МНм/мм/м. Сопоставление с зарубежными экспериментальными данными (для прессов 6,3...63 МН перекося рабочих поверхностей штамповой зоны 0,58...2,73 мм/м) указывает на высокую угловую жесткость исследуемого прессы.

В третьей главе проведено обоснование конструкций и параметров тяжелых КГШП, результаты разработки конструкций и создания гаммы тяжелых КГШП, систем подрегулирования закрытой высоты прессы. Приведены результаты работ по созданию и развитию производственно-технологической и метрологической базы производства тяжелых КГШП, экспертного анализа существующих и прогнозируемых параметров тяжелых КГШП.

Предложена классификация по главному параметру КГШП – номинальной силе: легкие КГШП – прессы 6,3 - 16 МН, предназначенные для изготовления поковок массой, приблизительно, до 4 кг и имеющие собственную массу около 100 тонн; КГШП средней силы – прессы 20...50 МН, на которых могут изготавливаться поковки массой порядка до 40 кг и масса которых не превышает 450 т; тяжелые КГШП – прессы 63...160 МН для производства поковок массой свыше 50 кг и собственной массой более 500 т.

С целью отработки, апробации и оптимизации принятых конструктивных решений по созданию тяжелого КГШП номинальной силой 125 МН путем экспериментальных исследований на ЗАО ТМП были изготовлены КГШП номинальной силой 20 МН модели КА8043, номинальной силой 63 МН модели КО4.015.848 и двухмаховичный ковочно-штамповочный пресс номинальной силой 5 МН модели ДКШП-500, созданный совместно с МГТУ МАМИ.

Созданы, отработаны и апробированы следующие основополагающие конструктивные решения: конструкция эксцентрикового вала с двумя мотылевыми шейками, связанного с ползуном двумя отдельными шатунами; бронзовые подшипники эксцентрикового вала расположены в съемных буксах, а их длина выбрана таким образом, чтобы опорные реакции проходили вблизи центра тяжести сечения стойки; система жидкой циркуляционной смазки кривошипно-шатунной группы, подшипников промежуточного вала, зубчатого зацепления, что позволило с применением особой конструкции подшипниковых узлов резко снизить потери на трение и свести к минимуму вероятность заклинивания пресса; соединение нижних головок шатунов с ползуном трехопорной осью и промежуточными эксцентриковыми втулками (изменение закрытой высоты пресса достигается разворотом эксцентриковых втулок относительно оси, осуществляемым рычажно-винтовой парой); расположение механизма изменения закрытой высоты в ползуне, а привода механизма, вращающего винтовую пару, - неподвижно на станине и соединённого с винтовой парой при помощи качающегося рычага с шестернями; создание системы отсчета регулировки закрытой высоты с точностью 0,1 мм с трансляцией ее фактической величины на главном пульте управления прессом.

С целью повышения долговечности эксцентрикового вала, его бронзовых подшипников и обеспечения точности зубчатого зацепления, эксцентриковый вал разгружен от веса зубчатого колеса и муфты, которые размещены на удлиненной части правой буксы соосно с валом. В прессах использованы уравниватели с отсечкой рабочей полости уравнивателя от ресивера на определенном пути ползуна, что позволило получить переменную грузоподъемность уравнивателя и уравновесить массу ползуна и силы инерции.

На прессах применены система безударного включения муфты, беззазорное бесшпоночное соединение ступицы муфты с эксцентриковым валом, контроль за температурой основных подшипников, гидравлическое приспособление для контролируемой затяжки станины и вывода пресса из заклинивания.

При создании тяжелых КГШП желание повысить точность поковок увеличением жесткости пресса снижало их технические и экономические показатели. Ввиду больших габаритов и массы прессов возникали проблемы изготовления крупногабаритных деталей, сборки узлов пресса, а также транспортирования прессов заказчикам, увеличивалась себестоимость изготовления прессов. Поэтому с целью удовлетворения требований заказчиков по увеличению точности штампуемых поковок с одной стороны и снижения габаритов и массы тяжелых прессов с другой стороны была поставлена зада-

ча решить данную проблему путем создания механизмов, обеспечивающих подрегулирование закрытой высоты пресса в процессе выполнения машинного цикла. Задача решена созданием общего привода систем регулирования и подрегулирования с блокированием системы регулирования при работе пресса.

Система (рис. 13) состоит из механизма регулирования 2 и подрегулирования 4 закрытой высоты пресса, привода 3, системы механической блокировки 5 и карданно-шлицевого вала 1 для управления механизмом поворота эксцентрика регулирования закрытой высоты. Основные параметры механизма для КГШП 80 МН: установленная мощность привода обоих механизмов 15 кВт, диапазон регулирования 13 мм, диапазон подрегулирования ± 1 мм, время подрегулирования 0,35 с.

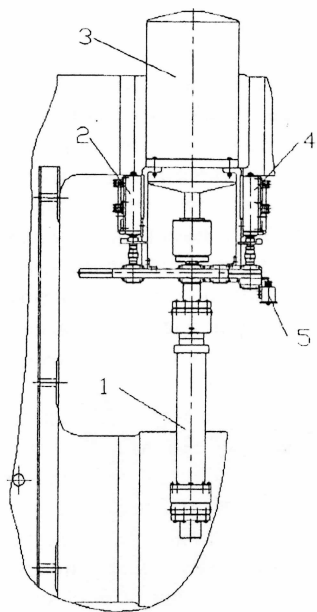


Рис.13. Механизм регулирования и подрегулирования закрытой высоты пресса

Проведен экспертный анализ существующих и прогнозируемых параметров тяжелых КГШП. Основой проведенного анализа послужила оценка технологических и эксплуатационных возможностей тяжелых КГШП, основанная на сопоставлении и прогнозировании основных параметров, а также информации, представляющей собой раздел конструкторской базы данных о размерах и массах крупногабаритных деталей КГШП номинальной силой 80...160 МН производства ТМП и иностранных фирм. В связи с этим детальный анализ и прогнозирование основных параметров гаммы КГШП возрастающих сил возможны при применении критериев подобия, разработанных на основе положений теории подобия и размерностей.

Анализ конструкций КГШП и технологических процессов показал, что представляется целесообразным выделить переходов осадки, прошивки и обрезки, а возможно, и предварительной формовки на отдельное оборудование, связанное с тяжелым КГШП средствами автоматизации, расположенными вне штамповой зоны КГШП. Это позволит уменьшить размеры штампового пространства, габариты и массы основных деталей, наиболее эффективно использовать силовые и энергетические параметры пресса.

В разделе, посвященном состоянию и развитию производственно-технологической и метрологической базы производства тяжелых КГШП

приведены мероприятия, обеспечивающие выполнение современных требований потребителей к качеству продукции: повышение точности и конкурентоспособности выпускаемой продукции, обеспечение ее высокого качества, подтверждаемого международным сертификатом. Большое внимание уделено метрологическому обеспечению, осуществляемому в три этапа: метрологическая проработка и метрологическая экспертиза конструкторской и технологической документации; метрологическое обслуживание технологического процесса изготовления деталей; метрологическое обслуживание средств измерения и методов их применения.

В четвертой главе изложены результаты экспериментальных исследований и промышленного внедрения тяжелых КГШП. Экспериментально установлено влияние жесткости прессов на энергетические параметры пресса и точность штампуемых поковок, влияние температуры и массы заготовки на точность штампуемых поковок, результаты исследования динамических нагрузок при нагружении пресса. Определены энергетические параметры прессов при штамповке типовых деталей (фланцев и балки переднего моста автомобиля).

Изложена методика экспериментальных исследований тяжелых КГШП, дано описание разработанных и использованных методов, датчиков, приборов и схем их подключения. Приведены результаты экспериментальных исследований КГШП силой 125 МН при приемо-сдаточных испытаниях на заводе-изготовителе и в условиях эксплуатации на АвтоГазе и номинальной силой 120 МН ф. Еumiso на Камском автозаводе. Экспериментальные исследования проводились с целью проверки работоспособности пресса, получения опытных кинематических, динамических и энергосиловых параметров для сопоставления их с результатами теоретического исследования и определения технологических возможностей КГШП 125 МН.

Проведенные статические исследования и сравнение жесткостных параметров тяжелых КГШП с различными кинематическими схемами исполнительных механизмов показали удовлетворительные результаты: суммарная жесткость КГШП модели K04.086.851 находится на уровне жесткости лучших из зарубежных КГШП модели KSP-1200 и максимальных рекомендуемых значения (14), а полученные экспериментальные значения податливости КГШП модели K04.086.851 (при суммарной упругой деформации 6,28 мм и по элементам: ползун-эксцентрикковый вал – 1,29 мм, прогиб эксцентриккового вала с опорами – 2,03 мм, деформация станины – 2,96 мм) имеют удовлетворительное совпадение с расчетными значениями.

При динамических исследованиях на КГШП модели K04.086.851 получены осциллограммы с одновременной записью моментов на эксцентрикковом и промежуточном валах, силы нагружения пресса, угловой скорости маховика, угла поворота эксцентриккового вала.

Расшифровка этой осциллограммы и сравнение экспериментальных данных с расчетными показали удовлетворительную сходимость результатов, как по характеру изменения параметров, так и по их величине.

Исследования позволили определить значение приведенного коэффициента

трения подшипников шатуна и коренных опор при жидкой циркуляционной смазке. Его величина, как полученная по характерным точкам по углу поворота эксцентрикового вала, так и определенная энергетическими потерями, находится в диапазоне 0,002...0,005 и зависит от степени приработки контактирующих поверхностей.

Специальные исследования методом “выбега маховика” позволили получить значения потерь на трение при холостых ходах. Работа трения подшипников муфты и промвала, клиноременной и зубчатой передачи при холостом вращении маховика на каждый ход пресса равна 70 кДж при моменте сопротивления вращению 1,9...2,0 кНм, приведенном к промежуточному валу. Полная работа одного холостого хода пресса 150...250 кДж при моменте сопротивления вращению 8...1 кНм, также приведенному к промежуточному валу.

С целью экспериментальной проверки влияния параметров пресса (жесткости пресса), технологической оснастки (жесткости оснастки) и технологического процесса (температуры и массы заготовки перед штамповкой) ввиду сложности получения экспериментально данной информации в производственных условиях исследование выполнено на имитационной модели в лаборатории кафедры МТ6 МГТУ им. Н.Э. Баумана (рис. 14). Проведение экспериментальных исследований влияния подрегулирования штамповой высоты пресса на точность поковки в зависимости от параметров технологического процесса (жесткости поковки в конце хода деформирования) позволило на имитационной модели получить информацию о степени влияния параметров оборудования на точность отштампованных поковок по высоте, штампа и

технологического процесса и точности регулирования закрытой высоты пресса.

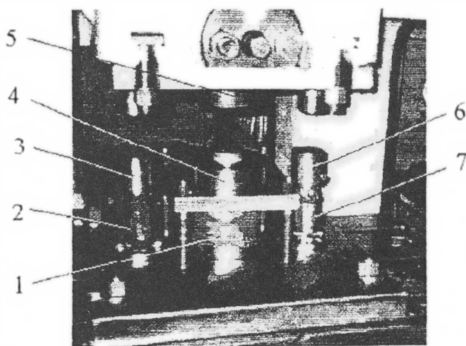


Рис.14. Имитационная модель, установленная на прессе
1 – месдоза штампа, 2, 7 – месдозы упоров, 3, 6 – упоры, 4 – матрица, 5 – пуансон

В пятой главе приведены методика проектирования тяжелых КГШП и перспективы разработки и создания тяжелых и сверхтяжелых КГШП, показатели параметров прессов и показатели сравнения их технологических возможностей, конструктивных и эксплуатационных параметров проектируемых КГШП, методика проектировочных расчетов параметров, размерный ряд и предложение в ГОСТ «Прессы кривошипные горячештамповочные», дан

прогноз перспективных направлений развития тяжелых и сверхтяжелых КГШП и возможное расширение области их применения.

Методика предусматривает определение силовых, энергетических и скоростных технологических параметров, определение основных конструктивных и геометрических параметров КГШП с учетом их автоматизации, а также проверку динамических параметров на этапе проектирования. Здесь же приведен размерный ряд тяжелых КГШП и предложения в ГОСТ, выполненные по результатам анализа разработанных конструкций прессов, теоретических, экспериментальных исследований и эксплуатации в промышленности и расчетов по предлагаемой методике.

На основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований предложено ввести дополнительно в ГОСТ «Прессы кривошипные горячештамповочные» параметры: жесткость пресса; номинальная энергия хода деформирования; частота рабочих ходов ползуна с номинальной энергией.

Обосновано влияние параметров кривошипных горячештамповочных прессов на их технические, конструктивные и эксплуатационные показатели. Предложены для объективной оценки технологических возможностей, конструктивных и эксплуатационных параметров проектируемых кривошипных горячештамповочных прессов показатели параметров прессов и показатели сравнения их параметров с учетом их значимости в зависимости от ранжирования на главные и вспомогательные показатели параметров.

Показатели параметров и показатели сравнения объединены в шесть групп по силовым, энергетическим, геометрическим и экологическим признакам. При оценке проектируемого пресса и сравнении с аналогом разрабатываемой конструкции учитываются 22 показателя.

Обоснованы параметры пресса, которые оказывают существенное влияние на выполнение технологического процесса и получение поковки заданных размеров и свойств, без которых невозможно получение заданных параметров поковки. Важность каждого показателя определяется коэффициентом его значимости, приведен диапазон их значений.

Рассмотрены перспективные направления повышения точности штампуемых поволоков на тяжелых КГШП. Приведена разработанная перспективная конструкция кривошипного пресса. Конструкция пресса патентуется. Кривошипный пресс позволит существенно повысить точность штампуемых поволоков, уменьшить брак штампованных поволоков, снизить перегрузки пресса по силе и изготавливать прессы с меньшей жесткостью, что уменьшит размеры, массу и стоимость изготовления пресса.

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. В результате выполнения теоретических и экспериментальных исследований и обобщения опыта промышленного освоения тяжелых КГШП предложены научно обоснованные конструкторские решения тяжелых КГШП, реализация которых обеспечивает повышение эффективности работы

прессов, повышение точности штампуемых поковок, уменьшение размеров и массы прессов, представленные методиками проектировочных расчетов, размерным рядом и предложениями в ГОСТ «Прессы кривошипные горячештамповочные», созданием и развитием производственно-технологической и метрологической базы производства тяжелых прессов, внедрением которых достигается ускорение научно-технического прогресса в кузнечно-прессовом машиностроении за счет снижения сроков на подготовку производства и повышения технических и технологических параметров прессов.

2. Установлены закономерность влияния конструктивных и эксплуатационных параметров пресса и параметров технологической операции на энергетические параметры пресса, взаимовлияние жесткости пресса на энергетические затраты при выполнении технологической операции. Предложена в качестве оценки конструктивных и эксплуатационных параметров КГШП величина критической кинетической энергии. Предложен новый параметр - относительная кинетическая энергия $\bar{T}$, определяющая эффективность использования энергии при выполнении технологической операции, значение которой определяется отношением номинальной энергии пресса к критической кинетической энергии.

Рекомендовано для КГШП принимать в проектных расчетах относительную кинетическую энергию $\bar{T} \geq 10$, при которой КПД хода деформирования $\eta_0 > 0,8$ при силе в конце хода деформирования равной номинальной.

3. Для выполнения энергетических расчетов на ходе деформирования предложены коэффициенты потерь энергии на трение, учитывающие конструкцию главного исполнительного механизма (ГИМ) пресса, конструкции и размеры кинематических пар ГИМ и условий их работы, определяемые условиями смазки, влияющими на коэффициент трения в кинематических парах. Коэффициенты зависят от угла поворота α эксцентрикового вала, параметров главного исполнительного механизма: радиуса эксцентриситета R , радиуса большой головки шатуна r_A , радиуса малой головки шатуна r_B , радиуса опорных поверхностей эксцентрикового вала r_O , параметра шатуна λ и условий смазки в соответствующих кинематических парах и направляющих ползуна, определяемых коэффициентами трения $\mu_A, \mu_B, \mu_O, \mu_n$.

4. Установлен интервал применения значений жесткости КГШП, нижняя граница которого определяется допустимыми потерями энергии при выполнении технологической операции во время хода деформирования, а верхняя граница определяется допустимыми значениями точности по высоте отштампованнойковки. Установлена зависимость жесткости C пресса от его номинальной силы P_H , эффективной энергии T и коэффициента потерь энергии a .

5. Разработаны показатели параметров и показатели для сравнительного анализа двух или нескольких единиц оборудования, объединенные в шесть групп по силовым, энергетическим, геометрическим и экологическим признакам с учетом их значимости в зависимости от ранжирования на главные и

вспомогательные показатели параметров. Анализ показателей сравнения позволяет определить недостатки в конструкции и работе прессов и на стадии выполнения проектировочных работ внести корректирующие изменения в конструкцию прессы. Предложенные показатели позволяют объективно оценивать технологические возможности, конструктивные и эксплуатационные параметры проектируемых кривошипных горячештамповочных прессов и создать предпосылки разработки кузнечно-штамповочных машин на современном уровне развития машиностроения и прогрессивных технологий кузнечно-штамповочного производства.

6. Разработаны модели единой трехмерной системы деталей тяжелых КГШП и штампового блока и напряженно-деформированного состояния единой системы деталей КГШП и штампа при внецентренном технологическом нагружении, что позволило определить распределение сил, напряжения и деформации элементов конструкции прессов.

7. Обосновано применение и разработка конструкций КГШП с переменными параметрами, обеспечивающими получение поковок заданной точности по высоте с учетом параметров технологического процесса (температуры, массы заготовки и других параметров, влияющих на силу деформирования). Установлено влияние регулирования параметров прессы (закрытой высоты прессы) в зависимости от параметров технологического процесса во время его работы на точность штампуемых поковок. Применение конструкций КГШП с переменными параметрами обеспечит повышение точности по высоте штампуемых поковок без увеличения жесткости прессы и штамповой оснастки, без увеличения размеров и массы прессы.

8. Обосновано применение и разработка конструкций КГШП с упорами и штамповка поковок до смыкания упоров в конце хода деформирования. На основании выполненных исследований установлено, что штамповка на КГШП до смыкания упоров штампа с учетом условия, что суммарная сила нагружения прессы от деформирования заготовки и упоров не превышает номинальную силу прессы, позволяет уменьшить отклонение размера высоты поковки до 5 раз, что повышает точность штампуемых поковок без увеличения жесткости прессы и штампа и усложнения системы его управления при подрегулировании закрытой высоты прессы. Максимальная сила нагружения упоров с учетом принятых условий составляет 11,5% от номинальной силы прессы.

9. Разработаны многомассовые динамические и математические модели тяжелых КГШП и установлены закономерности работы элементов конструкции на этапах машинного цикла. Полученные при исследовании динамической модели величины действующих сил и моментов подтверждены качественно и количественно экспериментальными исследованиями процесса нагружения КГШП 125 МН. Относительная погрешность расчетных и экспериментальных значений не превышает 7% для сил, воспринимаемых станиной, и 11 и 13% соответственно для моментов на эксцентриковом и приводном валах.

10. Определены баланс жесткости системы “пресс-штамп” и величины вер-

тикальных деформаций системы в целом и ее элементов, которые характеризуются достаточной схожимостью с экспериментальными данными и составляют: для системы в целом – 6,60 и 6,48 мм, для эксцентрикового вала – 1,35 и 2,03 мм, для шатунов - ползуна – 1,50 и 1,49 мм, для прогиба стола – 1,50 и 0,67 мм, для станины 2,15 и 2,96 мм. Впервые теоретически и экспериментально определена угловая деформация, приведенная к плоскости стола прессы, составившая соответственно 0,85 и 1,21 мм/м.

11. Экспериментально получены графики “силы деформирования – ход деформирования” при штамповке поковок коленчатого вала массой 130 кг и балки передней оси массой 96 кг грузового автомобиля КАМАЗ на КГШП силой 120МН, позволяющие прогнозировать необходимые силовые и энергетические характеристики прессов для горячей штамповки еще более крупных поковок.

12. Выбранная и отработанная конструктивная схема тяжелых КГШП реализована в конструкциях прессов 63...125МН, производимых ЗАО ТМП, что обеспечило этим конструкциям высокую конкурентоспособность на мировом рынке: доля изготовленных на ЗАО ТМП тяжелых КГШП в имеющемся во всем мире парке КГШП номинальной силой свыше 80МН составляет 47%, а в выпуске таких прессов за последние 15 лет – 100%.

Основные положения диссертации изложены в работах

1. Крук А.Т. Экспериментальные исследования некоторых параметров опытного образца КГШП модели КБ8546 // Машины и автоматизация кузнечно-штамповочного производства: Межвуз. сб. науч. тр.- М.: ВЗМИ.- 1984.- С.69-74.
2. Крук А.Т. Проектирование и производство тяжелых кривошипных горячештамповочных прессов. Учеб. пособие.- Воронеж: ВГТУ.-2003.-187 с.
3. Крук А.Т. Математическое моделирование кривошипного горячештамповочного прессы с номинальной силой 125МН // Ресурсосберегающие технологии, оборудование и автоматизация штамповочного производства: Тез. докл. Междунар. науч.- техн. конф., Тула. - 1999. - С. 56-57.
4. Крук А.Т. Повышение эффективности работы кривошипных горячештамповочных прессов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. -2003, -№5.-С. 18-20, 29-32.
5. Крук А.Т. Проблемы повышения точности штамповки на кривошипных горячештамповочных прессах. // Заготовительные производства в машиностроении. - 2004,-№ 1.- С.26-31.
6. Крук А.Т. Технологическое обеспечение производства высококачественного оборудования. // Металлорежущий и контрольно-измерительный инструмент: Экспресс-информ.- М.: НИИМАШ, 1980. - вып. 9. – С.1-12.
7. Крук А.Т. Оптимальная частота ходов ползуна КГШП // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. - 2002, - № 10. - С.40-42.
8. Крук А.Т. Производство поковок коленчатых валов автомобильных двигателей. // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов

давлением. - 2002, - №12. - С. 7-14.

9. Крук А.Т. Развитие конструкций кривошипных горячештамповочных прессов // Заготовительные производства в машиностроении. - 2003, - № 1. - С.26-28.

10. Крук А.Т. Создание прессового оборудования для гибких автоматизированных производств. // Кузнечно-штамповочное производство. - 1985, - № 8. - С.37-39.

11. Крук А.Т. Показатели сравнения как оценка возможностей развития и совершенствования кривошипных горячештамповочных прессов. // Заготовительные производства в машиностроении. - 2004, - №5. - С.14-21.

12. Крук А.Т. Анализ затрат энергии на ходе деформирования кривошипных горячештамповочных прессов. // Заготовительные производства в машиностроении. - 2006, - №2. - С. 22-26.

13. Крук А.Т., Dibner Ju.A. Projection of the designer hot-press database // 3-rd INTERNATIONAL CONFERENCE RESEARCH AND DEVELOPMENT IN MECHANICAL INDUSTRY, RaDMI-2003. Serbia and Montenegro. Dubrovnik. - 2003. - Volume 2. - P.77-81.

14. Крук А.Т., Сафонов А.В. О повышении точности штамповки на кривошипных горячештамповочных прессах // Вопросы исследования прочности деталей машин: Межвуз. сб. науч. тр. - М.: МГАПИ, -2002. - вып. 7. - С.72-78.

15. Крук А.Т., Федоркевич В.Ф. К выбору концепции тяжелых кривошипных горячештамповочных прессов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. - 1999, - №7. - С. 36-39.

16. Крук А.Т., Федоркевич В.Ф. Машины для горячей штамповки алюминиевых сплавов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. - 1999, - № 8. - С. 3-7.

17. Крук А.Т., Федоркевич В.Ф. Штамповка фланцев трубопроводов на тяжелых кривошипных горячештамповочных прессах // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. - 1999, - №6. - С. 35-40.

18. Крук А.Т., Дибнер Ю.А. Опыт разработки конструкции кривошипного горячештамповочного пресса усилием 125МН и проблемы создания более тяжелых машин // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. - 1999, - № 12. - С. 32-36.

19. Крук А.Т., Дибнер Ю.А. Экспертный анализ существующих и прогнозируемых параметров тяжелых КГШП // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. - 2000, - № 5. - С. 7-11.

20. Крук А.Т., Дибнер Ю.А. Экспертная оценка силы штамповки поковок коленчатых валов. // Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении: Сб. науч. тр. Донбасской Государственной Машиностроительной Академии, - Краматорск (Украина): - 2004. - С.25-30.

21. Крук А.Т., Гольник Э.Р., Вдовиченко А.А., Дибнер Ю.А. Принципы построения и структура конструкторской базы данных для проектирования

- кривошипных горячештамповочных прессов//Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. - 2001, - № 11. - С. 28-36.
22. Крук А.Т., Гольник Э.Р., Дибнер Ю.А. Контактная механика как основа базы знаний в экспертной подсистеме проектирования тяжелых кривошипных прессов//Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. - 2001, - № 12. - С.34-40.
23. Крук А.Т., Новокщенов Л.Т. Разработка методики расчетно-экспериментального исследования параметров жесткости КГШП на основе численного моделирования конструкционных контактных задач // Компьютерные технологии в промышленности и связи: Сб. докл. Регион. науч.-техн. конф.: Воронеж, 2002. - С.11-15.
24. Крук А.Т., Дибнер Ю.А. Компьютерные базы знаний в проектировании горячештамповочных прессов//Компьютерные технологии в промышленности и связи: Сб. докл. Регион. науч.-техн. конф.: Воронеж, 2002. - С. 16-21.
25. Крук А.Т., Гурьев Ю.Т., Гнездилов А.Н. Контроль изготовления – составляющая системы качества производства тяжелых механических прессов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. - 1998, - №1. - С. 30-33.
26. Крук А.Т., Новокщенов Л.Т. Корреляция угловой и вертикальной жесткости прессов // Системные проблемы надежности, качества, информационных и электронных технологий: Сб. докл. Международной конф. и Российской науч. шк.; -М.: Радио и связь, 2004. - Ч. 6. - С.59-63.
27. Крук А.Т., Крук В.А. Концепция перехода к новейшим технологиям поиска и принятия инженерных решений в тяжелом прессостроении //Производство специальной техники:Сб.науч.тр.Воронеж:ВГУ,2003,С.84-89.
28. Федоркевич В.Ф., Крук А.Т. Кривошипные горячештамповочные прессы универсального технологического назначения // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. - 2000, - № 10. - С.27-30.
29. Сафонов А.В., Крук А.Т. К вопросу определения жесткости кривошипных горячештамповочных прессов // Вестник МГТУ. Машиностроение. - 1998, №2. - С. 73-83.
30. Ланской Е.Н., Соков В.И., Крук А.Т. О динамических нагрузках в элементах КГШП при выполнении технологических операций //Кузнечно-штамповочное производство. - 1983, - № 3. - С. 28-32.
31. Федоркевич В.Ф., Ачкасов А.Т., Крук А.Т. Автоматизация процессов изготовления поковок на КГШП. // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением: - 2001, - № 10. - Ч.1. - С.40-44, - №11, - Ч.2. -С. 39-42; - 2002, - № 2. - Ч.3. - С.37-43., - № 8. - Ч.4. - С.41-46.
32. Сафонов А.В., Хрущев Г.Г., Крук А.Т. Исследование условий повышения точности штамповки на кривошипных горячештамповочных прессах. //Изв.ТулГУ. Сер. Механика деформируемого твердого тела и обработка металлов давлением. - Тула, 2003. Вып. 1. - С. 148-156.
33. Сафонов А.В., Крук А.Т. Энергосиловые параметры штамповки до упоров штампа на кривошипных горячештамповочных прессах. // Изв. ТулГУ.

Сер. Механика деформируемого твердого тела и обработка металлов давлением. - Тула, 2004. Вып. 1, - С.189-196.

34. Сафонов А.В., Крук А.Т. Исследование штамповки до упоров штампа на кривошипных горячештамповочных прессах // Изв. ТулГУ. Сер. Механика деформируемого твердого тела и обработка металлов давлением. - Тула, 2004. Вып. 2. - С.208-215.

35. А. с. № 948688. МКИ В 30 в 15/00. Тяжелый горячештамповочный механический пресс / В.Н. Горожанкин, И.Н. Филькин, П.Н. Высоцкий, А.Т. Крук (СССР); Б.И. - 1982. - № 29.

36. А. с. № 996032. МКИ В 21 J 9/02, В 30 в 15/00. Нижний выталкиватель горячештамповочного пресса / В.Н. Горожанкин, А.Т. Крук, П.Н. Высоцкий, И.Н. Филькин (СССР); Б.И. - 1983. - № 6.

37. А. с. № 996035. МКИ В 21 J 13/08. Автоматизированный комплекс для горячей штамповки / В.Н. Горожанкин, А.И. Гончаров, В.В. Новиков, А.Т. Крук, И.Н. Филькин (СССР); Б.И. - 1983. - № 6.

38. Патент №2204485. Опора эксцентрикового вала кривошипного горячештамповочного пресса / А.Т. Крук, А.И. Гончаров, Ю.А. Дибнер (РФ); Б.И. - 2003. - №14.

39. Патент №2241567. Штамп для горячей штамповки коленчатого вала / Е.И. Семенов, А.Т. Крук, В.И. Соков, Ю.А. Дибнер, В.Я. Мороз (РФ); БИ - 2004.- №34.

40. Патент №2247623. Способ изготовления коленчатого вала / Е.И. Семенов, А.Т. Крук, В.И. Соков, Ю.А. Дибнер, В.Я. Мороз, С.Н. Перевезенцев (РФ); БИ - 2005. - №7.