

УДК 621.9.06

DOI:10.30987/2223-4608-2021-12-37-43

А.С. Ямников, д.т.н.

(Тульский Государственный университет, г. Тула, пр. Ленина, д. 92),

Е.А. Даниленко, зам. нач. отдела

(филиал АО «КБП» – «ЦКИБ СОО», г. Тула, Красноармейский проспект, д. 17)

E-mail: yamnikovas@mail.ru, danilenkoevg@rambler.ru

Влияние погрешности формы и положения черновых базовых поверхностей на точность изготовления детали «коробка»

Рассмотрено влияние погрешности формы и положения черновых базовых поверхностей на точность изготовления деталей пониженной жесткости. Представлена схема эскиза выделения технологических зон. Предложен новый способ выделения технологических зон.

Ключевые слова: корпусные тонкостенные детали; специальное приспособление; технологические зоны; моделирования упругих перемещений; регрессионные зависимости.

A.S. Yamnikov, Dr. Sc.Tech.

(Tula State University, 92, Lenin Ave., Tula),

E.A. Danilenko, Deputy Chief of Department

(branch of JSC "KBP" (Policy Advisory Bureau)- "TSKIB SOO" (Central Design and Research Bureau for Sporting and Hunting Weapons), 17, Krasnoarmeysky Prospekt, Tula)

The influence of the form error and rough datum surface position on the accuracy of manufacturing of the "box-type product"

The influence of the form error and rough datum surface position on the accuracy of manufacturing parts of reduced rigidity is considered. A sketch diagram of the allocation of technological zones is presented. A new method for allocating technological zones is proposed.

Keywords: body thin-walled parts; special device; technological zones; modeling of elastic displacements; regression dependencies.

Введение

В машиностроении широкое применение получили корпусные тонкостенные детали типа «Коробка», заготовки для которых получают листовой холодной штамповкой [1, 2]. Типичным представителем подобных деталей является «коробка», для полного представления конструкции которой на рис. 1 показана её 3D-модель.

Исходной заготовкой служит лист 1,5 ГОСТ 19904-90 из стали 30ХГСА ГОСТ 11268-76, что обусловлено ее высокой прочностью, устойчивостью к ударной нагрузке и относительным удлинением до 11 %. Заготовки деталей получают из листового проката вытяжкой и гибкой [1, 2], что позволяет получать протяженные цельные тонко-

стенные детали с высокими механическими характеристиками. Применение данных видов заготовок обеспечивает жесткость, герметичность и точность расположения сборочных единиц. Эскиз детали «Коробка» представлен на рис. 2.

Четкая фиксация и расположения основных узлов изделия, для которого коробка является корпусной деталью, зависит от точности выполнения координат отверстий и рабочих поверхностей детали. При механической обработке тонкостенных заготовок основной проблемой является недостаточная жесткость как заготовки, так и технологической системы в целом. Ввиду слабой жесткости заготовки, под действием сил зажимов, она может деформироваться, искажая полученные при обработке размеры.

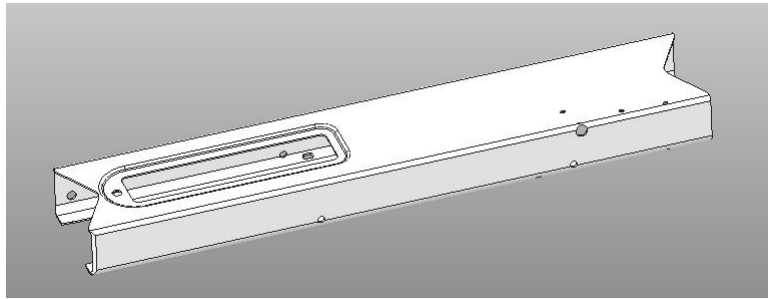


Рис. 1. 3D-модель детали «Коробка»

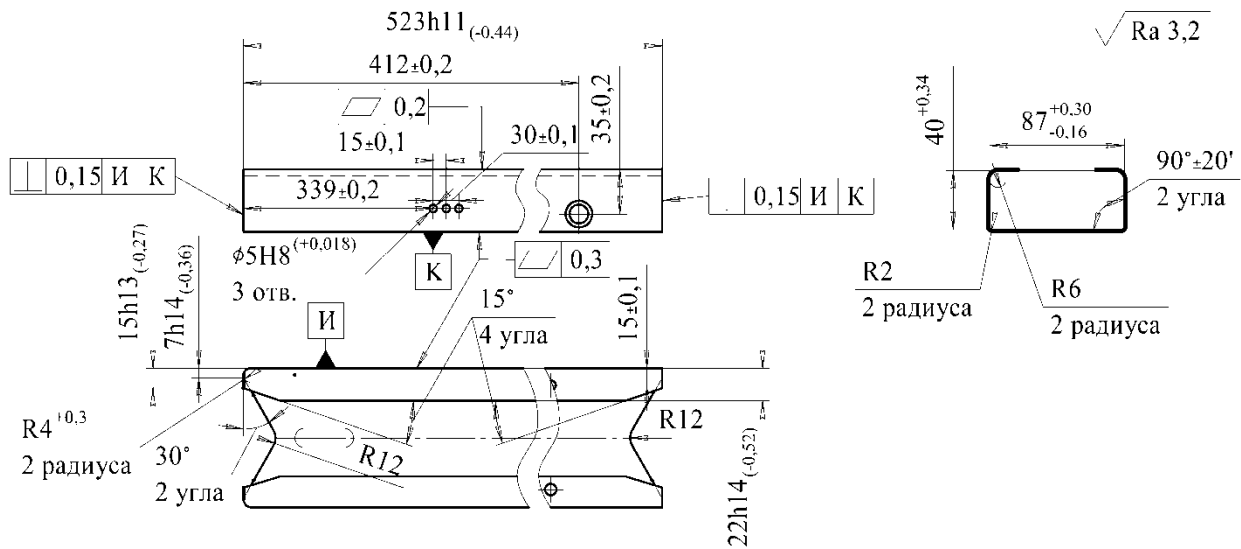


Рис. 2. Эскиз детали «Коробка»

Допуски поверхностей И и К на отклонение от плоскостности составляют 0,3 мм, а на отклонение от перпендикулярности $\pm 20'$ (см. рис. 2), что соответствует $\pm 0,23$ мм. В сумме колебания положения поверхностей И и К относительно номинального могут достигать 0,73 мм. Поскольку поверхности И и К являются измерительной базой при сверлении

отверстий с координатами $Y(15 \pm 0,1)$ и фрезеровании угловых поверхностей $Z(7h14)$, $W(15h13)$, то достижение этих координат представляет сложную технологическую задачу [3, 4]. Базовая технология изготовления детали «Коробка» включает в себя следующие операции (табл. 1).

1. Маршрут обработки детали «Коробка»

№ операции	Наименование операции	Оборудование
1	Заготовительная	Гильотинные ножницы
2	Отрезная	Trulaser 3030 L20 - Лазерный комплекс для резки и раскроя
3	Термообработка (отжиг)	СНО-6.12.5/12М - Печь электросопротивления
4	Виброобразивная	VBLE-500 - Лотковый вибратор
5	Слесарная	Верстак
6	Вытяжка	П6332 - Пресс гидравлический
7	Гибка	П6332 - Пресс гидравлический
8	Калибровка	П6332 - Пресс гидравлический
9	Контроль	Стол
10	Фрезерная	Вертикально-фрезерный станок УФ-250
11	Фрезерная	Вертикально-фрезерный станок УФ-250
12	Фрезерная	Вертикально-фрезерный станок УФ-250
13	Фрезерная	Вертикально-фрезерный станок УФ-250
14	Сверлильная	Координатно-расточный станок 2Е440А
15	Сверлильная	Координатно-расточный станок 2Е440А
16	Слесарная	Верстак
17	Контроль	Стол

Выполнение фрезерных и сверлильных операций на физически и морально устаревшем оборудовании УФ-250 и 2Е440А не могло обеспечить точность выполняемых размеров. Было решено заменить шесть операций: фрезерные на вертикально-фрезерном станке УФ-250 и сверлильные на координатно-расточном станке 2Е440А в базовом технологическом процессе на одну – фрезерная с ЧПУ на фрезерном обрабатывающем центре с ЧПУ

Tongtai TMV-1050QII [5, 6]. Это снижает трудоемкость в несколько раз и повышает точность относительного положения обработанных поверхностей, вследствие отсутствия переустановок заготовки.

Для обработки тонкостенной заготовки было спроектировано специальное приспособление, конструкция 3D-модели которого показана на рис. 3.

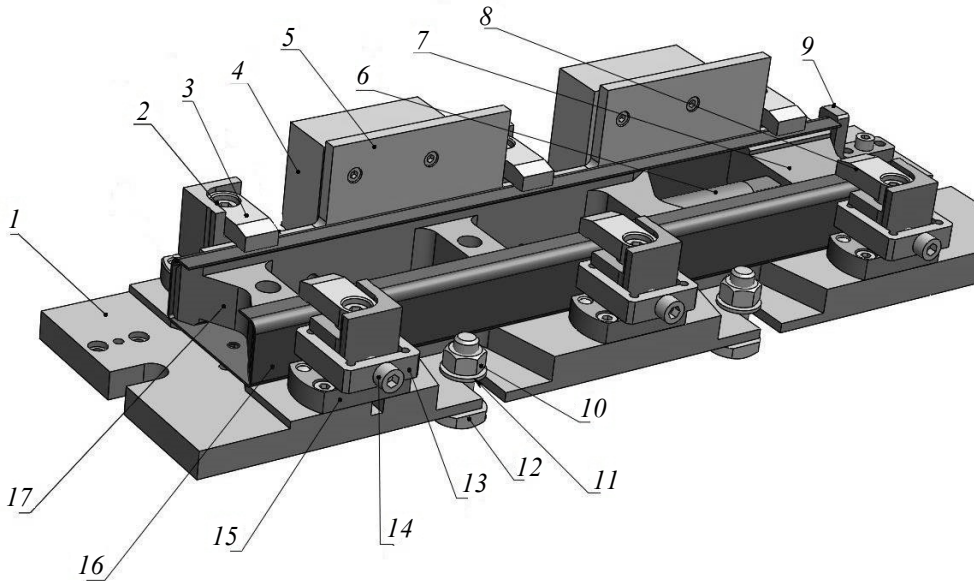


Рис. 3. 3D-модель специального приспособления:

1 – плита; 2 – винт; 3 – прижим; 4 – стойка; 5 – планка; 6 – упор; 7 – вставка; 8 – прижим; 9 – упор; 10 – гайка; 11 – шайба; 12 – болт; 13 – скоба; 14 – винт; 15 – основание; 16 – заготовка; 17 – вкладыш

Приспособление для базирования тонкостенных корпусных деталей работает следующим образом: в заготовку 16 устанавливают вкладыш 17, затем в отверстие вкладыша 17 устанавливают упор 6, соединенный с вставкой 7. Собранный конструктор базировать на плиту 1 и досылают до упора 9. При помощи скобы 13 и винта 14, заготовку 16 прижимают к планке 5 (без существенных усилий). Затем при помощи лапок 3 и винтов 2 зажимают заготовку 16.

Базирование заготовки на операциях механической обработки в системе координатных плоскостей выполняется следующим образом:

- заготовку поверхностью К укладывают на плоскость приспособления, тем самым лишая заготовку 3-х степеней свободы;

- затем заготовку поверхностью И досылают до боковой плоскости приспособления, лишая заготовку еще 2-х степеней свободы;

- затем заготовку досылают до бокового торца приспособления, лишая еще одной степени свободы.

Согласно правилу 6-ти точек схема базирования выполнена правильно, также соблюдено единство конструкторских и технологических баз. Однако в данной схеме базирования при механической обработке не учитываются погрешности формы и расположения базовых поверхностей. При допустимой неплоскостности на базовых поверхностях И и К она может выражаться как в виде выпуклости, так и вогнутости данных поверхностей. Наличие выпуклостей на базовых поверхностях заготовки приводит к неоднозначности базирования, приводящей к потенциальной возможности погрешности выполнения координат X, Y, Z до 0,73 мм.

Методика эксперимента

Для подтверждения данных выводов была изготовлена тестовая партия деталей «Коробка» в количестве 20 штук и произведены измерения приведенных выше размеров в зависимости от неплоскостности. Замеры прове-

дены с помощью цифрового штангенрейсмаса (ГОСТ 164-90) с ценой деления 0,01 мм и индикатора часового типа (ГОСТ 577-68) с ценой деления 0,01 мм.

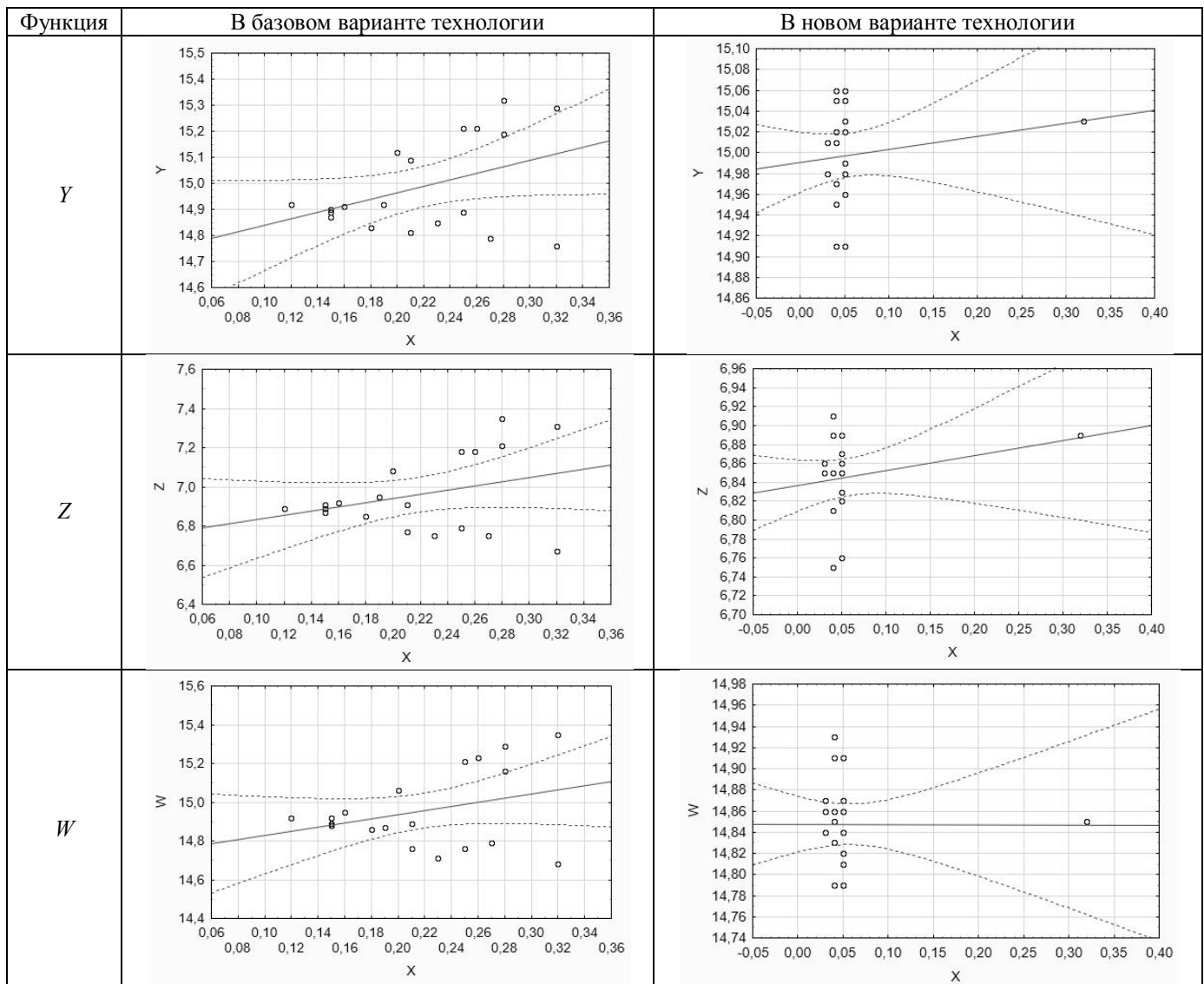
Для корреляционного анализа связи между переменными X (неплоскостность 0,3 мм) и Y ($15 \pm 0,1$), Z (7h14), W (15h13) использован подмодуль Correlation matrices модуля Basics Statistics/Tables системы STATISTICA. Критическое значение для p -уровня доверительной вероятности приняли равным 0,05 ($\alpha = 0,05$).

В выборке объемом $N = 20$ коэффициент корреляции между переменными составляет:

- 1) Y и $X = 0,4215$ при значении p -уровня $p < 0,05$;
- 2) Z и $X = 0,3312$ при значении p -уровня $p < 0,05$;
- 3) W и $X = 0,3267$ при значении p -уровня $p < 0,05$.

Далее выведены графики зависимости переменных Y, Z, W от переменной X и занесены в табл. 2.

2. Графики регрессионных зависимостей погрешностей размеров Y, Z, W от неплоскостности поверхности X



На графике (см. табл. 2) кроме точек, соответствующих парам эмпирических значений переменных Y от X, Z от X, W от X нанесены линия (сплошная) линейной регрессии и две линии (пунктирных) 95 % доверительных интервалов для регрессионной зависимости.

Ниже приведены выражения уравнения регрессии, полученные методом наименьших

квадратов, и значение коэффициента корреляции в базовом варианте технологии:

$$Y = 14,715 + 1,2395 \cdot X;$$

$$Z = 6,7251 + 1,0713 \cdot X;$$

$$W = 14,723 + 1,0663 \cdot X .$$

Данные показывают, что неплоскостность боковой поверхности имеет весомую значимость на выполнение размеров чертежа детали «Коробка», следовательно, необходимо вводить технологические ограничения в маршрут обработки. Базовые поверхности И и К получаются после операций гибки и калибровки и не допускают механической обработки по условиям чертежа. Поэтому вводят слесарную операцию «правка» и ужесточают требования к отклонению поверхностей от плоскостности.

Правку производят следующим образом:

- внутрь заготовки устанавливают специальный вкладыш;
- зажимают собранную конструкцию в тисках;
- затем рабочий при помощи слесарного молотка осуществляет удары по боковым поверхностям заготовки, с целью уменьшения неплоскостности, замер осуществляется лекальной линейкой и набором щупов;
- далее при помощи специального слесарного приспособления осуществляется правка верхней поверхности заготовки, выдерживая допуск плоскостности 0,2 мм.

Ввиду большой протяженности заготовки данная операция имеет высокую трудоемкость. При внесении технологического ограничения неплоскостности боковой поверхности 0,1 мм, трудоемкость слесарной правки возрастает до 1,0...1,5 нормо-часа и требует специалиста высокого класса.

Для выявления наиболее деформируемых зон формы поперечного сечения провели расчет напряженного деформированного состояния конструкции методом конечных элементов для заготовки с принятыми размерами на верхнем пределе допуска 40,3 и 87,3 (см. рис. 2).

Для определения величины деформирования боковых стенок были применены 2D упрощения. Основание приспособления закрепили неподвижно. К верхним полкам заготовки путем привинчивания лапок приложили силы величиной 500 Н. На рис. 4 представлен результат моделирования упругих перемещений по координате Z, возникающие при зажиме заготовки.

Наибольшие упругие перемещения возникают в верхней части заготовки порядка 0,3 мм, где деталь разомкнута, следовательно, на боковой поверхности приспособления необходимо выделить две зоны соприкосновения с заготовкой в верхней части, тем самым лишив заготовку одной избыточной точки контакта.

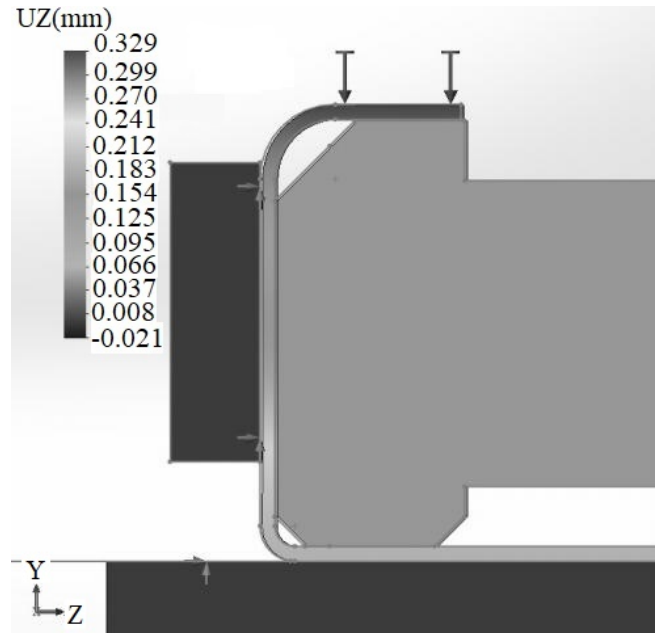


Рис. 4. Результат моделирования упругих перемещений

Анализ основных конструкторских баз детали «Коробка», в изделии, позволил выявить наиболее важные зоны контакта элементов коробки с сопрягаемыми деталями узла. Предложено выделить 2 зоны А и В (рис. 5), в которых технологически ужесточили неплоскостность боковой поверхности детали до 0,05 мм, тем самым сократив трудоемкость выполнения слесарной операции примерно в 3 – 4 раза, в виду малой протяженности зон А и В.

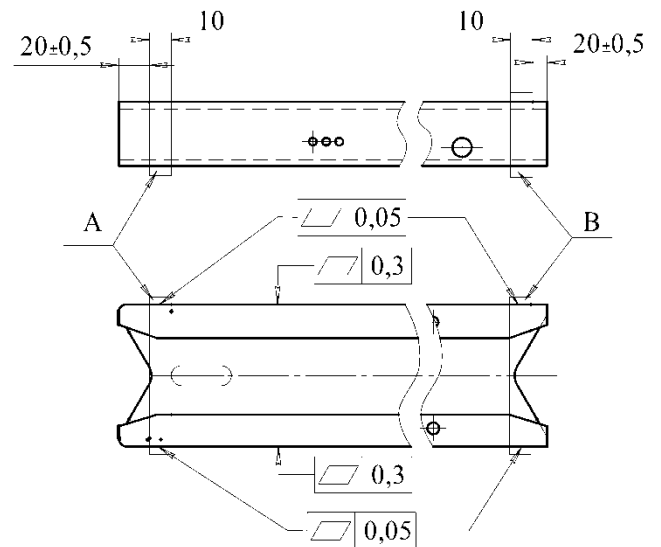


Рис. 5. Технологический эскиз детали «Коробка»

Основание приспособления для установки заготовки было доработано с учетом новой

схемы базирования (рис. 6).

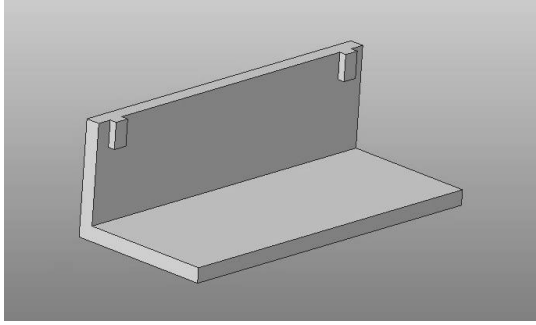


Рис. 6. Основание приспособления

Произвели обнижение базовой боковой поверхности приспособления, выделив необходимые зоны контакта с заготовкой. По аналогичной схеме изготовлен калибр для установки при измерении заготовки (рис. 7).

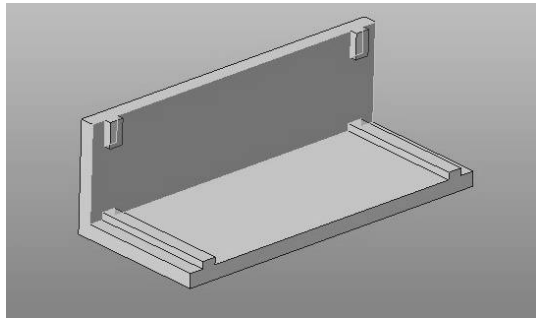


Рис. 7. Установочный калибр

Отличие основания для обработки и для измерения заключается в следующем:

– на тонкостенную корпусную заготовку, при установке на основание приспособления, действуют силы зажимов, которые упруго деформируют заготовку, выравнивая базовую

поверхность заготовки до плотного контакта с поверхностью приспособления;

– при измерении деталь находится в свободном состоянии, поэтому для исключения непостоянства положения заготовки на основании калибра произвели обнижение нижней плоскости согласно схеме (см. рис. 5). В данной схеме калибра присутствует одна избыточная связь, но, так как заготовка поправлена в 0,05 мм, колебания её положения на основании минимальны.

Измерение производилось при помощи штангенрейсмаса ШРЦ-250-0,01 ГОСТ 164-90. После ввода данного ограничения, колебания положения заготовки свелись к минимуму, даже при наличии выпуклости на заготовке в 0,3 мм. Ввиду совмещения технологической и конструкторской базы погрешности формы и расположения поверхностей стремятся к нулю.

Для статистического анализа и проверки правильности предложенной схемы, была обработана тестовая партия из 20 заготовок и измерены фактические отклонения. Корреляционный анализ связи между переменными X (неплоскостность 0,3 мм) и Y ($15 \pm 0,1$), Z ($7h14$), W ($15h13$) проводили по той же методике, что и в предыдущем случае.

В новой выборке объемом $N = 20$ коэффициент корреляции между переменными составляет:

- 1) Y и $X = 0,1763$ при значении p -уровня $p < 0,05$;
- 2) Z и $X = 0,2332$ при значении p -уровня $p < 0,05$;
- 3) W и $X = 0,0083$ при значении p -уровня $p < 0,05$.

В новом варианте технологии получены следующие регрессионные выражения:

$$Y = 14,991 + 0,12571 \cdot X; \quad Z = 6,8365 + 0,15755 \cdot X; \quad W = 14,848 - 0,002 \cdot X,$$

график зависимости переменных Y, Z, W от переменной зависимости переменной X также представлен в табл. 2.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Сопоставление регрессионных зависимостей величин размеров детали в базовом и в новом варианте схемы обработки и замеров показывает, что неплоскостность боковой поверхности оказывает более сильное влияние на размеры, когда находится в пределах от 0,2 до 0,3 мм. Это можно объяснить тем, что чем

меньше допуск формы и расположения поверхностей, тем меньше погрешность базирования заготовок, ввиду меньшей значимости значения корреляции.

Выводы

1. Предложенный способ выделения технологических зон позволяет снизить трудоемкость слесарной операции правка.

2. Для достижения требуемой точности чертежа необязательно ужесточать допуск формы и расположения по всей поверхности заготовки, а достаточно определить наиболее

важные участки и в этих зонах вводить дополнительные ограничения (например, допуск плоскостности 0,05 мм).

3. При обработке корпусных тонкостенных деталей необходимо уменьшать количество переустановок с целью исключения деформации поверхностей заготовки.

4. При обработке корпусных тонкостенных разомкнутых заготовок базирование необходимо осуществлять ближе к местам подвергнутых наибольшему перемещению для устранения погрешностей установки.

5. Предложенный способ базирования в сочетании с выделением и дополнительным ужесточением допусков на точность формы и положения на выделенном участке базовой поверхности повышают точность координат обработанных поверхностей в 6 раз по сравнению с базовым вариантом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чудин, В.Н. Вытяжка листовых изделий коробчатых форм // Кузнечно-штамповочное производство. – 2002. – №6. – С. 3-8.
2. Мальшев, А.Н., Яковлев, С.С., Бессмертная, Ю.В. Вытяжка коробчатых деталей с небольшими угловыми радиусами // Известия ТулГУ. Сер. Технические науки. – 2015. – Вып. 4. – С. 111-117.
3. Васильев, А.С. Технологическое наследование в машиностроении // Вестник Рыбинского Государственной авиационной технологической академии им. Соловьева П.А. – 2017. – №1 (40). – С. 198-202.
4. Аверченков, В.И., Васильев, А.С., Хейфец, М.Л. Технологическая наследственность при формировании качества изготавливаемых деталей // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2018. – №10 (88). – С. 27-32.
5. Даниленко, Е.А., Ямников, А.С. Применение вертикального обрабатывающего центра для обработки корпус-

ных тонкостенных деталей // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2019. – №3. – С. 271-276.

6. Danilenko, E.A., Yamnikov, A.S. Increasing the accuracy of processing thin-walled box-shaped parts, 2021 J. Phys.: Conf. Ser. 1901 012003 // V International scientific conference «Mechanical Science and Technology Update» 16-17 March. 2021. Omsk, Russia. С. 323-331. DOI: 10.25206/978-5-8149-3246-4-2021-331-342.

REFERENCES

1. Chudin V.N. Extraction of sheet box-shaped products. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo*, 2002, No. 6. pp. 3-8.
2. Malyshev, A.N., Yakovlev, S.S., Bessmertnaya, Yu.V. Extraction of box parts with small angular radii. *Izvestiya TulGU. Seriya Tekhnicheskie nauki*, 2015, iss. 4, pp. 111- 117.
3. Vasiliev, A.S. Technological inheritance in mechanical engineering. *Bulletin of Rybinsk State Aircraft Technological Academy named after P.A. Solovyov*, 2017, No. 1 (40), p. 198-202.
4. Averchenkov, V.I., Vasiliev, A.S., Heifets, M.L. Technological heredity in the formation of manufactured parts quality. *Science intensive technologies in mechanical engineering*, 2018, No.10 (88), pp. 27-32.
5. Danilenko, E.A., Yamnikov, A.S. The use of a vertical machining center for processing thin-walled body parts [*Izvestia Tulsogo gosudarstvennogo universiteta, seria: Tekhnicheskie nauki*], 2019, No. 3, pp. 271-276.
6. Danilenko, E.A., Yamnikov, A.S. Increasing the accuracy of processing thin-walled box-shaped parts, 2021 J. Phys.: Conf. Ser. 1901 012003 // V International scientific conference «Mechanical Science and Technology Update» 16-17 March. 2021. Omsk, Russia. С. 323-331. DOI: 10.25206/978-5-8149-3246-4-2021-331-342

Рецензент д.т.н.
Александр Михайлович Козлов