

Научная статья
УДК 621.7.072

Проектирование гибочной оснастки и шаблонов для листовых деталей, используемых в машиностроении

Станислав Игоревич Осмоловский¹, Галина Владимировна Короткова²,
Максим Владимирович Гончаров³

^{1,2,3} филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске (СФМЭИ), Смоленск, Россия

¹stanislav67223@gmail.com

²kgv49@rambler.ru

³GoncharovMaxV@yandex.ru

Аннотация. В связи с высоким спросом на листовые детали в авиационной и других отраслях машиностроения, а также увеличением объемов их производства, актуальным стало проектирование гибочной оснастки и шаблонов. Для примера проектирования была взята типовая деталь в машиностроении – диафрагма. Были спроектированы четыре шаблона и две оправки с прижимами такие как: шаблон развертки детали, шаблон разный, шаблон внутреннего контура и оправки с прижимами первого, второго перехода. Рассмотрены индивидуальные особенности при проектировании шаблонов и оправок для гибки. В статье представлено несколько способов расчета развертки: расчет с помощью формул и моделирование в 3d развертки детали. Пружинение детали учтено при проектировании оправок и рассчитано несколькими путями: математическим, табличным и опытным.

Ключевые слова: шаблон, формблок, проектирование оснастки, гибка, диафрагма, расчет пружинения, расчет развертки.

Для цитирования: Осмоловский С.И., Короткова Г.В., Гончаров М.В. Проектирование гибочной оснастки и шаблонов для листовых деталей, используемых в машиностроении // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2024. № 2 (40).

Original article

Design of bending tools and templates for sheet metal parts used in mechanical engineering

Stanislav I. Osmolovsky¹, Galina V. Korotkova², Maxim V. Goncharov³

^{1,2,3} Branch of the National Research University Moscow Power Engineering Institute in Smolensk (SFMEI), Smolensk, Russia.

¹stanislav67223@gmail.com

²kgv49@rambler.ru

³GoncharovMaxV@yandex.ru

Abstract. Due to the high demand for sheet metal parts in aviation and other branches of mechanical engineering, as well as an increase in their production volumes, the design of bending tools and templates has become relevant. For an example of design, a typical part in mechanical engineering was taken – the diaphragm. Four templates and two mandrels with clamps were designed, such as: a part scan template, a different template, an internal contour template and mandrels with clamps of the first and second transition. The individual features in the design of templates and mandrels for bending are considered. The article presents several ways to calculate the sweep: calculation using formulas and 3d modeling of the sweep of a part. The spring of the part is taken into account when designing the mandrels and calculated in several ways: mathematical, tabular and experimental.

Keywords: template, formblock, tooling design, bending, diaphragm, spring calculation, sweep calculation.

For citation: Osmolovsky S.I., Korotkova G.V., Goncharov M.V. Design of bending tools and templates for sheet metal parts used in mechanical engineering. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2024. №2 (40).

Актуальность темы. Согласно данным Росстата за три квартала 2023 года совокупный оборот предприятий всех секторов машиностроения значительно увеличился к аналогичному периоду 2022 года на 26.1%. В целом можно говорить о выходе машиностроительного производства к докризисным уровням и наращиванию объёмов выпуска продукции по широкому спектру наименований. Предварительные данные за январь 2024 года позволяют говорить о продолжении позитивных тенденций в машиностроении [5].

Масштабы заготовительно-штамповочных работ характеризуются объемом технологической подготовки производства. Так, к примеру для серийного производства самолета средней категории необходимо изготовить: инструментальных штампов 2,5...3,0 тысячи, свинцово-цинковых штампов 2,0...2,5 тысячи, оправок и формблоков 3,5...4,0 тысячи, несколько сот обтяжных пуансонов, десятки тысяч шаблонов и др. [2]

Из-за увеличения масштабов производства листовых деталей область производства и проектирования оснастки и шаблонов является крайне востребованной.

Введение. Рассмотрим проектирование комплекта оправок и шаблонов в производстве листовых деталей. Для примера возьмем типовую деталь, используемую в машиностроении – диафрагма (рис. 1).

Материал детали выберем Д16АМ, так как он один из самых распространенных для листовой гибки и подходящий по механическим показателям.

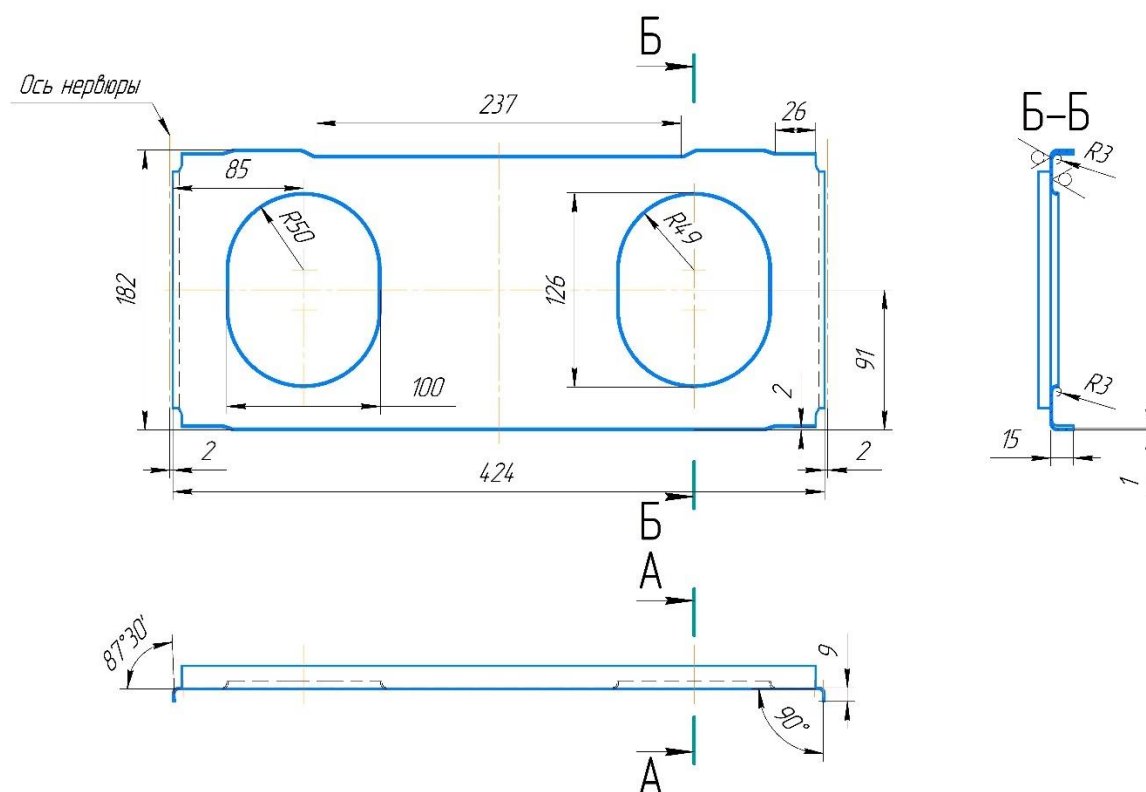


Рис. 1. Деталь диафрагма

Для изготовления данной детали требуется комплект шаблонов таких, как:

1. ШВК (шаблон внутреннего контура) – требуется для изготовления и контроля формообразующей оснастки.

2. ШР (шаблон разный) – изготовление, увязка и контроль детального комплекта шаблонов, контроль деталь и заготовительно-штамповочной оснастки.

3. ШРД (шаблон развертки детали) – разметка и контроль разверток деталей, изготовление вырубных штампов и шаблонов фрезерования.

При проектировании использовался СТО 07506518.14.046-2021.

Для производства листовых деталей используется формблок или оправка. Рассмотрим использования эластичной среды в прессе такой как полиуретан и выберем формблок.

Формблок – это оснастка, предназначенная для формования листовых деталей посредством эластичной среды.

При проектировании шаблонов должны учитываться особенности производства. Так, например, на все шаблоны наносится информация о цехе изготовителя детали, название детали с указанием поверхности шаблона, по которой контролируется левая и правая сторона (ПОК и ОТР) [7]. Также обязательно присутствует отверстие, за которое подвешивается шаблон при его хранении на складе (обычно имеет вид треугольника). Шаблоны красятся в черный цвет, а информация, нанесенная с помощью кернения, красится побелкой. Материал для изготовления – Д16Т или стали разной толщины.

Основная часть. Перед построением ШРД необходимо посчитать размеры детали в развертке и по его контуру сконструировать шаблон.

Рассчитать можно двумя способами:

1) Расчет с помощью формул определения длины развертки заготовки детали [2].

$$l = 2l_1 + \varphi \cdot R_0, \quad (1)$$

$$R_0 = \sqrt{R_{\text{вн}} \cdot R_{\text{н}}}, \quad (2)$$

где φ – угол изгиба в радианах; R_0 – радиус нейтрального слоя;

l – длина развертки детали; $R_{\text{вн}}$ – внутренний радиус;

$R_{\text{н}}$ – наружный радиус; l_1 – сумма длин прямых участков.

Так как данный способ неудобен в вычислениях из-за того, что приходится считать развертку для каждого участка разной длины и радиуса и точность гораздо ниже программного вычисления.

2) Спроектируем 3D модель детали (рис. 2) и смоделируем ее развертку используя листовое тело.

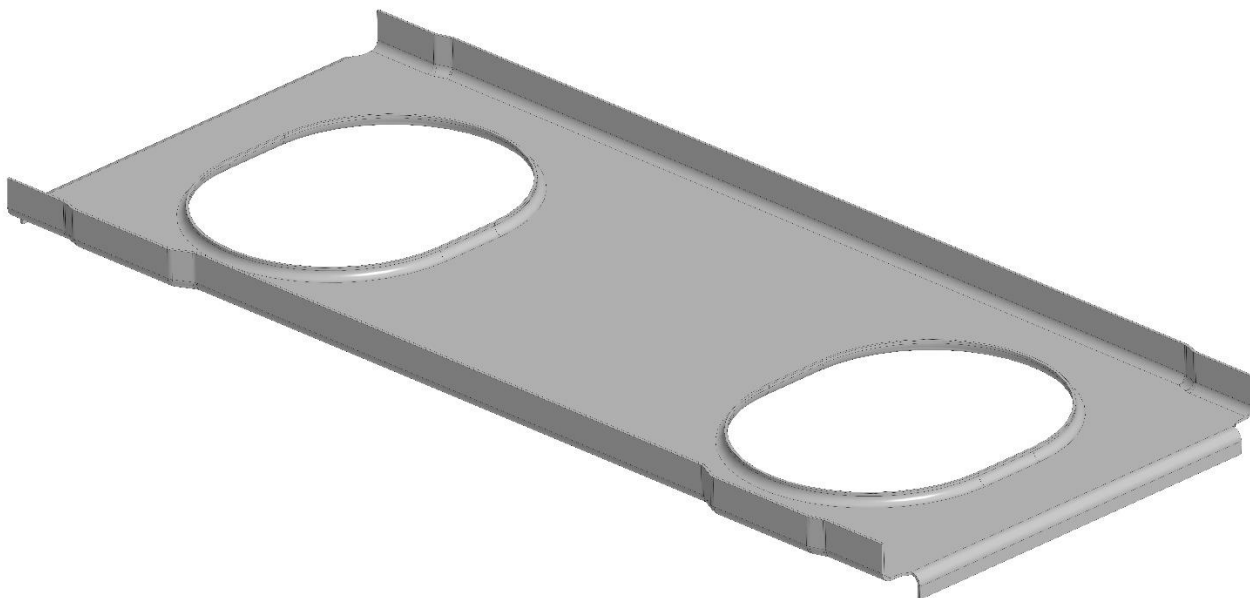


Рис. 2. Модель детали

Операцией «разогнуть» выполним развертку детали и с помощью конструирования проектируем технологические выступы для базирования деталей и шаблонов – «уши». Далее выдавливанием выполняем вырез для крепления на крючке. После этого наносим всю необходимую информацию на шаблон (рис. 3).

Особенности шаблона ШРД:

1. Шаблон конструируется на основе расчетов развертки детали.
2. В шаблоне должны присутствовать «уши», для крепления и позиционирования детали на формблочке (с помощью шпилек). Обычно берутся стандартные размеры 25×25 с отверстиями $\varnothing$ 5 мм.

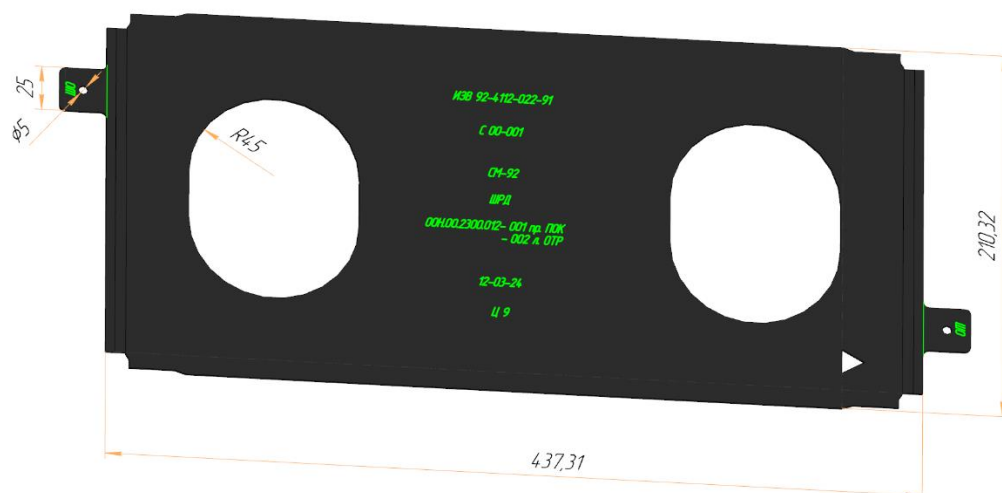


Рис. 3. Шаблон развертки детали

Перед построением шаблона ШВК рассчитаем пружинение детали после гибки на формблоке.

Сделать это можно тремя способами:

1) Расчет с помощью формул. Одной из самых применяемых зависимостей для теоретического определения угла пружинения является упрощенная формула В.П. Романовского [1].

Для П-образной (двуугольной) гибки:

$$\operatorname{tg} \beta = 0,75 \cdot \frac{l_1}{k \cdot S} \cdot \frac{\sigma_T}{E}, \quad (3)$$

где k – коэффициент, определяющий положение нейтрального слоя;

l_1 – плечо гибки; σ_T – предел текучести; E – модуль упругости.

$$l_1 = r_v + r_n + 1,255, \quad (4)$$

где r_v и r_n радиус внутренний и наружный детали.

$$k = 1 - x, \quad (5)$$

где x – коэффициент, определяющий положение нейтрального слоя в зависимости от $\frac{r}{s}$.

Подставим формулы 4 и 5 в формулу 3 и получим:

$$\arctg \beta = 0,75 \cdot \frac{8,225}{0,53 \cdot 1} \cdot \frac{240}{72000} = 0,0388$$

$$\beta = \arctg(0,0388) = 2^{\circ}15'$$

2) Подбор по таблице. Взять табличные значения в справочнике, выбрав свой материал.

Из таблицы на материал Д16АМ подберем значение пружинения (табл. 1).

Таблица 1

Углы пружинения для алюминиевых сплавов в градусах [3]

Марка сплава	$\frac{r}{S}$	Отожженный сплав			Нагартованный сплав		
		Угол гибки в градусах					
		120	90	60	120	90	60
Д16	2	1,5	2,5	3,0	3,5	4,5	6,0
	5	2,5	4,0	5,0	6,5	8,5	10,0
	8	4,5	4,5	6,5	10,0	12,0	14,0
	10	5,0	6,5	8,0	12,0	14,0	16,0

Из таблицы 1 наиболее подходящее значения для Д16АМ при угле гибки 90° равно $2,5^{\circ} = 2^{\circ}30'$. Для П-образных деталей табличное значение пружинения умножается на $0,7 \div 0,8$.

$$2,5 \cdot 0,8 = 2^{\circ}$$

Возьмем среднее значение пружинения – $2^{\circ}15'$.

Значения не сильно разнятся с расчётными, из этого следует, что их можно признать достоверными.

3) Подбор ШВК и оправки опытным путем. При конструировании сложных оправок, требующих высокой точности, практически всегда требуется доработка, ведь поменяв или неправильно подобрав давление, которое должно использоваться при гибке детали, пружинение будет работать не с той точностью, которая требуется.

Все вышеперечисленное приводит к тому, что деталь будет дорабатываться (догибаться) вручную или формироваться в несколько

переходов. Именно поэтому требуется сначала гибка опытных образцов и потом, при необходимости, последующая доработка формблока и ШВК.

Для проведения опытных исследований берутся несколько образцов, от трех и более, которые формуются на прессе. Далее точным щупом измеряется отклонение от формблока до конца борта детали (мм). По данным, полученным в ходе исследования, составляется карта обмера, благодаря которой конструктор дорабатывает оправку и шаблоны.

Особенности шаблона ШВК:

- 1) шаблон конструируется на основе внутреннего контура детали;
- 2) в шаблоне должны присутствовать «уши», для крепления и позиционирования детали на формблоке (с помощью шпилек). Обычно берутся стандартные размеры 25×25 с отверстиями $\varnothing$ 5 мм [6];
- 3) кроме стандартной информации на шаблон наносится малка ($M 0^\circ$), пружинение (ПРУЖ $2^\circ 15'$), длина и направление борта (Б9Н, Б5Н КРУГ) [7].

На основе данных построим шаблон ШВК первого перехода (рис. 4).

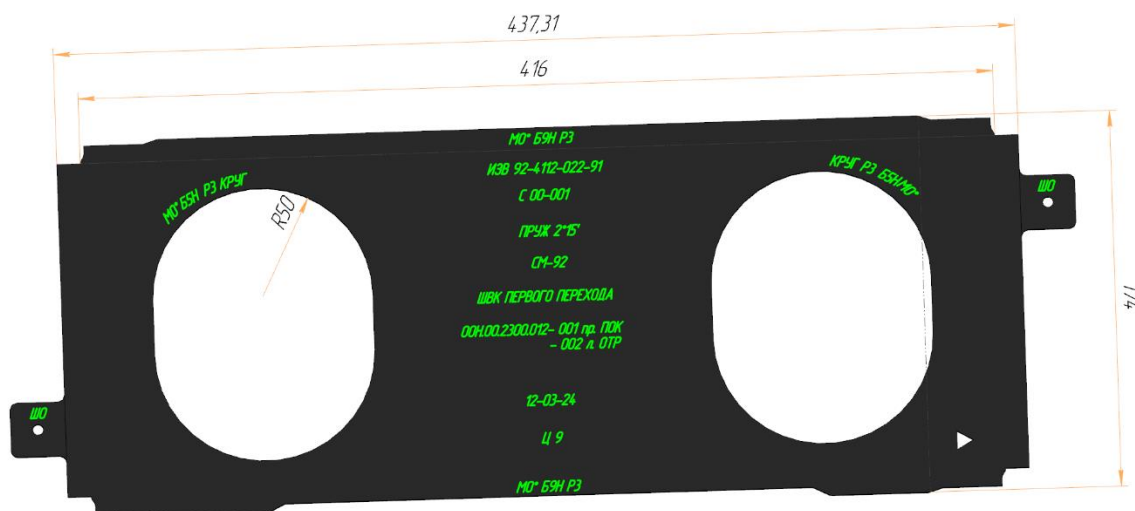


Рис. 4. Шаблон внутреннего контура первого перехода

Проектирования формблоков с прижимом для изготовления деталей с помощью эластичной среды имеет ряд особенностей [4]:

1. Подбор материала для оправки с прижимом осуществляется по количеству циклов и давлению для гибки детали. Так как деталь не типовая и обычно используются две детали такого типа и с такими размерами на машину, то предположим, что количество циклов 16 в месяц, а давление 200 кг/см^3 , что является средним для деталей Д16АМ толщиной 1 мм. Из данных приходим к выводу о нецелесообразности использования стали. Материал для изготовления формблока с прижимом Д16Т.

2. При проектировании оправки с прижимом все острые кромки на открытых участках должны быть сняты, так как при формовании детали острые кромки будут резать подушку из полиуретана или резины. Открытые ребра оправки должны иметь радиус не менее $R = 3 \text{ мм}$ или фаску 4×4 под углом 45° .

3. Пружинение рассчитано ранее и равно $2^\circ 15'$.

4. Высота оправки не менее длины гнущегося борта плюс 15 мм. Если при проектировании не учитывать добавление высоты оправки, то борт не сможет полностью обогнуть оправку из-за вытеснения объема эластичной среды (объем вытесняет борт). Отбортовки аналогично.

5. Информация, обязательно наносимая на формблок: номер чертежа оснастки, номер перехода, если их два и более, объем оправки с прижимом (при позиционировании на прессе является важной информацией).

6. Если масса оправки 20 кг и более обязательно на формблоке размещают РЫМ болты, для перемещения оправки с помощью кран штабелера. Масса формблока с прижимом 9,8 кг, что меньше требуемой массы для установки РЫМ болтов, установка в проектируемую оправку не обязательна.

7. Контур прижима должен быть меньше контура оправки на ширину радиусной зоны оправки плюс 0,2 мм.

8. Для крепления заготовки и прижима используются стандартные шпильки (крепления) $\varnothing 5$ мм и высотой 15 мм. Отверстие под втулки в прижипе проектируются расчетом по формуле:

$$l = h - h_1 + l_{\text{пр}} = 15 - 6 + 0,2 = 9,2 \text{ мм}, \quad (6)$$

где l – глубина технологического отверстия под фаску; h – высота шпильки; h_1 – высота шпильки внутри прижима; $l_{\text{пр}}$ – высота припуска на глубину в отверстии под шпильку прижима (от 0,2 до 0,5 мм).

На основе данных построим формблок первого перехода (рис. 5).

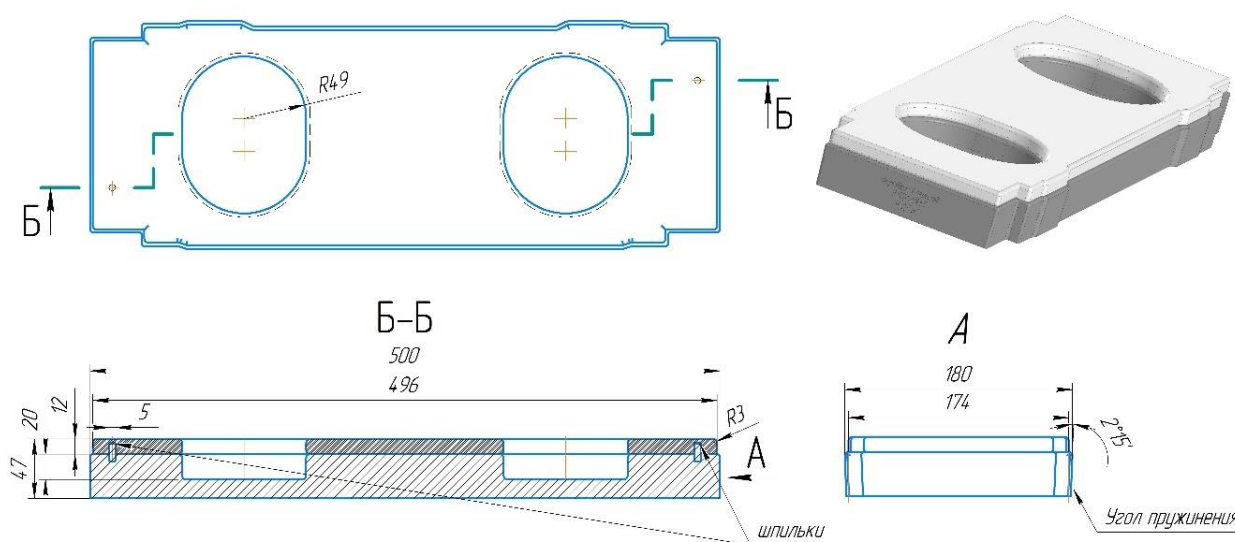


Рис. 5. Формблок с прижимом первого перехода

ШВК и формблок второго перехода проектируется по аналогии с первым переходом.

Особенностью ШВК второго перехода является отсутствие «ушей», так как позиционирование на оправке осуществляется благодаря вырезам отбортовок. Радиус отверстий для контроля отбортовок взят по внешнему краю радиусной зоны (рис. 6).

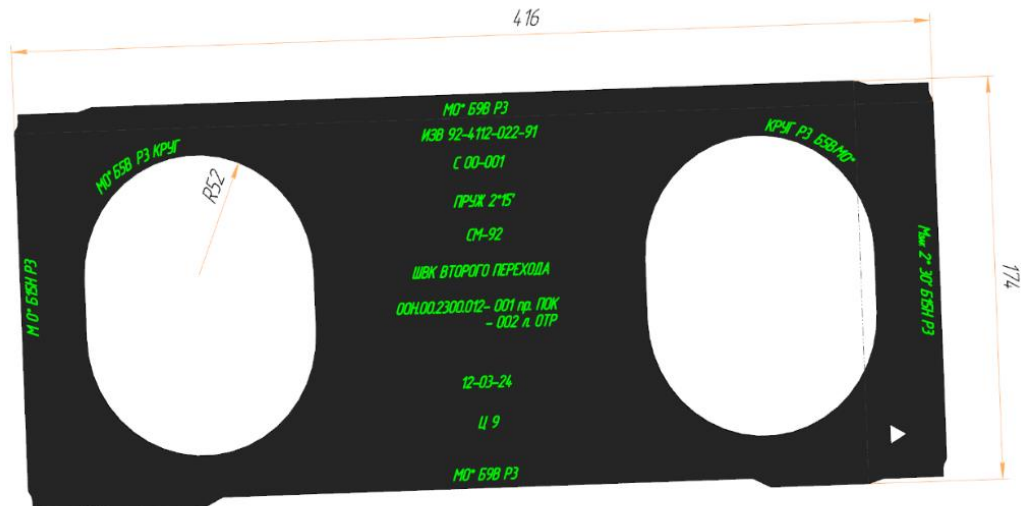


Рис. 6. Шаблон внутреннего контура второго перехода

На формблоке второго перехода отсутствуют шпильки, так как базирование детали и ее крепление осуществляется благодаря отбортовкам (рис. 7). Прижим спроектирован с расчетом толщины материала детали (1 мм) и обнижен на нее. Угол $4^{\circ} 45'$ взят с расчетом пружинения и закрытой малки борта ($2^{\circ} 15' + 2^{\circ} 30' = 4^{\circ} 45'$).

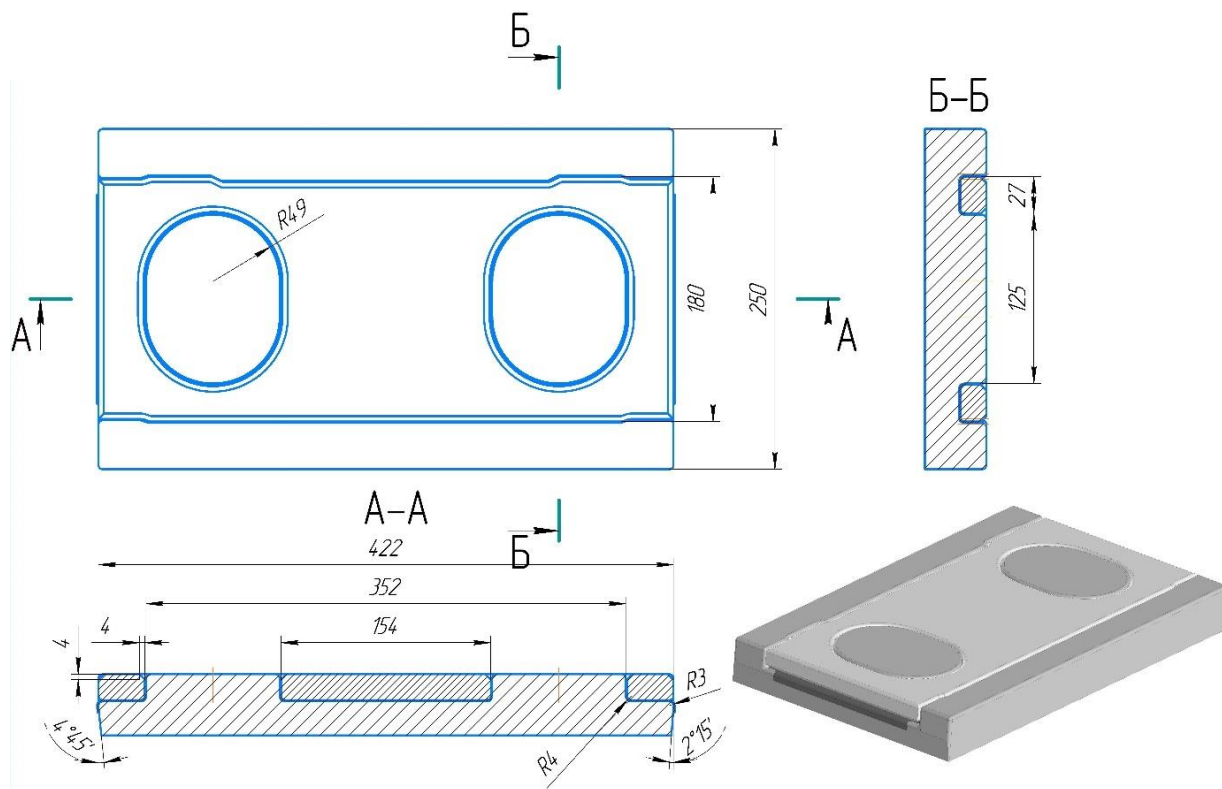


Рис. 7. Формблок с прижимом второго перехода

Шаблон ШР повторяет внутренний контур детали и предназначен для контроля контура готовой детали (рис. 8). На шаблон ШР наносится вся информация, предназначенная для контроля контура детали. Радиус отверстий для контроля отбортовок взят по внутренней краю радиусной зоны. Конструируется шаблон с учетом эквидистанты до начала радиусной зоны, повторяя контур детали минус радиусная зона и толщина материала.

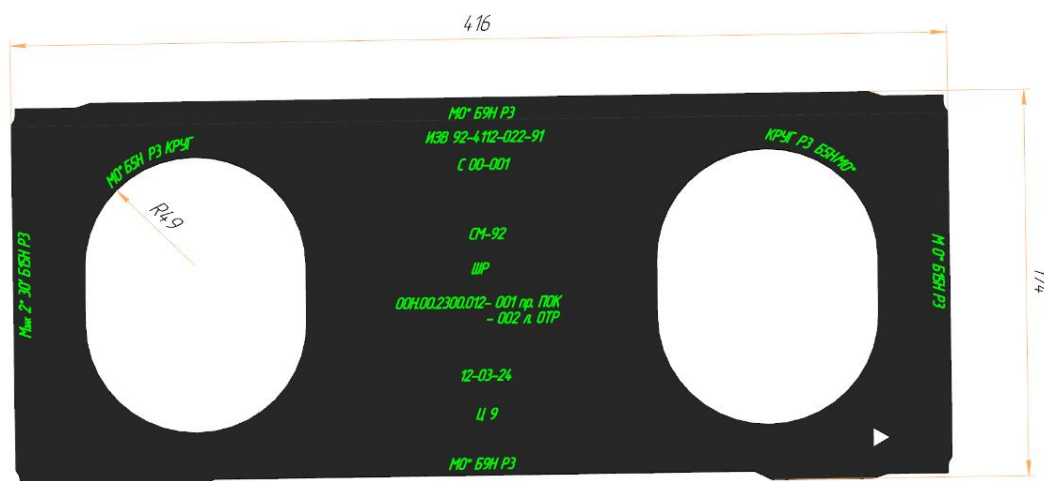


Рис. 8. Шаблон разный

Вывод. Таким образом, при проектировании гибочной оснастки и шаблонов для листовых деталей, используемых в машиностроении, были рассмотрены возможные варианты этапов разработки шаблонов и оснастки детали «диафрагма». Учтены особенности отдельных шагов при проектировании оснастки и представлен типовой комплект формблоков и средств для контроля контура деталей и оправок.

Список источников

1. Билибин, К. И. Холодная штамповка : учебное пособие по курсу «Технология электронных средств» / К. И. Билибин, В. П. Григорьев. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. – 68 с. – EDN RWGSVZ.

2. Горбунов, М. Н. Технология заготовительно-штамповочных работ в производстве самолетов: Учебник для вузов по спец. "Самолетостроение" / М. Н. Горбунов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1981. – 224 с.
3. Корсаков, В. Д. Справочник мастера по штампам / В. Д. Корсаков. – Ленинград: Машиностроение. [Ленингр. отд-ние], 1972. – 191 с.
4. Проектирование штампов листовой и объемной штамповки: учебное пособие / В. Н. Кокорин, Ю. А. Титов, О. И. Морозов, Н. В. Мишов; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ульяновский государственный технический университет". – Ульяновск: УлГТУ, 2021. – 66 с. – ISBN 978-5-9795-2127-5.
5. Росстат. Динамика промышленного производства в 2023 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/313/document/231621> (дата обращения 22.04.2024).
6. ОСТ 1 51452-73 Шаблоны плазовые. Назначение и обозначение технологических отверстий, 84 с.
7. ОСТ 1 51455-73 Шаблоны плазовые. Условные обозначения на шаблонах, 69 с.

References

1. Bilibin K.I., Grigoriev V.P. *Holodnaya shtampovka: ucheb. Posobie po kursu «Tekhnologiya elektronnyh sredstv»* (Cold stamping: textbook. Manual for the course "Electronic media technology"), Moscow, Publishing house of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bauman Moscow State Technical University», 2010, 68 p.
2. Gorbunov M. N. *Tekhnologiya zagotovitel'no-shtampovochnykh rabot v proizvodstve samoletov* (Technology of blanking and stamping work in aircraft production), Moscow, Mechanical Engineering, 1981, 224 p.
3. Korsakov V. D. *Spravochnik mastera po shtampam* (Handbook of a stamp master), Leningrad, Mechanical Engineering, 1972, 192 p.
4. Kokorin V. N., Titov Yu. A., Morozov O. I., Mishov N. V. *Proektirovanie shtampov listovoj i ob'emnoj shtampovki* (Designing of sheet and volumetric stamping dies), Ulyanovsk, Ulyanovsk State Technical University, 2021, 67 p.
5. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/313/document/231621>
6. URL: <https://www.standards.ru/document/3603054.aspx>
7. URL: <https://www.standards.ru/document/3567968.aspx>

Рецензент: В.Н. Денисов, д-р техн. наук, доц., СФМЭИ

Информация об авторах

Осмоловский Станислав Игоревич, магистрант, СФМЭИ.

Короткова Галина Владимировна, канд. биол. наук, СФМЭИ.

Гончаров Максим Владимирович, канд. техн. наук, доц., СФМЭИ.

Information about the authors

Osmolovsky Stanislav I., undergraduate, SFMEI.

Korotkova Galina V., Candidate of Sciences (Biological), SFMEI.

Goncharov Maxim V., Candidate of Sciences (Technical), associate professor, SFMEI.

Статья поступила в редакцию 11.05.2024; одобрена после рецензирования 22.05.2024; принята к публикации 31.05.2024.

The article was submitted 11.05.2024; approved after reviewing 22.05.2024; accepted for publication 31.05.2024.