

## ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ И СБОРКИ СОСТАВНЫХ ИЗДЕЛИЙ

*И.П. Дерябин, В.И. Гузеев, А.В. Козлов*

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия*

В статье рассматриваются проблемы сборки изделий цилиндрической формы, состоящих из секторных деталей имеющих двугранные углы. Одной из основных проблем сборки таких деталей является точность выполнения значений двугранных углов при обработке. На примере сборки изделия из 3-х секторных деталей показано, что даже при точном равенстве двугранных углов  $120^\circ$  не существует однозначности базирования этих деталей при сборке. Поскольку при обработке плоскостей секторных деталей возникают пространственные погрешности двугранных углов, то добиться плотности прилегания плоскостей при сборке практически невозможно. Показаны возможные варианты сборки секторов с суммарным углом больше и меньше  $360^\circ$ . При этом между плоскостями двугранных углов всегда возникает зазор в соединении. Если суммарный угол превысит  $360^\circ$ , сборку осуществить не удастся вообще, т.к. невозможно обеспечить прилегание плоскостей двугранного угла. А если суммарный угол окажется меньше  $360^\circ$ , сборку осуществить удастся, но при этом появляется заметный угол закрутки или «пропеллерность» секторов в сборе, а также неоднозначность сборки перед обработкой и после обработки. Применяв методы аналитической геометрии, мы доказали, что для собираемости без зазора 3-х секторов необходимо и достаточно, чтобы сумма всех двугранных углов секторов была меньше или равна  $360^\circ$ . Поскольку точное равенство суммы всех двугранных углов  $360^\circ$  обеспечить невозможно, то при сборке всегда образуется характерная «пропеллерность». Для получения беззазорного соединения предложен новый метод для селективной сборки секторов и разработана схема приспособления для контроля двугранных углов. Данный метод селективной сборки позволит подбирать секторы таким образом, чтобы угол «закрутки» их в собранном виде был минимальным. При этом можно при подборе секторов устанавливать направление «закрутки» – по часовой или против часовой стрелки, в зависимости от направления сил резания.

*Ключевые слова: технология сборки, секторные детали, контроль двугранных углов, условия беззазорного соединения трех секторов*

### Введение

Качество, надежность и долговечность различного рода изделий зависят от точности параметров сопряжений. Точность параметров сопряжений можно повысить следующим образом:

- путем повышения точности (снижением допусков) обработки поверхностей сопрягаемых деталей, образующих изделие;
- за счет селективной сборки по методу полной взаимозаменяемости.

Первое направление во многом связано с возможностями технологического оборудования. Поэтому в ряде случаев, когда исчерпаны эти возможности, возникает необходимость использовать селективную сборку изделий. При селективной сборке изделий важными являются задачи комплектования и получения сборочных комплектов деталей. Большинство существующих методик предназначены для сборки 2-х деталей типа вал–втулка, т. е. сопряжение охватывающей поверхности с охватываемой. Сборка же 3-х и более деталей мало изучена. Дополнительные сложности возникают и при сопряжении сборке открытых поверхностей, например, плоскостей двугранных углов.

Обработка изделий из составных деталей имеет свои специфические особенности, связанные с погрешностями некоторых параметров, как самих деталей, так и в собранном виде [1–4]. К таким изделиям относятся гребные винты, лопадки турбин, некоторые виды снарядов и т. д. Рас-

смотрим эти особенности на примере обработки и сборки изделия, состоящего из 3-х секторных деталей (в дальнейшем секторов) (рис. 1а). Основными погрешностями обработки сектора, влияющими на сборку изделия, являются погрешности двугранного угла  $\psi$  ( $\Delta\psi$  – допуск на обработку угла) (рис. 1б) и погрешности радиуса дуги R (рис. 2б).

Для определения возможностей процесса сборки секторов проанализируем условия однозначности их базирования в собранном виде и саму возможность сборки секторов без зазора между плоскостями двугранного угла.

Если бы все двугранные углы секторов  $\psi$  в точности равнялись  $120^\circ$ , то при достаточно малых отклонениях от плоскостности их боковых граней можно считать, что их беззазорное соединение возможно (рис. 1а), и при этом ребра боковых граней строго параллельны друг другу. Однако достижение беззазорности при сборке само по себе еще не означает однозначности взаимного положения (рис. 2). Даже в идеальном случае, т. е. при сборке эталонных деталей, добиться полной однозначности невозможно ни при использовании трехкулачкового патрона (рис. 2а), ни при использовании стягивающих хомутов. Например, в последнем случае если радиус одного из секторов больше радиуса других, то возможен случай, изображенный на рис. 2б. При базировании же в трехкулачковом патроне возможна фиксация любого из положений, показанных на рис. 2а.

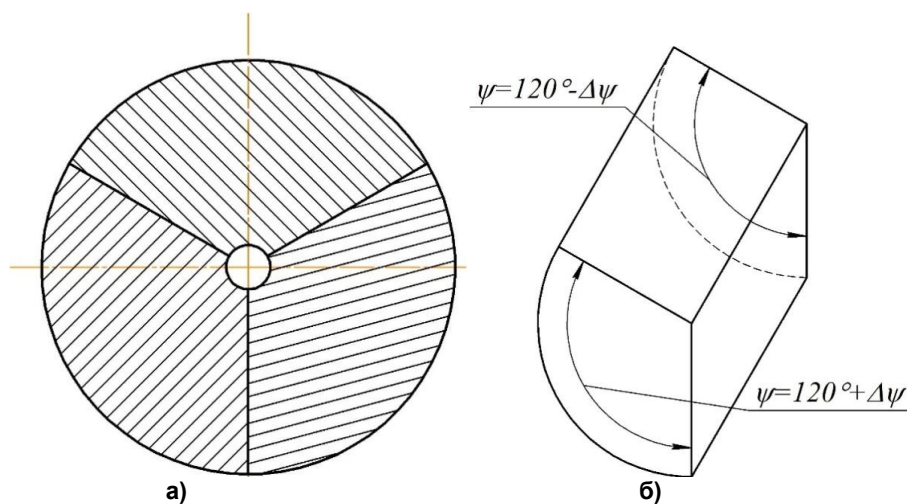


Рис. 1. Изделие из составных деталей:  
а) сборка секторов, б) погрешности двугранного угла

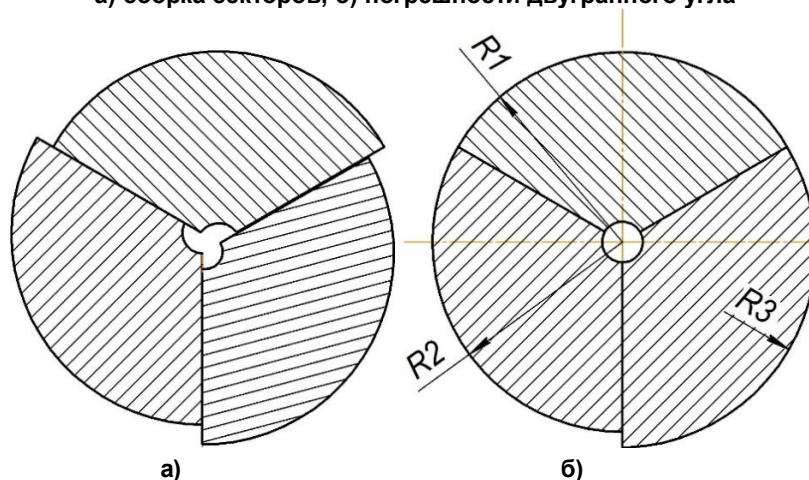


Рис. 2. Возможные варианты сборки секторов:  
а) сборка эталонных («идеальных») секторов,  
б) сборка секторов с погрешностью радиуса

Другой проблемой сборки секторов является невозможность выполнить абсолютно точными двугранные углы, т. е. точно равными  $120^\circ$  [5–9]. Рассмотрим, что произойдет, если суммарный угол трех секторов будет меньше или больше  $360^\circ$  (рис. 3). Если суммарный угол превысит  $360^\circ$  (рис. 3б), сборку осуществить не удастся вообще, так как невозможно обеспечить прилегание плоскостей двугранного угла. А если суммарный угол окажется меньше  $360^\circ$  (рис. 3в), сборку осуществить удастся, но при этом появляется заметный угол закрутки или «пропеллерность» секторов в сборе (рис. 3г), а также неоднозначность сборки перед обработкой и после обработки.

Можно математически доказать, что при суммарном плюсовом допуске на углы секторов изделие вообще не может быть собрано. А при суммарном минусовом допуске – может. Все плоскости гарантированно плотно укладываются друг на друга, но зато сильно «закручиваются». И это предопределяет немалые проблемы и на сборке, и при контроле, да и на этапах обработки в сборе (в приспособлении-спутнике) [10–20]. На этом принципе может быть создано устройство для контроля двугранного угла.

### Анализ собираемости изделия

Покажем, что для собираемости без зазора совсем не обязательно все три сектора выполнять с угловым размером строго равным  $120^\circ$ . Примем допущение, что боковые поверхности секторов являются идеально плоскими. Без нарушения общности, для удобства рассмотрения можно считать, что два сектора из трех имеют двугранные углы, в точности равные  $120^\circ$ , а третий сектор имеет отклонение от  $120^\circ$  (рис. 4), равное суммарному дефекту угла всех трех реальных секторов. Такое допущение не вносит существенной погрешности в силу малой величины отклонений угловых размеров реальных секторов.

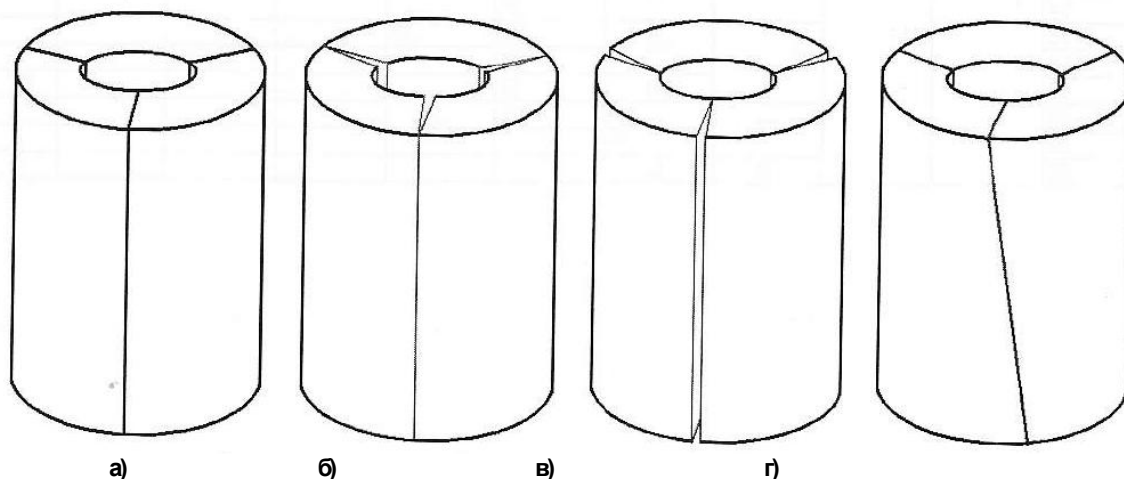


Рис. 3. Возможные варианты сборки при разных допусках на двугранные углы:  
а)  $\sum\psi = 360^\circ$ ; б)  $\sum\psi > 360^\circ$ ; в)  $\sum\psi < 360^\circ$ ; г)  $\sum\psi < 360^\circ$

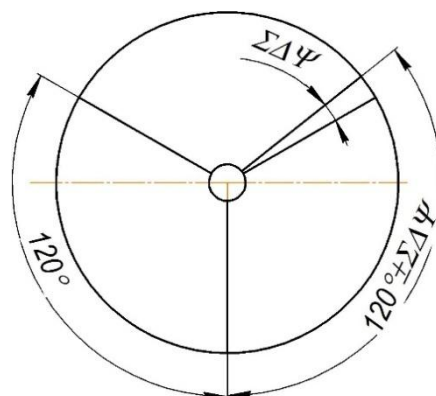


Рис. 4. Сборка с погрешностью угла одного из секторов

Приведем в соприкосновение вдоль общей плоскости два сектора с угловыми размерами  $120^\circ$  (рис. 5а). Если этим секторам задать небольшой угол поворота  $\alpha$  вдоль плоскости соприкосновения, то двугранный угол, образуемый другими плоскостями этих секторов, будет отличаться от  $120^\circ$  (рис. 5б), и, следовательно, в беззазорное соприкосновение с ними можно привести третий сектор с двугранным углом отличным от  $120^\circ$ .

Составим уравнения непрелегающих плоскостей секторов 1 и 2:

$$3Z - \sqrt{3} \cdot Y = 0 \quad (1)$$

$$3Z + \sqrt{3} \cdot Y = 0. \quad (2)$$

Повернем сектор 2 вокруг оси  $Y$  на угол  $\alpha$ . Тогда в новой системе координат, связанной с этим сектором уравнения непрелегающих плоскостей примут вид:

$$3Z' - \sqrt{3} \cdot Y' = 0 \quad (3)$$

$$3(X' \sin \alpha + Z' \cos \alpha) + \sqrt{3} \cdot Y' = 0. \quad (4)$$

Найдем двугранный угол между непрелегающими плоскостями по формуле аналитической геометрии:

$$\cos \psi = \pm \frac{0 \times 3 \times \sin \alpha + \sqrt{3} \times \sqrt{3} + 3 \times \cos \alpha \times (-3)}{\sqrt{0^2 + 3^2 + 3 \times \sqrt{3}^2 \sin^2 \alpha + 3 + 3^2 \cos^2 \alpha}} = \pm \frac{3 - 9 \cos \alpha}{12}. \quad (5)$$

Из уравнения (5) вытекает, что если  $\alpha = 0$ , то  $\cos \psi = -\frac{1}{2}$ , а если  $\alpha \neq 0$ , то  $\psi < 120^\circ$ .

Таким образом,

$$\psi = \arccos\left(\frac{1 - 3 \cos \alpha}{4}\right). \quad (6)$$

Угол поворота  $\alpha$  определяется из уравнения

$$\alpha = \arccos\left(\frac{1 - 4 \cos \psi}{3}\right). \quad (7)$$

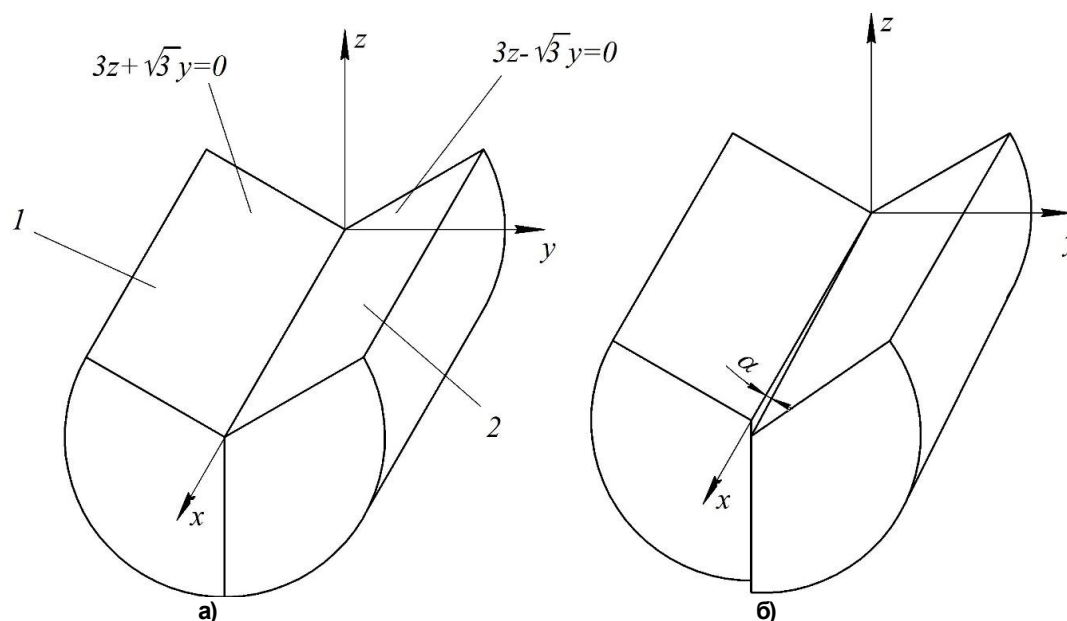


Рис. 5. Сборка 2-х секторов

В производстве этих изделий опытным путем и, исходя из возможностей обработки, был установлен допуск на угол  $\psi = 119,5^\circ \pm 15'$ , т. е.  $\psi_{\max} = 119^\circ 45'$ ,  $\psi_{\min} = 119^\circ 15'$ . При таких значениях угла  $\psi$  угол поворота секторов  $\alpha \approx 5^\circ \dots 10^\circ$ .

Таким образом, для собираемости без зазора 3-х секторов необходимо и достаточно, чтобы сумма всех двугранных углов секторов была меньше или равна  $360^\circ$ . Поскольку точное равенст-

во суммы всех двугранных углов  $360^\circ$  обеспечить невозможно, то при сборке всегда образуется характерная «пропеллерность» (рис. 3г). Причем закрученность «пропеллера» может быть как по часовой стрелке, так и против нее. В зависимости от направления закрутки, при точении по наружной поверхности сборки секторов, тангенциальные составляющие сил резания могут «раскрутить» сборку, при этом образуется зазор  $\Delta S$  на наружной поверхности изделия (рис. 6).

Например, при отклонении угла каждого сектора  $-10'$ , и суммарном отклонении  $\Delta\psi = -30'$ , при раскручивании возникает зазор

$$\Delta S = (R - r) \frac{0,5\pi}{360}. \quad (8)$$

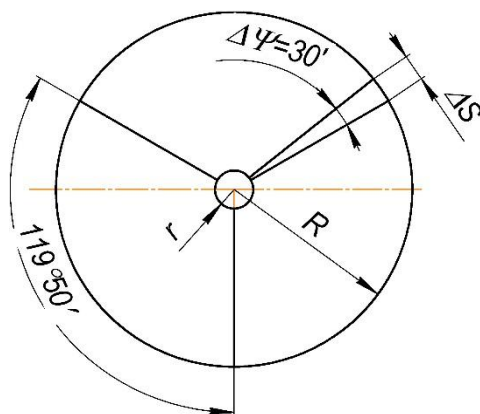


Рис. 6. Возникновение зазора при «раскручивании» сборки при точении резцом

При сборке секторов с углами  $\psi < 120^\circ$  возможно возникновение радиального биения  $\Delta R$  из-за радиального смещения секторов (рис. 7). При значении угла  $\psi = 119,5^\circ \pm 15'$  радиальное биение может достигнуть  $\Delta R = 0,43$  мм, что превышает допустимое значение  $T = 0,2$  мм для данных изделий.

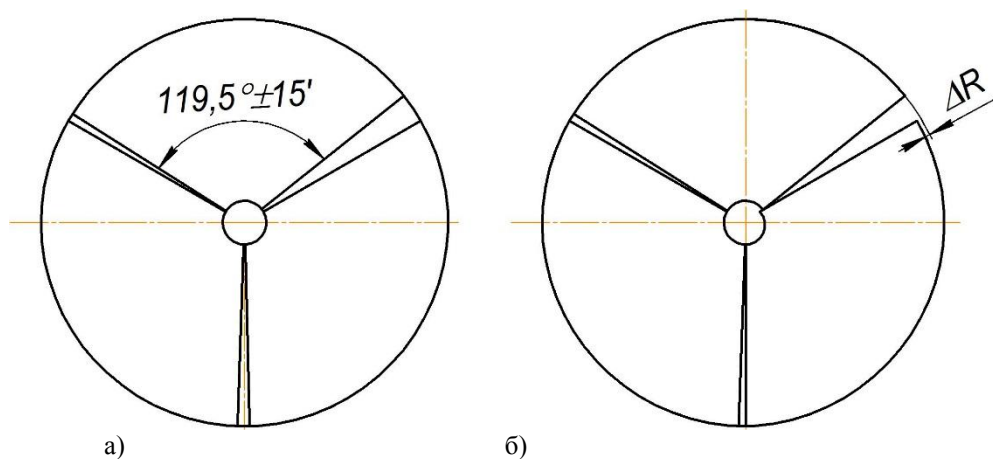


Рис. 7. Возникновение радиального биения при сборке секторов:  
а) сборка секторов при  $\psi = 119,5^\circ \pm 15'$ ,  
б) радиальное смещение одного из секторов

Проведенные статистические исследования на партии деталей из 30 шт., показали превышение допускаемого значения радиального биения у 27 % деталей (рис. 8).

Для уменьшения перечисленных выше погрешностей сборки наиболее существенными являются следующие направления:

- 1) существенно уменьшить допуск на двугранный угол при изготовлении секторов;

2) применить селективную сборку с использованием специального контрольного приспособления, которое позволит значительно уменьшить суммарный дефект двугранных углов без уменьшения допуска на их обработку.

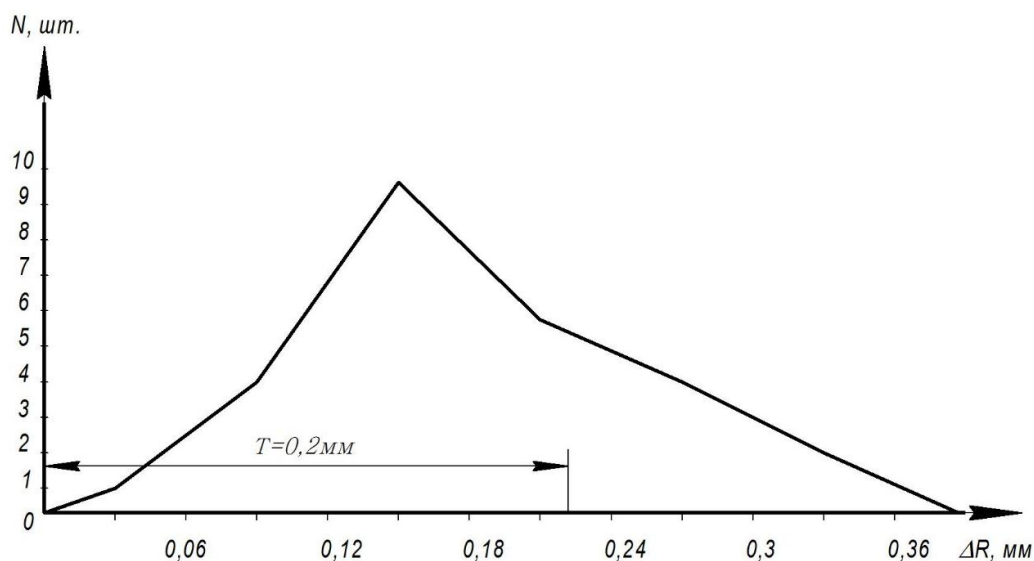


Рис. 8. Результаты измерений радиального биения

### Заключение

Для селективной сборки разработана схема приспособления для контроля двугранного угла (рис. 9). Сектор 1 устанавливается на призму, состоящую из 2-х «полупризмы»: неподвижной (2) и поворотной (3). Поворотом «полупризмы» (3) вокруг оси (5) добиваемся плотного прилегания плоскостей «полупризмы» (3) и сектора (1). Фиксируем полученное положение «полупризмы» (3) регулировочным винтом (4) и измеряем угол поворота «полупризмы» (3) угломером или другим измерительным приспособлением.

Такой контроль и селективная сборка позволят подбирать секторы таким образом, чтобы угол «закрутки» их в собранном виде был минимальным. При этом можно при подборе секторов устанавливать направление «закрутки» – по часовой или против часовой стрелки в зависимости от направления сил резания.

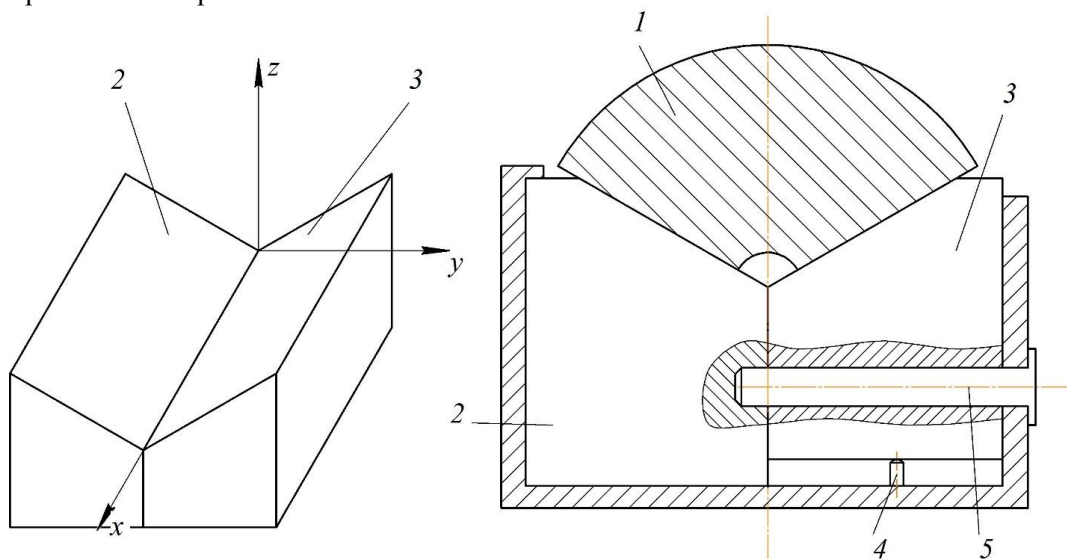


Рис. 9. Схема приспособления для контроля двугранного угла:  
1 – сектор, 2 – неподвижная «полупризма», 3 – поворотная «полупризма»,  
4 – регулируемый упор, 5 – ось

### Литература

1. Boothroyd, G. *Product design for manufacture and assembly* / G. Boothroyd // *Computer-Aided Design*. – 1994. – No. 26 (7). – С. 505–520. DOI: 10.1016/0010-4485(94)90082-5.
2. Базров, Б.М. Факторы, влияющие на выбор технологических баз при изготовлении детали / Б.М. Базров, Т.М. Гайнутдинов // *Вестник машиностроения*. – 2020. – No. 1. – С. 48–51.
3. Thompson, M.K. *Design for manufacturing and assembly key performance indicators to support high-speed product development* / M.K. Thompson, I.K. Juel Jespersen, T. Kjærgaard // *Procedia CIRP*. – 2018. – No. 70. – С. 114–119. DOI: 10.1016/j.procir.2018.02.005.
4. Филипович, О.В. Имитационная модель селективной сборки трех элементов с сортировкой по оцениваемым значениям / О.В. Филипович // *Сборка в машиностроении, приборостроении*. – 2022. – No. 1. – С. 14–17. DOI: 10.36652/0202-3350-2022-23-1-14-17.
5. Rampersad, H.K. *Integrated and assembly oriented product design* / H.K. Rampersad // *Integrated Manufacturing System*. – 1996. – No. 7 (6). – С. 5–15. DOI: 10.1108/09576069610151130.
6. Водолазская, Н.В. Теоретические основы выбора параметров оснастки для сборочного процесса / Н.В. Водолазская // *Сборка в машиностроении, приборостроении*. – 2021. – No. 5. – С. 198–200. DOI: 10.36652/0202-3350-2021-22-5-198-200
7. Задорина, Н.А. Обеспечение качества сборки высокоточных изделий на основе метода индивидуального подбора деталей / Н.А. Задорина, В.В. Непомилуев // *Сборка в машиностроении, приборостроении*. – 2020. – No. 4. – С. 152–157. DOI: 10.36652/0202-3350-2020-21-3-152-157
8. Задорина, Н.А. Индивидуальный подбор деталей при сборке как альтернатива необходимости повышения точности их обработки / Н.А. Задорина, В.В. Непомилуев, Е.В. Олейникова // *Сборка в машиностроении, приборостроении*. – 2019. – No. 5. – С. 225–230.
9. Hein, P.H. *Identifying failure modes and effects through design for assembly analysis* / P.H. Hein, J. Dai, N. Voris et al. // *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*. – 2018. – No. 2A. DOI: 10.1115/DETC2018-86314.
10. Непомилуев, В.В. Обеспечение устойчивости процесса сборки на основе метода индивидуального подбора деталей / В.В. Непомилуев, Е.В. Олейникова, М.В. Тимофеев // *Сборка в машиностроении, приборостроении*. – 2015. – No. 11. – С. 7–12.
11. Bouissiere, F. *Conceptual design for assembly in aerospace industry: A method to assess manufacturing and assembly aspects of product architectures* / F. Bouissiere, C. Cuiller, P.-E. Dereux et al. // *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED*. – 2019. – С. 2961–2970. DOI: 10.1017/dsi.2019.303.
12. Иванов, А.А. Способы базирования сопрягаемых деталей при сборке / А.А. Иванов // *Сборка в машиностроении, приборостроении*. – 2014. – No. 11. – С. 14–19.
13. Назарьев, А.В. Обеспечение эффективного выполнения сборочных операций высокоточных изделий машиностроения и приборостроения / А.В. Назарьев, П.Ю. Бочкарев // *Научные технологии в машиностроении*. 2016. – No. 12. – С. 28–35.
14. Базров, Б.М. Проблема оценки геометрической точности детали / Б.М. Базров // *Научные технологии в машиностроении*. – 2018. – No. 4. – С. 8–12.
15. Польский, Е.А. Обеспечение надежности высокотехнологичных сборочных узлов / Е.А. Польский // *Научные технологии в машиностроении*. – 2018. – No. 11. – С. 24–30.
16. Booker, J.D. *Designing for assembly quality: Strategies, guidelines and techniques* / J.D. Booker, K.G. Swift, N.J. Brown // *Journal of Engineering Design*. – 2005. – No. 16 (3). – С. 279–295. DOI: 10.1080/09544820500126672
17. Judt, D. *Experimental investigation into aircraft system manual assembly performance under varying structural component orientations* / D. Judt, C. Lawson, H. Lockett // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*. – 2020. – No. 234 (4). – С. 840–855. DOI: 10.1177/0954405419883047
18. Wu, T. *A concurrent engineering approach to design for assembly* / T. Wu, P. O'Grady // *Concurrent Engineering Research and Applications*. – 1999. – No. 7 (3). – С. 231–243. DOI: 10.1177/1063293X9900700305
19. Hsu, H.-Y. *A design-for-assembly-based product redesign approach* / H.-Y. Hsu, G.C.I. Lin // *Journal of Engineering Design*. – 1998. – No. 9 (2). – С. 171–195. DOI: 10.1080/095448298261615

20. Gerhardt, D.J. *Design for manufacture and assembly: Case studies in its implementation* / D.J. Gerhardt, W.R. Hutchinson, D.K. Mistry // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 1991. – No. 6 (2). – С. 131–140. DOI: 10.1007/BF02601436

**Дерябин Игорь Петрович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения, станки и инструменты», филиал Южно-Уральского государственного университета, г. Златоуст, [deriabinip@susu.ru](mailto:deriabinip@susu.ru)

**Гужев Виктор Иванович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология автоматизированного машиностроения», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, [guzeevvi@susu.ru](mailto:guzeevvi@susu.ru)

**Козлов Александр Васильевич**, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения, станки и инструменты», филиал Южно-Уральского государственного университета, г. Златоуста, [kozlovav@susu.ru](mailto:kozlovav@susu.ru)

Поступила в редакцию 16 мая 2022 г.

DOI: 10.14529/engin220204

## FEATURES OF PROCESSING AND ASSEMBLY OF COMPOSITE PRODUCTS

*I.P. Deryabin, [deriabinip@susu.ru](mailto:deriabinip@susu.ru)*

*V.I. Guzeev, [guzeevvi@susu.ru](mailto:guzeevvi@susu.ru)*

*A.V. Kozlov, [kozlovav@susu.ru](mailto:kozlovav@susu.ru)*

*South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation*

The article deals with the problems of assembling cylindrical products, consisting of sector parts with dihedral angles. One of the main problems in the assembly of such parts is the accuracy of dihedral angles during processing. Using the example of assembling a product from 3-sector parts, it is shown that even with the exact equality of dihedral angles of  $120^\circ$ , there is no unambiguous basing of these parts during assembly. Since spatial errors of dihedral angles occur during the processing of the planes of sector parts, it is practically impossible to achieve a tight fit of the planes during assembly. Possible options for assembling sectors with a total angle greater than and less than  $360^\circ$  are shown. In this case, a gap in the joint always appears between the planes of the dihedral angles. If the total angle exceeds  $360^\circ$ , the assembly cannot be carried out at all, since it is impossible to ensure the fit of the planes of the dihedral angle. And if the total angle turns out to be less than  $360^\circ$ , the assembly can be carried out, but at the same time, a noticeable twist angle or “propeller” of the assembled sectors appears, as well as the ambiguity of the assembly before and after processing. Using the methods of analytical geometry, it is proved that for the collection without a gap of 3 sectors, it is necessary and sufficient that the sum of all dihedral angles of the sectors be less than or equal to  $360^\circ$ . Since it is impossible to ensure the exact equality of the sum of all dihedral angles of  $360^\circ$ , a characteristic “propeller” is always formed during assembly. To obtain a gap-free connection, a new method for the selective assembly of sectors was proposed and a device scheme for controlling dihedral angles was developed. This method of selective assembly will allow you to select sectors in such a way that the angle of their “twist” in the assembled form is minimal. At the same time, when selecting sectors, it is possible to set the direction of “twisting” – clockwise or counterclockwise, depending on the direction of the cutting forces.

*Keywords: assembly technology, sector parts, control of dihedral angles, conditions for backlash-free connection of three sectors*



### References

1. Boothroyd G. Product design for manufacture and assembly. *Computer-Aided Design*, 1994, no. 26 (7), pp. 505–520. doi: 10.1016/0010-4485(94)90082-5.
2. Bazrov B.M., Gaynutdinov T.M. [Factors Influencing the Choice of Technological Bases in the Manufacture of Parts]. *Vestnik mashinostroeniya*, 2020, no. 1, pp. 48–51. (in Russ.)
3. Thompson M.K., Juel Jespersen I.K., Kjærgaard T. Design for manufacturing and assembly key performance indicators to support high-speed product development. *Procedia CIRP*, 2018, no. 70, pp. 114–119. doi: 10.1016/j.procir.2018.02.005.
4. Filipovich O.V. [Simulation Model of Selective Assembly of Three Elements with Sorting by Estimated Values]. *Assembly in mechanical engineering, instrument making*, 2022, no. 1, pp. 14–17. DOI: 10.36652/0202-3350-2022-23-1-14-17. (in Russ.)
5. Rampersad H.K. Integrated and assembly oriented product design. *Integrated Manufacturing Systems*, 1996, no. 7 (6), pp. 5–15. doi: 10.1108/09576069610151130.
6. Vodolazskaya N.V. [Theoretical Foundations for Choosing Tooling Parameters for the Assembly Process]. *Assembly in mechanical engineering, instrument making*, 2021, no. 5, pp. 198–200. DOI: 10.36652/0202-3350-2021-22-5-198-200. (in Russ.)
7. Zadorina N.A., Nepomiluev V.V. [Ensuring the Quality of Assembly of High-Precision Products Based on the Method of Individual Selection of Parts]. *Assembly in mechanical engineering, instrument making*, 2020, no. 4, pp. 152–157. DOI: 10.36652/0202-3350-2020-21-3-152-157. (in Russ.)
8. Zadorina N.A., Nepomiluev V.V., Oleinikova E.V. [Individual Selection of Parts During Assembly as an Alternative to the Need to Improve the Accuracy of Their Processing]. *Assembly in mechanical engineering, instrument making*, 2019, no. 5, pp. 225–230. (in Russ.)
9. Hein P.H., Dai J., Voris N., Morkos B.W. Identifying Failure Modes and Effects Through Design for Assembly Analysis. *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*, 2018, no. 2A. doi: 10.1115/DETC2018-86314.
10. Nepomiluev V.V., Oleinikova E.V., Timofeev M.V. [Ensuring the Stability of the Assembly Process Based on the Method of Individual Selection of Parts]. *Assembly in mechanical engineering, instrument making*, 2015, no. 11, pp. 7–12. (in Russ.)
11. Bouissiere F., Cuiller C., Dereux P.-E., Malchair C., Favi C., Formentini G. Conceptual design for assembly in aerospace industry: A method to assess manufacturing and assembly aspects of product architectures, *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED*, 2019-August, pp. 2961–2970. doi: 10.1017/dsi.2019.303.
12. Ivanov A.A. [Methods for Locating Mating Parts During Assembly]. *Assembly in mechanical engineering, instrument making*, 2014, no. 11, pp. 14–19. (in Russ.)
13. Nazaryev A.V., Bochkarev P.Yu. [Ensuring the Effective Implementation of Assembly Operations of High-Precision Products of Mechanical Engineering and Instrument Making]. *Science-intensive technologies in mechanical engineering*, 2016, no. 12, pp. 28–35. (in Russ.)
14. Bazrov B.M. [The Problem of Assessing the Geometric Accuracy of a Part]. *Science-intensive technologies in mechanical engineering*, 2018, no. 4, pp. 8–12. (in Russ.)
15. Polsky E.A. [Ensuring the Reliability of High-Tech Assembly Units]. *Science-intensive technologies in mechanical engineering*, 2018, no. 11, pp. 24–30. (in Russ.)
16. Booker J.D., Swift K.G., Brown N.J. Designing for assembly quality: Strategies, guidelines and techniques. *Journal of Engineering Design*, 2005, no. 16 (3), pp. 279–295. DOI: 10.1080/09544820500126672
17. Judt D., Lawson C., Lockett H. Experimental investigation into aircraft system manual assembly performance under varying structural component orientations. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 2020, no. 234 (4), pp. 840–855. DOI: 10.1177/0954405419883047
18. Wu T., O'Grady P. A concurrent engineering approach to design for assembly. *Concurrent Engineering Research and Applications*, 1999, no. 7 (3), pp. 231–243. DOI: 10.1177/1063293X9900700305
19. Hsu H.-Y., Lin G.C.I. A design-for-assembly-based product redesign approach. *Journal of Engineering Design*, 1998, no. 9 (2), pp. 171–195. DOI: 10.1080/095448298261615

20. Gerhardt D.J., Hutchinson W.R., Mistry D.K. Design for manufacture and assembly: Case studies in its implementation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1991, no. 6 (2), pp. 131–140. DOI: 10.1007/BF02601436

*Received 16 May 2022*

---

**ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ**

Дерябин, И.П. Особенности обработки и сборки составных изделий / И.П. Дерябин, В.И. Гузеев, А.В. Козлов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2022. – Т. 22, № 2. – С. 42–51. DOI: 10.14529/engin220204

**FOR CITATION**

Deryabin I.P., Guzeev V.I., Kozlov A.V. Features of processing and assembly of composite products. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2022, vol. 22, no. 2, pp. 42–51. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin220204

---