

## Машиностроение Mechanical engineering

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.9

doi: 10.30987/2782-5957-2025-9-4-10

### УЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ДЕТАЛЕЙ И СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРЕСС-ФОРМ

Александр Владимирович Хандожко<sup>1✉</sup>, Андрей Николаевич Щербаков<sup>2</sup>, Виктор Александрович Хандожко<sup>3</sup>, Светлана Олеговна Федонина<sup>4</sup>, Нина Юрьевна Лакалина<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

<sup>1</sup> chandosh@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0604-8537>

<sup>2</sup> taiga78@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1485-0415>

<sup>3</sup> vichandozhko@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-5212-0616>

<sup>4</sup> fedonina.sv2015@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0472-4845>

<sup>5</sup> uhastyi@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4947-2431>

#### Аннотация

Рассмотрены вопросы уточнения методик проектирования пресс-форм с учетом тепловых деформаций деталей и сборочных единиц. Существующие методики проектирования пресс-форм для пластмасс сложились достаточно давно. Они ориентированы в большей мере на изделия машиностроения, электротехники, микроэлектроники и т.п. Тепловые деформации в этих методиках в целом не учитываются. Однако рост требований по точности при желании повысить производитель-

ность процесса приводит к тому, что в ряде случаев эти деформации становятся сопоставимыми с допуском на исполнительные размеры. В данной работе изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований по способам оценки тепловых деформаций, расчетным схемам, определению областей, для которых такой учет и коррективировка методик необходимы.

**Ключевые слова:** пресс-формы, деформации, проектирование, пресс-формы, термопласты.

#### Ссылка для цитирования:

Хандожко А.В. Учет тепловых деформаций деталей и сборочных единиц при проектировании пресс-форм / А.В. Хандожко, А.Н. Щербаков, В.А. Хандожко, С.О. Федонина, Н.Ю. Лакалина // Транспортное машиностроение. – 2025. – № 9. – С. 4-10. doi: 10.30987/2782-5957-2025-9-4-10.

Original article

Open Access Article

### ACCOUNTING OF THERMAL DEFORMATIONS OF PARTS AND ASSEMBLY UNITS IN MOLD DESIGN

Aleksandr Vladimirovich Khandozhko<sup>1✉</sup>, Andrey Nikolaevich Shcherbakov<sup>2</sup>, Victor Aleksandrovich Khandozhko<sup>3</sup>, Svetlana Olegovna Fedonina<sup>4</sup>, Nina Yurievna Lakalina<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

<sup>1</sup> chandosh@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0604-8537>

<sup>2</sup> taiga78@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1485-0415>

<sup>3</sup> vichandozhko@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-5212-0616>

<sup>4</sup> fedonina.sv2015@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0472-4845>

<sup>5</sup> uhastyi@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4947-2431>

#### Abstract

The issues of finding better methods for designing molds taking into account the thermal deformations of parts and assembly units are considered. The exist-

ing methods of designing molds for plastics have been developed for a long time. They are focused more on products of mechanical engineering, electrical engi-

neering, microelectronics, etc. Thermal deformations in these methods are generally not taken into account. However, the increase in accuracy requirements, if desired, to increase the productivity of the process leads to the fact that in some cases these deformations become comparable with the tolerance for design dimensions. This paper presents the results of theoretical

*Reference for citing:*

*Khandozhko AV, Shcherbakov AN, Khandozhko VA, Fedonina SO, Lakalina NYu. Accounting of thermal deformations of parts and assembly units in mold design. Transport Engineering. 2025;9:4-10. doi: 10.30987/2782-5957-2025-9-4-10.*

Корпусирование микросхем с помощью полимеров является основным методом при изготовлении изделий общего назначения. Этот метод гораздо проще и производительней, по сравнению с другими способами корпусирования. Чаще в качестве полимера используют терморезистивные пластмассы на основе эпоксидных, реже полиэфирных смол. Эти пластмассы при нагреве выше определенных температур полимеризуются, образуя корпус микросхемы. Температура полимеризации немного разнится для разных композиций, но в целом близка к 160...170 °С. Рамка с впаянными и приклеенными кристаллами устанавливается в пресс-форму при таких температурах. Естественно, при нагреве, как рамка, так и пресс-форма расширяются и исполнительные размеры, рассчитанные для комнатной температуры, меняются. При небольшом числе рабочих позиций в пресс-форме и малых габаритах тепловые деформации невелики и сопоставимы с погрешностью их изготовления.

Величина тепловых деформаций изменяется по линейному закону и зависит от перепада температур, и от линейных размеров пресс-формы. Основным направлением роста производительности корпусирования является увеличение многоместности, т.е. числа рабочих формующих поверхностей. Поэтому есть устойчивая тенденция роста числа рабочих полостей и, соответственно, габаритов, и тепловых деформаций. Простые предварительные оценки величины тепловых деформаций показали, что для относительно многопозиционных рамок величина тепловых деформаций настолько велика, что её нельзя игнорировать. Переход на термопласты, которые находят все большее применение

and experimental studies on methods for assessing thermal deformations, design diagrams, and finding areas for which this accounting and adjustment of methods are necessary.

**Keywords:** molds, deformations, design, thermoplastics.

при корпусировании, делает вопрос учета тепловых деформаций еще острее – там температуры могут быть существенно больше, до 250 °С.

Таким образом, в ряде случаев, методу проектирования рабочих полостей пресс-форм следует корректировать на величину тепловых деформаций. При этом есть несколько вопросов. В первую очередь, необходимо рассмотреть возможные методики по оценке тепловых деформаций, их адекватность и удобство использования в инженерной деятельности.

Задача может решаться как плоская (сильно упрощенная схема) и как пространственная. При первом подходе деформации при нагреве оцениваются по известной зависимости:

$$\Delta l = \alpha \times L \times \Delta T, \quad (1)$$

где  $L$  – изменяющийся размер на детали (сборке),  $\Delta T$  – перепад температур,  $\alpha$  – коэффициент теплового расширения.

При этом расширяются под действием тепла, как пресс-форма, так и рамка с кристаллами, уложенная в пресс-форму на ориентирующие штифты.

Для осесимметричных тел расширение идет равномерно во всех направлениях. Поэтому расчеты достаточно выполнять только для части конструкции, разбивая её по оси симметрии.

Был выполнен расчет тепловых деформаций положения рабочих формующих полостей пресс-формы. Расчет выполнен для исполнения формующей матрицы пресс-формы из стали ХВГ и рамки, несущей кристаллы из сплава 42Н. При этом тепловая деформация пресс-формы увеличивает коррекцию размера ( $K_p$ ), тепловое расширение рамки – уменьшает (рис. 1).

При нагреве пресс-форма расширится и произвольная  $i$ -я оформляющая полость, расположенная от оси симметрии на расстоянии  $l_1$ , сместится на величину  $\Delta l_1$ , рамка расширится и  $i$ -я позиция выводов,

расположенная на том же расстоянии  $l_1$ , сместится на величину  $\Delta l_2$ . То же самое относится к положению фиксаторов для базирования рамки в пресс-форме.

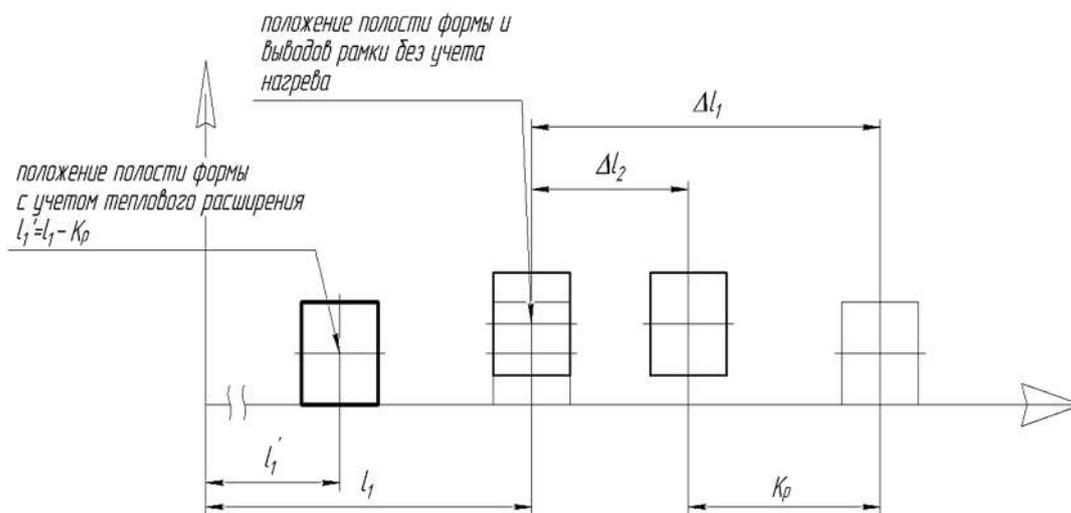


Рис. 1. Расчетная схема определения коррекции размера с учетом тепловых деформаций пресс-формы и рамки с кристаллами

Fig. 1. Design diagram for determining the size correction, taking into account the thermal deformations of the mold and the crystal frame

Необходимо, чтобы в этом нагретом состоянии оформляющая полость и позиция выводов совпали. Для этого в холодном состоянии эту полость необходимо расположить от оси симметрии на расстоянии  $l_1'$ , меньшем расчетного на величину разности смещения пресс-формы и выводной рамки, т.е.

$$K_p = \Delta l_1 - \Delta l_2.$$

$$\Delta l_1 = 12 \times 10^{-6} \times 92,309 \times 152 = 0,1684 \text{ мм.}$$

Величина деформации рамки

$$\Delta l_2 = 4,9 \times 10^{-6} \times 92,309 \times 152 = 0,06875 \text{ мм.}$$

Размер с учетом тепловой коррекции

$$l_1' = l_1 - (\Delta l_1 - \Delta l_2) = 92,309 - (0,1684 - 0,06875) = 92,2094 \text{ мм.}$$

Таким образом, исполнительный размер на чертеже детали изменяется на 0,0996 мм (почти на 0,1 мм). Безусловно такая величина должна быть отражена в конструкторской документации.

В таблице приведены величины теплового расширения матрицы для середины рабочих гнезд и положения оси ориентирующего фиксатора с учетом величин допусков на изготовление и тепловых деформаций.

Учитывая множественность пресс-формы и то, что материалы пресс-формы и рамки имеют значительную разность коэффициента теплового расширения, общая коррекция для самого удаленного гнезда может быть достаточно велика.

Например, для крайнего гнезда, удаленного от оси симметрии матрицы пресс-формы, величины деформации

Из таблицы видно, что для первых двух гнезд учет тепловых деформаций дает незначительную поправку, сравнимую с точность изготовления формирующих полостей. Для более удаленных гнезд картина меняется. Величина коррекции близка к 0,1 мм, что невозможно игнорировать.

В качестве альтернативного метода расчет коррекции размеров была выполнена оценка пространственной деформации деталей пресс-формы и сборки в целом.

Расчет выполнялся численным методом конечных элементов (МКЭ) с использованием одного из универсальных пакетов программ, ориентированных на решение

задач МКЭ. Результаты расчетов сравнили с результатами, полученными по зависимости (1).

Величины теплового расширения матрицы

Таблица

Table

*Values of matrix thermal expansion*

Номер гнезда	Материал	Коэффициент теплового расширения, $10^{-6}$ , град $^{-1}$		Расстояние	Деформации		
		мин	макс		мин	макс	Среднее
1	сталь ХВГ	11,2	12,5	13,187	0,0224	0,0251	0,024
	42Н	4,5	5,2	13,187	0,0090	0,0104	0,010
	Тепловые деформации пресс-формы с учетом деформации рамки				0,0134	0,0146	0,014
2	сталь ХВГ	11,2	12,5	39,561	0,0673	0,07512	0,071
	42Н	4,5	5,2	39,561	0,0271	0,0313	0,029
	Тепловые деформации пресс-формы с учетом деформации рамки				0,0402	0,0439	0,042
3	сталь ХВГ	11,2	12,5	65,935	0,1122	0,1253	0,119
	42Н	4,5	5,2	65,935	0,0451	0,05211	0,049
	Тепловые деформации пресс-формы с учетом деформации рамки				0,0671	0,0732	0,070
4	сталь ХВГ	11,2	12,5	92,309	0,1571	0,1754	0,166
	42Н	4,5	5,2	92,309	0,06314	0,0730	0,068
	Тепловые деформации пресс-формы с учетом деформации рамки				0,0940	0,1024	0,098
Ромбический фиксатор	сталь ХВГ	11,2	12,5	79,122	0,135	0,150	0,143
	42Н	4,5	5,2	79,122	0,054	0,063	0,058
	Тепловые деформации пресс-формы с учетом деформации рамки				0,081	0,088	0,084

Сравнение показало, что существенных отличий, значимых для инженерной практики, нет. Численный метод позволил учесть пространственные деформации, возникающие от нагрева пресс-формы в зафиксированном положении на столе пресса, учесть неравномерность деформаций с учетом наличия крепежных отверстий, литниковой системы и др. Это в значительной мере связано с пропорциями пресс-формы – размеры её в плане намного больше, чем по высоте.

Однако, величины дополнительной коррекции, связанной с пространственным характером расчетной схемы, крайне малы. Они составляют не более 2...7 % от результатов расчета по зависимости (1). При этом рост трудоемкости расчетов кратен, появляется опасность грубых ошибок, связанных с некорректным заданием гра-

ничных условий расчетной схемы, необходимость анализа тепловых полей не только в пресс-форме, но и узлов прессового оборудования.

Выполненная расчетная оценка тепловых деформаций была проверена экспериментально. Пресс-форма была установлена на прессовое оборудование и нагрета штатными нагревателями до рабочих температур.

Контроль температуры нагрева контролировался контрольной термопарой, устанавливаемой непосредственно на поверхности пресс-формы по линии разъема. Величина линейного расширения измерялась с помощью лазерного датчика с точностью измерения до 0,1 мкм. На рисунке 2 показан внешний вид схемы для измерения теплового расширения. Чтобы уменьшить влияние нагрева на показания датчи-

ка линейных перемещений, на плоскость разъема пресс-формы положили планку УСП, консольно свесив его. Это позволило отнести точку замера тепловых деформаций на 100 мм от нагретой пресс-формы.

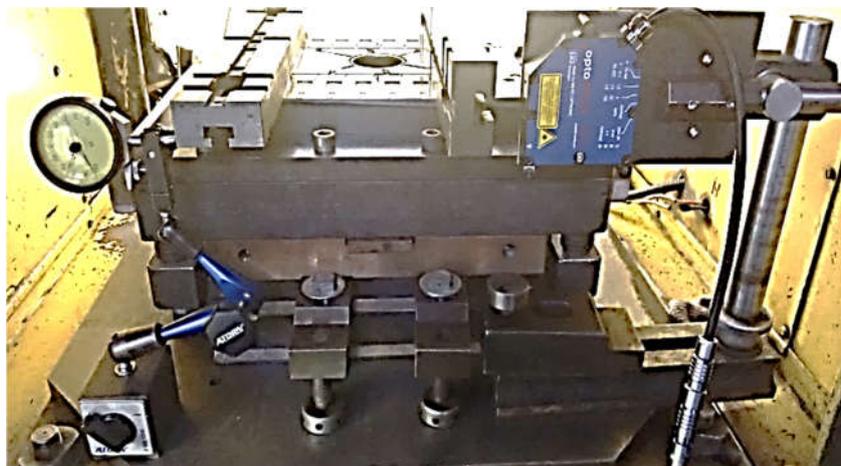


Рис. 2. Схема измерения тепловых деформаций пресс-формы на прессовом оборудовании с использованием штатных нагревателей  
*Fig. 2. Curcuit of measuring the mold thermal deformations on the pressing equipment using standard heaters*

Результаты эксперимента показали, что отличие результатов измерений от расчетных не превышает 0,005 мм при измерении изменения размеров в плане. Такой результат позволяет рекомендовать предложенную методику коррекции исполнительных размеров пресс-форм для инженерной деятельности.

Была предпринята попытка оценки пространственных деформаций. Результаты показали, что величина коробления пресс-формы крайне мала, менее рассчитанной МКЭ и составляет единицы и доли микрон. Отличие от результатов расчета и экспериментов возможно связаны с жестким заневоливанием пресс-формы на плите пресса, что препятствует деформациям.

Предложенные коррективы в методику проектирования пресс-форм были опробованы в производственных условиях. Измерения были внесены в существующие

### **Заключение**

Проведенные исследования показали, что в ряде случаев существующие методики проектирования пресс-форм пластмасс требуют уточнения.

Результаты измерений в режиме реального времени записывались на ПЭВМ в файл. Созданное программное обеспечение обеспечило хранение, обработку и интерпретацию результатов измерений.

чертежи пресс-формы, используемой при производстве серийной продукции.

При эксплуатации пресс-формы возникали проблемы с установкой рамки на фиксирующие штифты – межцентровое расстояние после нагрева позволяло устанавливать рамку в пресс-форму только при приложении значительного усилия. В результате наблюдалось коробление рамки. После запрессовки контактные дорожки на крайних рабочих позициях смещались относительно оси симметрии. В большом числе случаев эти гнезда давали брак корпусирования.

Корректировка размеров положения рабочих формующих полостей и ориентирующих штифтов позволила полностью решить проблему. Разработанные рекомендации используются при проектировании пресс-форм инженерным составом промышленного предприятия.

Для некоторых ряда точных пресс-форм учет тепловые деформации могут влиять на качество запрессовок и их необходимо учитывать путем коррекции исполнительных размеров. В первую очередь

это относится к высокоточным многоместным пресс-формам, с большим расстоянием между формирующими полостями, например, для корпусирования микросхем.

Расчеты и эксперименты показали, что данная задача может решаться как в плоской, так и пространственной постановке.

При этом использование пространственной расчетной схемы незначительно (до 5%) повышает точность вычислений при существенном росте трудоемкости расчетов.

Тепловые деформации с достаточной точностью для инженерной практики можно определить с использованием известных зависимостей физики твердого тела.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лейкин Н.Н. Конструирование пресс-форм для изделий из пластических масс. – Л., «Машиностроение». 1966, – 242 с.
2. Основы конструирования и расчета деталей из пластмасс и технологической оснастки для их изготовления. Мирзоев Р. Г., Кугушев И. Д., Брагинский В.А. и др. Учебное пособие для студентов вузов. Л., «Машиностроение», 1972. – 416 стр.

## REFERENCES

1. Leikin NN. Designing molds for plastic products. Leningrad: Mashinostroenie; 1966.
2. Mirzoev RG, Kugushev ID, Braginsky VA. Fundamentals of designing and calculating plastic parts and technological equipment for their manufacture: textbook. Leningrad: Mashinostroenie; 1972.

## Информация об авторах:

**Хандожко Александр Владимирович** – доктор технических наук, профессор кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Брянского государственного технического университета, тел. 8(4832)588-289.

**Щербаков Андрей Николаевич** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты» Брянского государственного технического университета, тел. 8(4832)588-289.

**Хандожко Виктор Александрович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой

**Khandozhko Aleksandr Vladimirovich** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of

Эксперименты подтвердили возможность использования результатов, полученных в ходе таких расчетов.

При расчетах необходимо учитывать как деформации пресс-формы, так и закладываемой в формирующие полости арматуры.

Предложенные дополнения методики проектирования пресс-форм прошли успешную проверку в промышленных условиях на серийной продукции. Согласно дополнений к методике в сомнительных случаях обязательно проводится проверка величин тепловых деформаций и, при необходимости выполняется пересчет исполнительных размеров.

3. Басов Н.И., Брагинский В.А., Казанков Ю.В. Расчет и конструирование формирующего инструмента для изготовления изделий из полимерных материалов: Учебник для вузов. — М.: Химия, 1991. – 352 с.: ил.
4. Фетисова, Т.С. Проектирование литевых форм для изготовления пластмассовых изделий : учеб. пособие / Т.С. Фетисова. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2013. – 102 с.

3. Basov NI, Braginsky VA, Kazankov YuV. Calculation and design of forming tools for manufacturing products of polymer materials: textbook for universities. Moscow: Khimiya; 1991.
4. Fetisova TS. Designing transfer molds for manufacturing plastic products: textbook. Tolyatti: TSU Publishing House; 2013.

«Автоматизированные технологические системы» Брянского государственного технического университета, тел. 8(4832)588-278.

**Федонина Светлана Олеговна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Брянского государственного технического университета, тел. 8(4832)588-289.

**Лакалина Нина Юрьевна** – доцент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Брянского государственного технического университета, тел. 8(4832)588-289.

Metal-cutting Machines and Tools at Bryansk State Technical University, phone: 8(4832)588-289.

**Shcherbakov Andrey Nikolaevich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Metal-cutting Machines and Tools at Bryansk State Technical University, phone: 8(4832)588-289.

**Khandozhko Viktor Aleksandrovich** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Automated Technological Systems at Bryansk State Technical University, phone: 8(4832)588-278.

**Fedonina Svetlana Olegovna** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Metal-cutting Machines and Tools at Bryansk State Technical University, phone: 8(4832)588-289.

**Lakalina Nina Yurievna** – Associate Professor of the Department of Metal-cutting Machines and Tools at Bryansk State Technical University, phone: 8(4832)588-289.

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**  
**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**  
**The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья опубликована в режиме Open Access.**  
**Article published in Open Access mode.**

**Статья поступила в редакцию 01.07.2025; одобрена после рецензирования 30.07.2025; принята к публикации 28.08.2025. Рецензент – Вайнер Л.Г., доктор технических наук, профессор Высшей школы промышленной инженерии Тихоокеанского государственного университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».**

**The article was submitted to the editorial office on 01.07.2025; approved after review on 30.07.2025; accepted for publication on 28.08.2025. The reviewer is Vayner L.G., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Higher School of Industrial Engineering at Pacific National University, member of the Editorial Council of the journal Transport Engineering.**