

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ХОЛОДНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ С ФЛАНЦАМИ

Алиева Л. И.

Процесс проектирования технологических процессов точной объемной штамповки выдавливанием может быть представлен в виде комплекса взаимодополняющих шагов проектирования, выполняемых в определенной последовательности независимо от способа деформирования и типоразмера штампуемой детали.

Рассмотрено содержание этапов проектирования процессов холодного выдавливания, предусматривающих системный подход и имитационное моделирование процессов пластического формообразования. Разработаны базы моделей и расчетная программа, построенные на основе энергетического метода верхней оценки и расширяющие возможности проектирования процессов холодного выдавливания. Продемонстрирована многовариантность реализации основного этапа проектирования процесса выдавливания – назначения переходов формоизменения деталей с фланцем. Рассмотрены маршрутные карты технологических вариантов изготовления деталей с фланцем из сплошных и полых исходных заготовок и описана конструкция штампа для безотходной прошивки деталей типа втулок.

Процес проектування технологічних процесів точного об'ємного штампування видавлюванням може бути представлений у вигляді комплексу взаємодоповнюючих кроків проектування, які виконуються в певній послідовності незалежно від способу деформування і типорозміру деталі, що штампується.

Розглянуті етапи проектування процесів холодного видавлювання, які передбачають системний підхід і імітаційне моделювання процесів пластичного формотворення. Розроблено бази моделей і розрахункова програма, побудовані на основі енергетичного методу верхньої оцінки і розширюють можливості проектування процесів холодного видавлювання. Продемонстровано багатоваріантність реалізації основного етапу проектування процесу видавлювання – призначення переходів формозміни деталей з фланцем. Розглянуто маршрутні карти технологічних варіантів виготовлення деталей з фланцем з суцільних і порожнистих вихідних заготовок і описана конструкція штампа для безвідходної прошивки деталей типу втулок.

Designing of technological processes of precision forging extrusion can be represented in the form of a set of complementary design steps performed in a particular sequence regardless the way of deformation and the size of the stamped parts.

The matter of stages of the design processes of cold extrusion, providing for a systematic approach and simulation modeling of processes of plastic forming is considered. Database models and the design program based on the energy method of upper assessment and increasing the possibility of process designing and cold extrusion are developed. Multiplicity of implementation of the basic design stage of the extrusion process – destination of transitions of forming of parts with flange is demonstrated. Routers of the technological options for manufacturing parts with flange from solid and hollow original workpieces are considered. The design of the stamp for a waste-free firmware of parts such as bushings is described.

Алиева Л. И.

канд. техн. наук, доц., докторант ДГМА  
omd@dgma.donetsk.ua

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК 621.777

Алиева Л. И.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ХОЛОДНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ С ФЛАНЦАМИ

Среди высокоэффективных и конкурентоспособных технологических процессов заготовительного производства видное место занимают процессы точной объемной штамповки выдавливанием, позволяющие использовать преимущества способов холодной обработки металлов давлением в обеспечении точности получаемых деталей и производительности технологии.

В практике холодной объемной штамповки использование процессов выдавливания позволяет сократить число операций и получить сложнопрофилированные детали более точных размеров и формы [1–3]. Включение в технологический цикл новых способов поперечного и комбинированного выдавливания усложняет конструкции используемой оснастки, так как возникает необходимость использования разъемных матриц [4]. Но преимущества в виде расширения технологических возможностей за счет усложнения форм получаемых деталей, делает выдавливание весьма эффективным. При комбинированном выдавливании к тому же за счет повышения степени свободы истечения металла снижаются требуемые усилия.

Анализ и обобщение опыта технологической подготовки, в том числе и в условиях применения современных САПР, создают возможности для представления работы технолога в виде комплекса взаимосвязанных этапов проектирования, выполняемых в определенной последовательности независимо от способа деформирования и типоразмера штампуемых деталей.

Научно-методические принципы современных методик проектирования технологических процессов (ТП) базируются на системном подходе к решению поставленных задач и концепции гибких технологий производства деталей [5–7]. Сущность методики применительно к разработке технологических процессов изготовления точных объемных заготовок выдавливанием, в основу которой легли известные алгоритмы разработки технологий штамповки [1, 3–5, 8] поясняется усовершенствованным алгоритмом проектирования процессов холодного выдавливания, приведенным в работе [9].

Цель настоящей работы состоит в раскрытии возможностей данного алгоритма на примере проектирования технологий поперечного и комбинированного выдавливания прецизионных деталей.

В методике проектирования технологического процесса холодного выдавливания деталей с фланцем можно выделить шесть основных этапов проектирования, информационное обеспечение и систему моделей, необходимых для реализации этих этапов [5, 9].

На первом этапе проектирования ТП выполняется конструкторско-технологическая классификация деталей, анализ их технологичности, а также условий (ресурсов) производства и уровня базовых технологий. В состав исходной информации, необходимой для классификации, входят чертежи деталей и сведения о программах выпуска, базовых процессах и составе имеющегося или планируемого для приобретения технологического оборудования. На этом этапе необходимо оценить возможности изготовления детали точной объемной штамповкой выдавливанием и удалить те детали, которые штамповкой и выдавливанием невозможно изготовить.

Возможность получения деталей способами холодного выдавливания оценивается с помощью баз ограничений, содержащих упрощенные расчетные соотношения и рекомендации по определению значений предельных параметров деталей, ограничивающих область рационального применения технологических способов выдавливания. Такими параметрами являются глубина полости стаканов и гильз, толщина их стенки, соотношение диаметров стержня и фланцев, допуски на размеры, наличие поднутрений и других сложных элементов и др.

Второй этап - разработка альтернативных вариантов ТП и их анализ. К исходной информации, необходимой для реализации этого этапа, относится классификатор технологических способов, сведения о типовых процессах выдавливания, базы характеристик оборудования и штампуемых материалов, а также расчетные модели процессов деформирования.

Для ряда распространенных типовых операций и деталей расчеты силовых режимов выполняются по известным аналитическим и статистическим моделям и расчетным программам. В случае необходимости анализа сложных схем формообразования с неоднозначной кинематикой течения металла используются расчетные программы, основанные на энергетическом подходе и анализе кинематически возможных полей пластического течения. Разработана база данных в виде матрицы плоских и осесимметричных кинематических модулей, имитирующих осадку, обжатие, разворот, растяжение и затекание в угол. Для решения осесимметричных задач на базе простых полей скоростей с элементами прямоугольной и треугольной формы в ДГМА разработаны кинематические элементы (модули) трапецеидальной и треугольной формы с различной ориентировкой прямой и криволинейной наклонной границы [9, 10]. Элементами такого типа можно описать практически любой очаг деформации.

Разработан комплекс математических моделей, позволяющих определять энергосиловые параметры процесса, прогнозировать поэтапное и конечное формоизменение заготовки, а также возможность дефектообразования в виде утяжин в отдельных зонах штампуемой детали. Для деталей типа «втулка с фланцем» и «стакан с фланцем» с учетом рекомендаций по выбору соответствующей расчетной схемы в зависимости от соотношений геометрических параметров полуфабриката, формы инструмента (наличия или отсутствия фасок), а также возможного дефектообразования в виде утяжин [11], разработаны соответствующие математические модели [12, 13].

Разработанная в ДГМА программа «Energy Model» предназначена для построения модели и расчета энергетическим методом силового режима процесса холодного выдавливания, а также формоизменения полуфабриката (рис. 1) [9]. Ввод исходных параметров и анализ результатов работы программы возможны в диалоговом режиме.

Основными операциями, выполняемыми по программе, являются:

- выбор комплекта кинематических модулей, удовлетворяющих закономерностям течения металла в очаге деформации (прямоугольные, трапецевидные, треугольные и др.);
- определение геометрических параметров и границ кинематических модулей (длина, высота, углы (для трапецевидных кинематических модулей)) в системе координат моделируемого процесса, а также направлений течения и разрывов скоростей;
- расчет мощностей сил деформирования, среза и трения;
- варьирование параметров процесса в определенном диапазоне и исследование их влияния на давление деформирования и формоизменение (с построением графиков).

При этом, исходя из предварительной оценки формообразования полуфабриката, полученной по одной из разработанных расчетных схем, можно откорректировать параметры процесса деформирования путем изменения условий трения на контактных поверхностях. В случае, если характер поэтапного формоизменения существенно отличается от формирования требуемых размеров, можно использовать такие приемы управления формообразованием детали, как изменение конфигурации инструмента (размеров и формы фасок и кромок пуансона), введение подпоров, ограничивающих течение металла в каком-либо направлении, что может позволить практически полностью исключить отклонения формы и размеров готового изделия.

Анализ сложных схем формообразования с неоднозначной кинематикой течения металла можно выполнить и с помощью имитационных моделей в рамках программных комплексов, основанных на методе конечных элементов [13].

Третий этап - определение системы критериев для оценки эффективности альтернативных процессов [1, 5, 6, 9, 15]. Исходной информацией для этого этапа служит обобщенная система показателей эффективности технологий и база методов принятия решений [5, 6], а также

обобщенные принципы выполнения технологий объемной штамповки [1, 2, 4]. Для оценки эффективности процессов выдавливания система содержит обобщенные критерии: завершенность формообразования деталей, давление деформирования, степень деформации, степень расхода ресурса пластичности [11, 14], экономическая эффективность. Частные критерии оценивают количественно с помощью моделей расчета энергосиловых параметров, показателей качества деталей. В качестве последних при выдавливании деталей с фланцем предлагается использовать получение их без утяжин и без разрывов, т.е. в пределах тех рациональных величин толщин и диаметров фланцев, которые следуют из уже разработанных моделей.

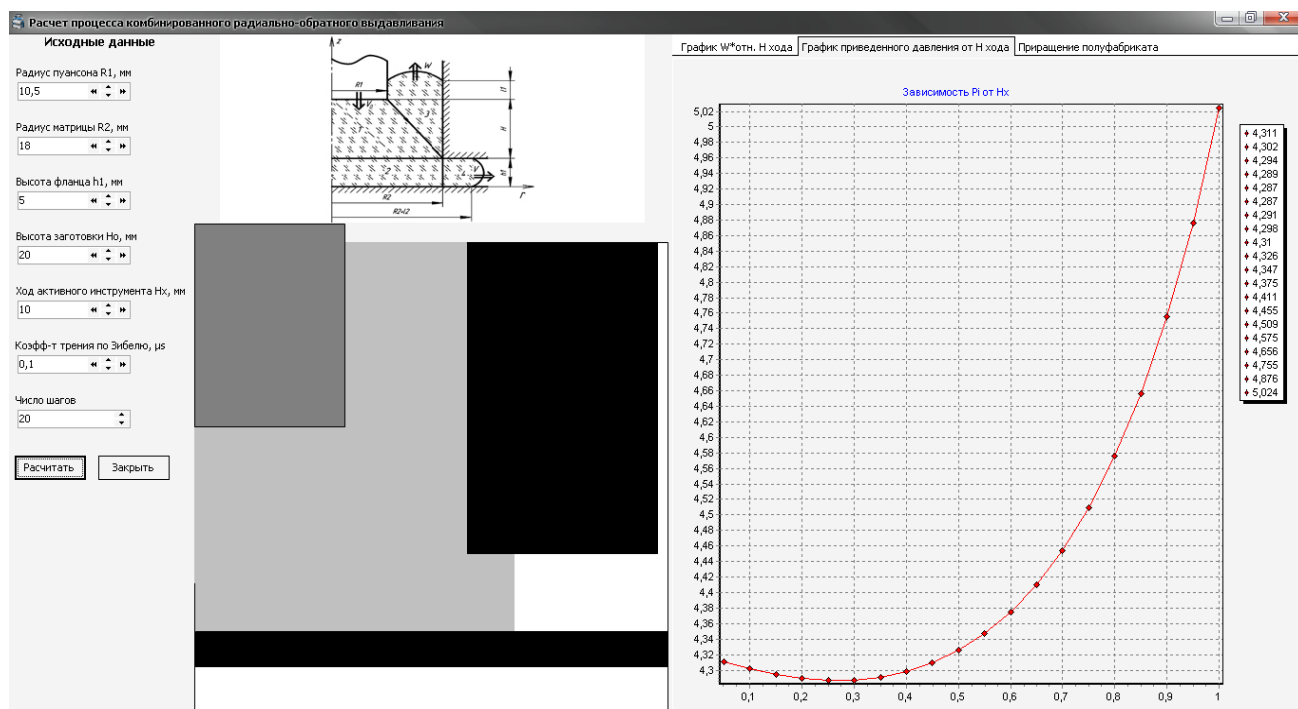


Рис. 1. Главное окно программы (ввод исходных данных и просмотр результатов)

Четвертый этап проектирования - выбор наиболее эффективного варианта технологического процесса - реализуется с использованием установленных критериев оценки [1, 9].

Пятый этап - разработка технологического процесса. Оптимальным решением задач данного этапа является их выполнение на персональных компьютерах в диалоговом режиме. Для проектирования технологий (и оснастки) созданы современные системы САПР ТП [5–8], для которых необходимо пополнение информационной базы и создание модулей расчета, позволяющих расширить круг проектируемых процессов. Расчетные модели и программы, разработанные в ходе настоящих исследований, использованы в качестве модулей проектных систем как в ДГМА, так и на предприятиях, где осуществлялась апробация новых технологий и штампов.

На шестом этапе осуществляется детальная разработка технологической оснастки. В качестве исходной информации используются классификаторы штампов и сменных инструментов, в т.ч. с разъемными матрицами [1–3, 7–9], современные компьютерные системы проектирования штампов, а также нормативная и методическая документация.

При разработке процессов холодной объемной штамповки одной из наиболее сложных задач является выбор рационального варианта формообразования. В любом случае целесообразен анализ технологических возможностей и ограничений, свойственных сопоставляемым вариантам процесса. В разработанной методике проектирования используются карты альтернативных вариантов (способов) штамповки детали, позволяющие наглядно сопоставить множество приемлемых технологических решений.

Варианты возможного сочетания различных способов деформирования рассмотрим на примере изготовления деталей типа «втулка с фланцем» способами продольного и поперечного выдавливания (рис. 2), которые разработаны по аналогии с вариантами продольного выдавливания, предложенными Х. Кудо [15].

Все варианты получения буртовых втулок предусматривают выдавливание исходных сплошных заготовок в неподвижной или подвижной матрицах и, как правило, пробивку перемычки.

Способы комбинированного радиально-обратного (схема 1) и прямого выдавливания на противоположной стороне (схема 2) занимают диаметрально противоположное место в смысле возникающих рабочих нагрузок. Поэтому вторая схема может быть рекомендована лишь для материалов с низким сопротивлением деформированию. При получении деталей с массивными фланцами комбинированному выдавливанию может предшествовать радиальное выдавливание (схема 3), обеспечивающее набор требуемого объема фланца. Втулки (схема 4) получают также методом продольного прямого или обратного выдавливания утолщенных кольцевых заготовок на оправке. Заключительная операция высадки способствует разгонке металла и оформлению фланцев с наружным диаметром, превышающим диаметр стержневой части в 3-4 раза. Интерес представляет безотходный способ получения гладких втулок методом сквозной прошивки (схема 5). Из таких полуфабрикатов можно получить втулки с фланцем на наружной или внутренней поверхности путем высадки или поперечного радиального выдавливания [4].

Если рассмотреть в качестве исходной заготовки трубчатую заготовку, то можно сосредоточиться на вариантах получения втулок с фланцем всеми способами деформирования из имеющегося арсенала. Среди технологических методов получения втулки с фланцем высадка (рис. 3, вариант 1) является наиболее простым способом [2]. Ограничения, связанные с потерей устойчивости высаживаемой удлиненной ( $L_0/d > 2,0 \dots 2,5$ ) части заготовки, неравномерностью деформирования и разрушением кромок фланца, в большинстве случаев снимаются благодаря установлению большего числа переходов. При необходимости получения тонких фланцев (диаметром 50 мм и более) целесообразно сочетание обработки на ХВА с окончательной формовкой (схемы а и б) на вертикальных прессах повышенной жесткости.

При прямом выдавливании (вариант 2) степень деформации ограничивается высокими нагрузками на инструмент. Для уменьшения неравномерности деформации и предотвращения образования дефектов при прямом выдавливании необходимо применять матрицы с плавным профилем рабочей воронки с закругленными краями. Это накладывает ограничения на форму, относительную толщину  $h/D$  и относительный диаметр  $d/D$  получаемых фланцев. Расширение возможностей прямого выдавливания достигается введением дополнительного перехода высадки фланца (варианты а или а-б), хотя совмещение таких переходов в одном штампе представляет трудность.

Поперечное радиальное выдавливание (вариант 3) отличается меньшей энергоемкостью процесса и разнообразием возможных технологических схем силового и кинематического воздействия на заготовку. Достоинством варианта является возможность формоизменения торцов втулки. К ограничениям можно отнести: недостаточную деформируемость металла ( $d/D < 2,6$ ), недостаточно высокое качество поверхности торца фланца и боковых поверхностей втулки. Для увеличения деформируемости и устранения искажения формы фланца эффективно сочетание выдавливания с высадкой фланца, выполняемой на заключительной стадии процесса. Радиальное выдавливание удачно совмещается на одной позиции с высадкой (подсадкой по схеме а) фланца.

Радиальное выдавливание, выполняемое на одной позиции с редуцированием (или прямым выдавливанием), позволяет повысить качество поверхности втулки и предельную степень формоизменения (вариант 5).

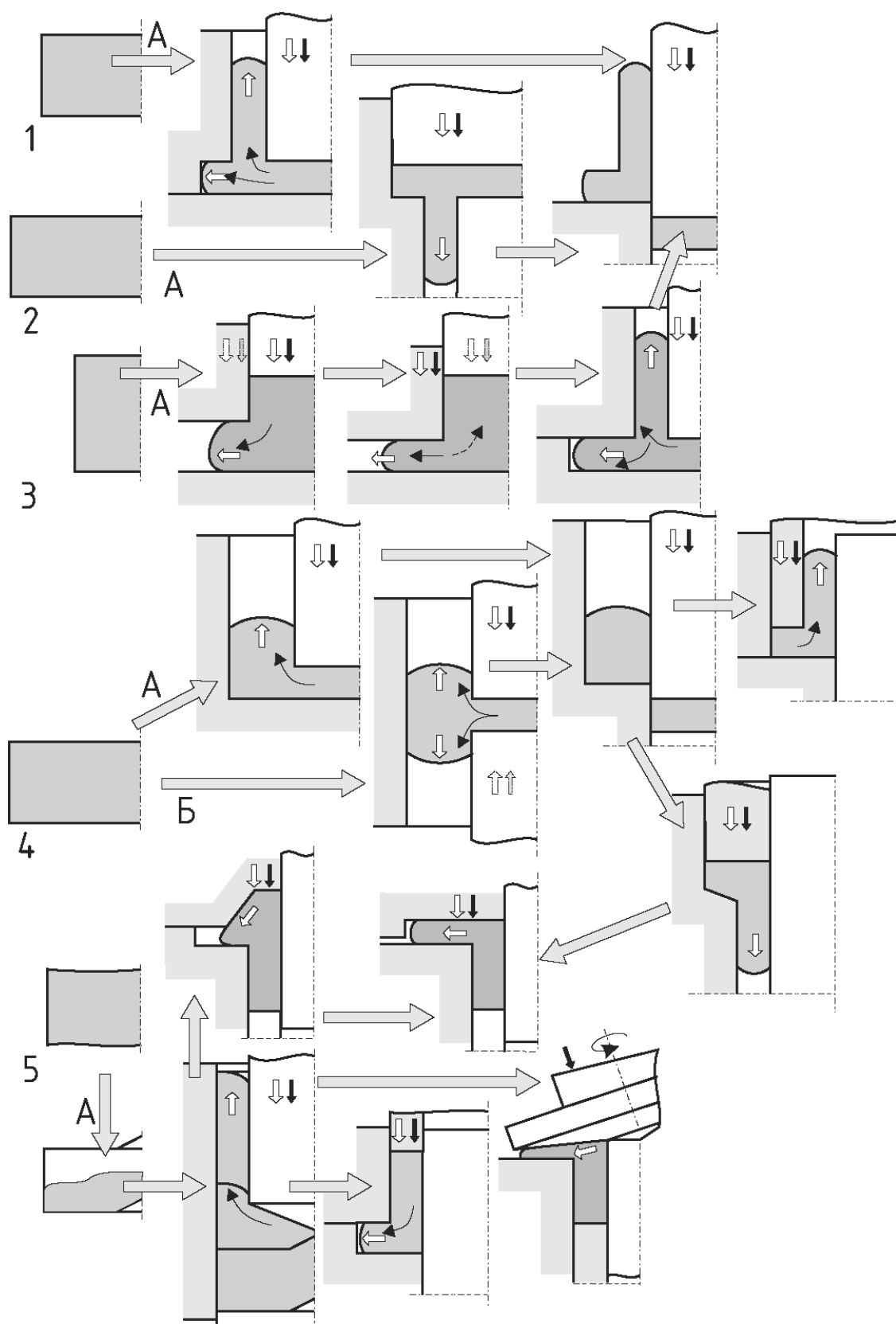


Рис. 2. Варианты маршрутной технологии выдавливания детали типа втулки с фланцем

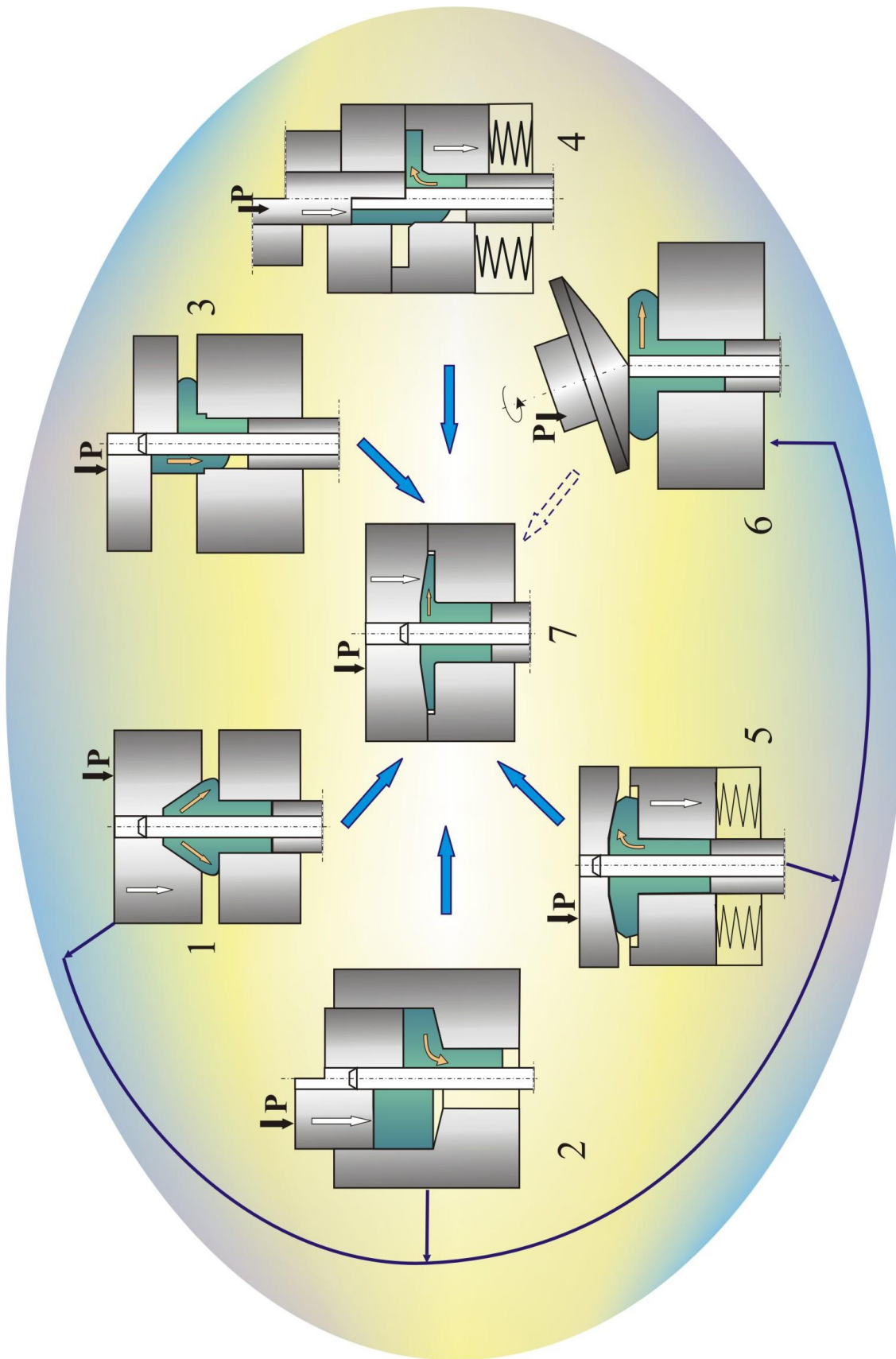


Рис. 3. Маршрутная карта (технологические варианты) изготовления детали типа втулки с фланцем из исходной полый заготовки

Вариант 4 осадки-выдавливания рекомендуется для низких деталей ( $H/D < 1$ ). За счет одновременного уменьшения обжатием диаметра исходной заготовки (в 1,5–2 раза) и разгонки металла во фланец можно достичь соотношения диаметров  $D/d = 4...5$  при высоком качестве поверхностей.

Особым методом формообразования фланцев является вариант 6 – способ холодной торцевой раскатки. Для холодной раскатки торцевых фланцев необходимо использовать специальные технологические установки для торцевой раскатки и сферодвижной штамповки [2, 4]. Для получения массивных фланцев рекомендуется выполнить предварительный набор металла во фланец, что позволяет отнести к перспективным процессы, основанные на сочетании схем 1–3 со схемой 6 раскатки.

По результатам теоретических и экспериментальных исследований процесса выдавливания полых деталей с фланцем и по установленным режимам выдавливания, разработаны методические рекомендации, технологии и штампы для выдавливания деталей с фланцем из номенклатуры промышленных предприятий. Припуски и допуски, получаемые при холодном выдавливании, не регламентируются стандартом. Поэтому они устанавливаются по согласованию между поставщиком и потребителем. В большинстве случаев точность размеров (кавалитет 12) и шероховатость поверхностей, заданная в чертежах для механической обработки, вполне достижима и при холодном выдавливании. В таких случаях припуски не назначаются.

Для сквозной закрытой прошивки и выдавливания втулок существуют различные по степени сложности и автоматизации варианты конструкций штампов (рис. 4).

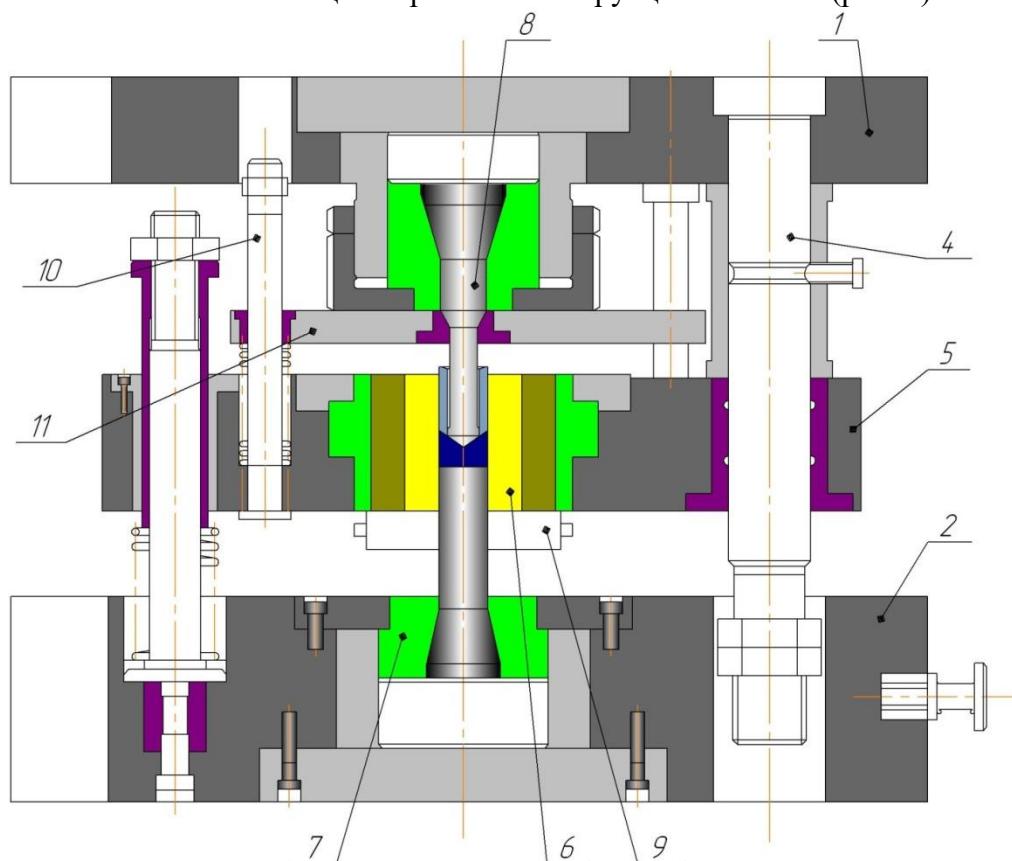


Рис. 4. Штамп для сквозной прошивки деталей типа втулок

Блок однопозиционного штампа состоит из верхней 1 и нижней 2 опорных плит, взаимосвязанных с помощью направляющих пар 4, кроме того предусмотрена промежуточная плита 5, также направляемая с помощью колонок 4. В промежуточной плите жестко закреплена рабочая матрица 6. В нижней плите установлен противоулансон 7, а в верхней плите –



пуансон 8 Промежуточная плита выполнена подвижной в осевом направлении с помощью пружин. Под плитой 5 установлен подвижный в осевом направлении лоток 9, служащий для приема и фиксации готовых заготовок.

### ВЫВОДЫ

Процесс проектирования технологических процессов точной объемной штамповки выдавливанием может быть представлен в виде комплекса взаимодополняющих этапов проектирования, выполняемых в определенной последовательности независимо от способа деформирования и типоразмера штампуемой детали.

Для оперативного анализа технологических режимов процессов выдавливания деталей сложной формы при использовании энергетического метода (метода верхней оценки) разработаны кинематические модули различной конфигурации и программа, предназначенная для построения модели и расчета силового режима и поэтапного формоизменения в процессе холодного выдавливания.

Рассмотрены маршрутные карты технологических вариантов изготовления деталей с фланцем из сплошных и полых исходных заготовок и описана конструкция штампа для безотходной прошивки деталей типа втулок.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евстратов В. А. Основы технологии выдавливания и конструирования штампов / В. А. Евстратов. – Харьков: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1987. – 144 с.
2. Ковка и штамповка: справочник в 4 т. / Под ред. Е. И. Семенова [и др.]. – М.: Машиностроение, 1987. – Т.3: Холодная объемная штамповка; [под ред. Г. А. Навроцкого]. – 1987. – 384 с.
3. Кузнецу-штамповщику: справочное пособие / Под ред. Л. Н. Соколова. – Донецк: Донбасс, 1986. – 144 с.
4. Изготовление заготовок и деталей пластическим деформированием / В. М. Авдеев, Л. Б. Аксенов, И. С. Алиев [и др.]; под ред. К. Н. Богоявленского, В. В. Руса, А. М. Шелестова. – Л.: Политехника, 1991. – 351 с.
5. Аксенов Л.Б. Системное проектирование процессов штамповки. – Л.: Машиностроение, 1990. – 240 с.
6. Сосенушкин Е.Н. Формализация процесса принятия технологических решений / Е.Н. Сосенушкин, К.И. Васильев // Кузнечно-штамповочное производство. – 1993. – №4. – С. 6–9.
7. Методологическая база САПР переналаживаемых штампов для выдавливания / В.А. Евстратов, В.И. Кузьменко, В.В. Торяник и др. // Кузнечно-штамповочное производство. – 1992. – № 1. – С. 10–11.
8. Методика расчета и проектирования процессов выдавливания в разъемных матрицах / Л. И. Алиева, А. И. Лобанов, Р. С. Борисов, И. Г. Савчинский // Nowe technologie i osiagniecia w metargii i inzenierii materialowej V Miedz. konf. naukowa. – Czenstchowa, 2004. – S. 383–391.
9. Алиева Л. И. Особенности проектирования процессов холодного выдавливания на основе развития модульного подхода в рамках энергетического метода / Л. И. Алиева, Н. С. Грудкина // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: зб. наук. пр. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015 – № 24 (1133). – С. 21–32.
10. Огородников В.А. Ресурс пластичности металлов при холодном объемном формоизменении / В.А. Огородников, И.А. Деревенько, Л. И. Алиева // Монография. – Винница: ВНТУ, ООО «Меркьюри-Подолье» 2016. – 176 с. – ISBN 978-966-2696-69-1.
11. Алиева Л. И. Оценка и прогнозирование отклонений формы деталей при холодном выдавливании / Л. И. Алиева // Пластическая деформация металлов: коллективная монография. – Днепропетровск: НМетАУ, 2014. – С. 353–369. – ISBN 978-617-7109-18-0.
12. Prediction of the Variation of the Form in the Processes of Extrusion / I. Aliiev, L. Aliieva, N. Grudkina, I. Zhbakov // Metallurgical and Mining Industry: scientific and technical journal. – Dnepropetrovsk: NMetAU, 2011. – Vol. 3. – No 7. – P. 17–22. – ISSN 2076–0507.
13. Alieva Leila. Radial-direct extrusion with a movable mandrel / L. Alieva, Y. Zhbakov // Metallurgical and Mining Industry. – Dnipropetrovsk, 2015. – № 11. – P. 175–183.
14. Алиева Л. И. Моделирование процесса комбинированного выдавливания фланцев на полых деталях / Л. И. Алиева // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Машинобудування. – 2016. – № 1(76). – С. 20–30.
- 15 Cold Forging of Hollow Cylindrical Components Having an Intermediate Flange – Ubet Analysis and Experiment / H.Kudo, B.Avitzur, T.Yoshikai, J.Luksaza a.o. // CIRP Annalen. – 1980. – 29, Nl. 129–133.