

УДК 621.7.044+621.914.1-185.4:621.9.06-529

М.К. КНЯЗЕВ, Р.В. ВАРНАС, В.Ю. БЕСПАЛЫЙ*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***ОТЛАДКА ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ШТАМПОВКИ
В СИСТЕМЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА**

Выполнен анализ отработки процесса электрогидравлической штамповки листовой детали «полутор» и потребной конфигурации штамповой оснастки по переходам в системе технологической подготовки производства. Рассмотрены особенности проектирования процессов штамповки и доработки штамповой оснастки в подсистемах «моделирование» и «изготовление». Показаны необходимость увязки параметров процессов формообразования листовых деталей, конструкции штамповой оснастки и их моделирования в единой системе. Установлена высокая эффективность станков с числовым программным управлением для изготовления штампов и выполнения их доработок для листовых деталей сложных форм. Разработаны технические условия для проектирования штамповой оснастки с учетом оптимизации процессов штамповки и доработки технологической оснастки.

Ключевые слова: технологическая подготовка производства, штамповка, импульсный, лист, оснастка, базирование.

Введение

Систему технологической подготовки производства (ТПП) электрогидравлической штамповки (ЭГШ) можно представить как структуру, состоящую из четырех основных элементов – подсистем, объединенных взаимосвязями. Входными данными для системы ТПП ЭГШ являются чертеж листовой детали, программа производства, сроки и другие условия. Выходными данными является устойчивый технологический процесс (ТП) ЭГШ, позволяющий выпускать качественную продукцию, и его соответствующее описание. Подсистемы условно можно назвать: моделирование, изготовление, отладка и управление. Подсистема «моделирование» предназначена для разработки аналитического эталона детали [1], штамповой оснастки, моделирования процесса нагружения и формообразования листовой детали, создания сценария механической обработки, разработки конструкторской и технологической документации, внесения изменений и других подобных задач. Подсистема «изготовление» обеспечивает производство штамповой оснастки по аналитическому эталону, переданной подсистемой «моделирование». Подсистема «отладка» связана непосредственно с процессом ЭГШ, реализацией спроектированных операций формообразования, проверкой правильности последовательности процесса штамповки, выявления недостатков моделирования.

Существующие методы моделирования и проектирования операций ЭГШ, расчета формы и размеров заготовки, штамповой оснастки не позволяют

с достаточной точностью определить геометрические параметры и параметры процесса на последовательных этапах формообразования детали.

Поэтому в процессе отладки технологических процессов ЭГШ сложных листовых деталей, возникают задачи оптимизации режимов обработки, формы и размеров заготовки, штамповой оснастки.

Целью настоящего исследования является определение технологических связей между элементами системы ТПП, которые позволяют с высокой эффективностью выполнять отладку процессов ЭГШ, доработки штамповой оснастки с учетом условий формообразования качественной листовой детали.

**1. Моделирование процессов ЭГШ
и конфигурации штамповой оснастки**

В данной работе для моделирования в качестве типовой выбрана деталь, которая классифицируется как «полутор». Моделирование включает в себя анализ «внешней» информации по изготовлению деталей этого класса, анализ информации, полученной из подсистемы «отладка», разработку и коррекцию поэтапного процесса формообразования на основе проведенного анализа, разработку и коррекцию штамповой оснастки.

Сложность изготовления такой детали (рис. 1) обусловлена неблагоприятным сочетанием больших радиальных растягивающих и больших окружных сжимающих напряжений, возникающих во внутрен-

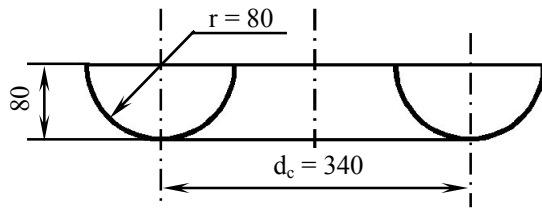


Рис. 1. Эскиз детали «полутор» из листа АМг6БМ толщиной 2 мм

ней четверти полутора при определенном сочетании геометрических размеров. При штамповке исходной заготовки в окончательную матрицу возникают два основных дефекта – обрыв по внутреннему перетяжному ребру и неустраняемое складкообразование по внутренней четверти. Волнистость также возникает и по наружной четверти полутора на начальном этапе вытяжки, однако она разглаживается при последующем формообразовании из-за действия растягивающих напряжений.

Обрыв заготовки происходит по причине малого сечения по внутреннему перетяжному ребру при большом усилии импульсного давления, прикладываемого к большой площади заготовки. На перетяжном ребре радиальные напряжения растяжения усиливаются изгибающими напряжениями, которые в сумме превышают предел прочности материала заготовки.

В соответствии с рекомендациями, содержащимися в литературе [2, 3], при штамповке таких деталей с отношением среднего диаметра полутора к радиусу образующей окружности d_c/r более 4 (теоретически более 2,83) заготовку следует выбирать в виде кольца. Для данной детали это соотношение равно 4,25. Однако при отладке процесса с кольцевой заготовкой всегда происходил ее разрыв по внутреннему контуру на начальной стадии деформирования. Вероятно, здесь сказываются особенности сплава АМг6. В связи с этим возникает необходимость доработать рекомендации с учетом механических свойств материала заготовки.

Формообразование детали «полутор» можно выполнять по трем схемам: 1) формирование внутренней четверти полутора с постепенным распространением на наружную четверть; 2) формирование наружной четверти полутора с постепенным распространением на внутреннюю четверть; 3) формирование узкой средней части с постепенным распространением на внутреннюю и наружную четверти; 4) комбинация предыдущих 3-х схем.

Первоначально для исследований определена схема 2, так как на центральном выступе малого диаметра происходил обрыв заготовки по внутреннему перетяжному

ребру. Для реализации выбранной схемы изготовлена серия «грибков» с размерами диаметра, изменяющимися от максимального 320 мм до минимального 180 мм. Такой подход позволил исключить разрывы, однако в провисающей части заготовки формировались гофры, которые при последующем формообразовании превращались в складки. Поэтому потребовалась поддержка провисающей части заготовки по среднему диаметру жестким инструментом для разглаживания гофров, формирования наружного и внутреннего донных радиусов и увеличения жесткости заготовки.

При отработке технологического процесса приняты следующие решения (рис. 2): 1) выполнять формообразование детали с увеличенным по диаметру центральным выступом для исключения разрывов по внутреннему перетяжному ребру (см. рис. 2, поз. 1); 2) на первом же переходе сформировать кольцевой элемент с относительно малым радиусом в поперечном сечении для повышения жесткости и предотвращения гофрообразования; 3) с этой же целью организовать поддержку заготовки со стороны дна матрицы (см. рис. 2, поз. 2, 3, 4); 4) формирование внутренней части тора выполнять по конической поверхности для увеличения сил трения, исключения разрывов по внутреннему перетяжному ребру, разглаживания гофров (см. рис. 2, поз. 2, 3, 4); 5) формообразование выполнять поэтапно с увеличением площади провисающей части заготовки для обеспечения условий деформирования с преимущественно растягивающими напряжениями (табл. 1); 6) поле нагружения обеспечить равномерным по ширине поперечного сечения с целью образования кольцевых элементов с малыми радиусами и большой жесткостью для предотвращения образования гофров.

В табл. 1 относительное увеличение площади ΔA ; рассчитано по формуле

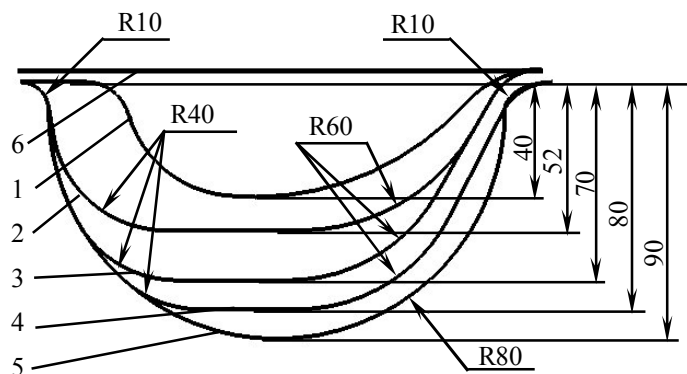


Рис. 2. Профили поперечного сечения детали «полутор» по технологическим переходам: 1 – профиль сечения для перехода № 1; 2 – для перехода № 2; 3 – № 3; 4 – № 4; 5 – № 5; 6 – исходная заготовка

$$\Delta A_i = \frac{A_{i-1} - A_i}{A_i} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где A_i – площадь провисающей части заготовки по среднему сечению листа на текущем переходе; A_{i-1} – площадь провисающей части заготовки на предыдущем переходе.

Таблица 1

Относительное увеличение площади ΔA_i

№ сечения (перехода)	Площадь A_i , мм ²	Относительное увеличение площади ΔA_i , %
6 (0)	192168,9	–
1	229974,7	19,67
2	255217,4	10,98
3	285671,0	11,93
4	298461,2	4,48
5	307580,9	3,06

Из приведенного анализа процесса формообразования видно, что количество единиц оснастки (штампов) должно быть большое, а их поверхности сложные, двойной кривизны, выпукло-вогнутые. Для снижения стоимости оснастки принято решение использовать вставки (рис. 3) в матрицу окончательной формы. Использование сменных вставок на различных этапах формообразования налагает особые требования на проектирование и изготовление штамповой оснастки. Эти требования связаны, с соблюдением условия достаточной толщины элементов оснастки для выполнения доработок и обеспечения прочности, наличием сложных поверхностей для формирования листового изделия, довольно высокой точностью расположения формозадающих поверхностей относительно баз, наличием общих баз для сменных элементов оснастки, сложностью самих базовых поверхностей, согласованием

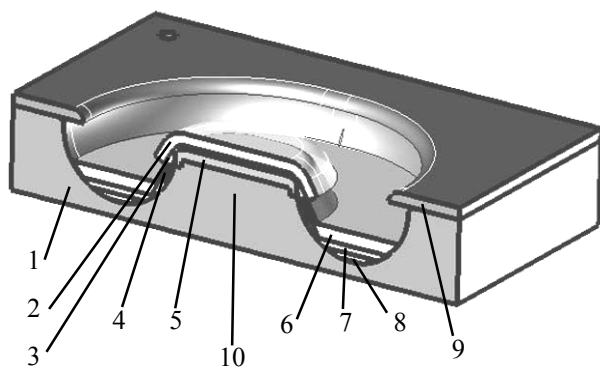


Рис. 3. Комплект штамповой оснастки для технологического перехода № 1: 1 – матрица; 2 – резиновая накладка; 3 – верхний элемент большого конуса; 4 – средний элемент большого конуса; 5 – вставка окончательной формы; 6 – верхняя донная вставка; 7 – средняя донная вставка; 8 – нижняя донная вставка; 9 – вытяжная плита; 10 – центральный выступ матрицы

нескольких баз на сменных вставках и самой матрице, высокими импульсными нагрузками, которым подвергается весь комплект штамповой оснастки. Совокупность указанных требований и условий, а также необходимость выполнения модификаций элементов оснастки предопределили использование станков с ЧПУ в подсистеме «изготовление».

2. Выполнение технических условий для изготовления штамповой оснастки и её последующей доработки

В подсистеме «изготовление» должна быть реализована вся та совокупность требований к технологической оснастке, которая выработана подсистемой «моделирование» и которая обеспечит соответствующие изменения формы заготовки на последовательных этапах деформирования и, в конечном счете, позволит получить устойчивый процесс штамповки качественных деталей. При необходимости подсистема выполняет коррекцию (доработку) штамповой оснастки.

В соответствии с планируемой последовательностью деформирования заготовки (см. рис. 2) изготовлена матрица и вставки: вытяжная плита, большой конус (который включает в себя верхний, средний и нижний элементы), малый конус, верхняя, средняя и нижняя донные плиты, резиновая накладка. По результатам отладки технологического процесса практически все вставки и их элементы подверглись доработке с целью модификации геометрических параметров и совершенствования процесса формообразования.

Так, в частности, малый конус подвергся обработке дважды. Для перехода № 4 первичная форма конуса, которая определяет формовку внутренней четверти тора, оказалась слишком большой и на окончательном переходе № 5 образовались гофры и складки под действием окружающих сжимающих напряжений избыточной величины.

При повторной обработке малого конуса его диаметр был уменьшен (рис. 4) с учетом результатов отработки процесса штамповки и коррекции аналитических эталонов. Благодаря этой доработке обеспечено лучшее соотношение площадей заготовки между переходами № 4 и № 5 (см. табл. 1) и достаточная толщина «юбки конуса» с учетом условий прочности при импульсном нагружении и жесткости при механической обработке. Для этой вставки в комплект баз для сборки и обработки назначили две поверхности: плоскую А и цилиндрическую Б. Вспомогательной базой В для дополнительной опоры на центральный выступ матрицы в условиях больших импульсных нагрузок служила боковая внутренняя поверхность «юбки».

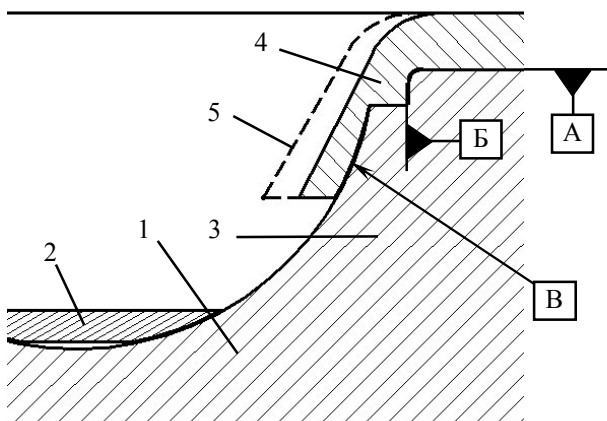


Рис. 4. Схема установки и доработки малого конуса оснастки для перехода № 4: 1 – матрица; 2 – нижняя донная вставка; 3 – центральный выступ матрицы; 4 – малый конус; 5 – предварительная форма малого конуса; А и Б – базовые поверхности матрицы и вставок; В – вспомогательная база

Аналогичные базы А и Б выполнены и на центральном выступе матрицы. Все другие элементы оснастки (верхний элемент большого конуса, вставка окончательной формы), которые устанавливаются на центральный выступ, выполнены с соблюдением тех же базовых поверхностей А и Б. Для базы Б принята посадка H11/d10 для обеспечения заданной точности ($\pm 0,5$ мм) листовой детали на окончательном переходе.

Для узла большого конуса средний и нижний элементы базировали по верхнему элементу по плоскости в вертикальном направлении и по буртику в радиальном направлении. Особенностью большого конуса в сборе является необходимость базирования по двум плоским поверхностям: базе А на центральном выступе матрицы и верхней плоскости верхней донной вставки – базе З (рис. 5). Такой подход обеспечивал надежную опору большого конуса для восприятия больших импульсных нагрузок. Однако он потребовал согласования точности размеров всех вставных элементов, входящих в комплект оснастки по переходам № 2 и № 3.

Здесь известную сложность представляет изготовление нижней донной вставки с высокой точностью, которая опирается в дно матрицы по тороидальной поверхности. Средняя и верхняя донные вставки также имеют фрагменты тороидальной поверхности, но они не выполняют силовой функции, а служат для базирования в радиальном направлении. Их плоские поверхности служат для базирования в вертикальном направлении и восприятия силового нагружения в момент удара заготовки.

Точность установки элементов оснастки на промежуточных переходах может быть ниже, чем на

окончательном. Поэтому для их координирования в радиальном направлении по базам В, Д, Е, Ж приняты посадки H12/b11, которые обеспечивают приемлемую величину зазора для сборки и работы в условиях импульсного нагружения.

Изначально базы А и Б были «привязаны» к основным базам матрицы – верхняя вытяжная плоскость и два отверстия для штифтов. Поэтому базы А и Б обработаны с высокой точностью относительно основных баз матрицы. Все простые и сложные поверхности вставных элементов обработаны относительно баз А и Б.

Нужно отметить, что основные базы матрицы используются для базирования оснастки в прессе ЭГШ и, таким образом, обработка листовой заготовки и обработка штампа выполняются в единой системе координат (базирования).

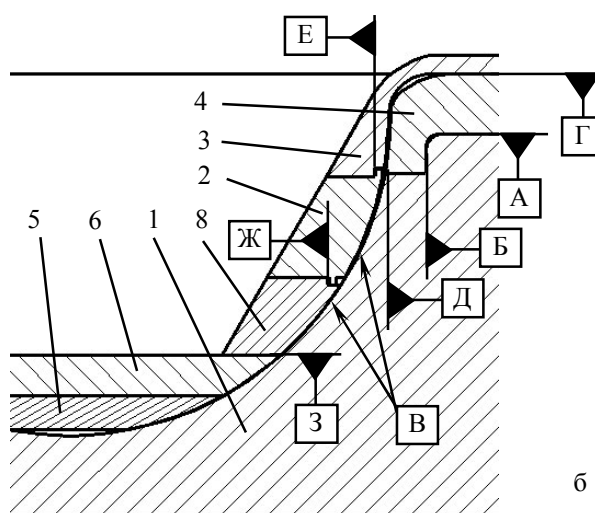
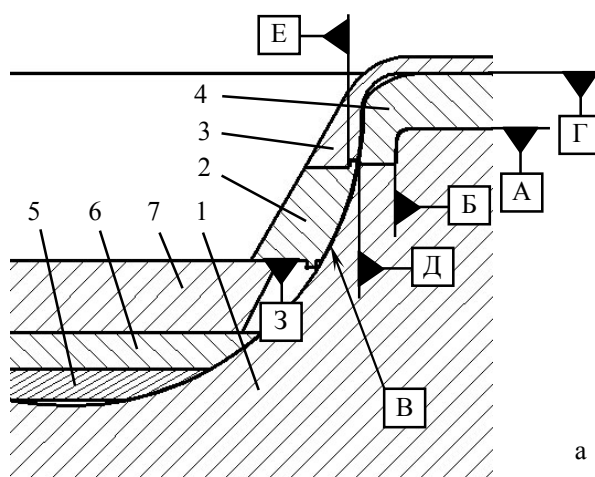


Рис. 5. Схемы установки элементов большого конуса оснастки для перехода № 2 (а) и перехода № 3 (б): 1 – матрица; 2 – средний элемент; 3 – верхний элемент; 4 – вставка окончательной формы; 5 – нижняя донная вставка; 6 – средняя донная вставка; 7 – верхняя донная вставка; 8 – нижний элемент

Заключение

В работе выполнен анализ процесса электрогидравлической штамповки листовой детали «полотор» и технологии изготовления штамповой оснастки. Выявлены технологические связи между двумя процессами и установлена общность подходов к выбору баз для обработки давлением и резанием с последующей доработкой.

Определена целесообразность использования и высокая эффективность станков с числовым программным управлением для изготовления штампов и выполнения доработок в условиях отладки процессов штамповки листовых деталей сложных форм. Разработаны рекомендации по проектированию штамповой оснастки с учетом оптимизации процессов штамповки и доработки технологической оснастки.

Литература

1. Мялица А.К. Сравнение информационных свойств чертежа и аналитического эталона / А.К. Мялица // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. – Х.: ГАКУ "ХАИ", 1999. – Вып. 4. – С. 37-43.

2. Антоненко А.А. Исследование процесса формообразования листовых деталей типа полоторов / А.А. Антоненко, М.Е. Тараненко // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: зб. наук. пр. – Краматорськ: ДДМА, 2000. – С. 98-101.

3. Жердев Н.С. Технология изготовления тонкостенных элементов трубопроводных систем последовательной электрогидравлической штамповкой: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.05 / Н.С. Жердев. – Х., 2004. – 141 с.

Поступила в редакцию 30.05.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Н. Доценко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

НАЛАГОДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО ШТАМПУВАННЯ В СИСТЕМІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА

М.К. Князєв, Р.В. Варнас, В.Ю. Безпалій

Виконано аналіз відпрацювання процесу електрогидравлического штампування листової деталі «напівтор» і потрібної конфігурації штампової оснастки по переходам в системі технологічної підготовки виробництва. Розглянуто особливості проектування процесів штампування і доробки штампової оснастки в підсистемах «моделювання» і «виготовлення». Показано необхідність ув'язки параметрів процесів формоутворення листових деталей, конструкції штампової оснастки та їх моделювання в єдиній системі. Установлена висока ефективність верстатів з числовим програмним керуванням для виготовлення штампів та виконання їх доробок для листових деталей складних форм. Розроблено технічні умови щодо проектування штампової оснастки з урахуванням оптимізації процесів штампування і доробок технологічної оснастки.

Ключові слова: технологічна підготовка виробництва, штампування, імпульсний, лист, оснастка, базування.

ADJUSTMENT OF ELECTROHYDRAULIC FORMING PROCESSES IN SYSTEM OF PRODUCTION TOOLING PREPARATION

M.K. Knyazyev, R.V. Varnas, V.Yu. Bezpaluy

Analysis of adjustment of electrohydraulic forming of the half-torus sheet component and required configurations of forming tools along manufacturing steps in system of production tooling preparation are performed. Peculiarities of forming process designing and re-machining of forming tools in «modelling» and «manufacture» subsystems are considered. Necessity of coordination of sheet-components forming process parameters, designs of forming tools and their modelling in the common system are shown. High efficiency of CNC machines in manufacture of dies for sheet components of complicated shapes is determined. Engineering specifications for forming tools designing with consideration of optimisation of forming processes and re-machining of forming tools are developed.

Key words: production tooling preparation, forming, impact, sheet, tools, locating.

Князєв Михаил Климович – канд. техн. наук, доцент, ст. научн. сотр., доцент кафедры технологии производства двигателей летательных аппаратов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: knyazyev@yandex.ua.

Варнас Радун Владо – младший научный сотрудник кафедры технологии производства летательных аппаратов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: cad_it@d2.khai.edu.

Беспалый Вячеслав Юрьевич – старший лаборант кафедры технологии производства двигателей летательных аппаратов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: bespaly1@yandex.ua.