

О.Ю. Казакова, к.т.н.,
В.И. Петрунин, к.т.н.,
А.А. Казаков, студент
(Самарский государственный технический университет,
Россия, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244)
E-mail: ask@samgtu.ru

Повышение точности при обработке заготовок на станках с ЧПУ

Рассмотрены вопросы повышения точности при обработке на станках с ЧПУ, а именно: оценка степени влияния погрешностей геометрической формы инструментальных оправок на точность осевого расположения и угловую жесткость при закреплении в шпинделе станка.

Ключевые слова: инструментальные оправки; смена инструмента; станок; точность обработки.

O.Yu. Kazakova, c.en.s.,
V.I. Petrunin, c.en.s.,
A.A. Kazakov, student
(Samara State Technical University,
244, Mologvardeyskaya Street, Samara, 443100, Russia)

Improving of accuracy at billet processing in CNC machines

The problems of accuracy improvement at billet processing with emphasis on the influence degree of errors in tool holder geometric forms on the accuracy of the in-line arrangement and tangent stiffness at fixing in a machine spindle are considered. The most frequent cases of form errors, occurring at the tool holders production, are considered: circular deviation (particularly occurrence of out-of-roundness in cross-sectional view), deviations of straightness of cone generatrix (bulge, incurvature), angular errors. To evaluate the accuracy of the in-line arrangement and rigidity of corners of the tool spindle intersystem, the ANSYS Software is used.

Keywords: tool holders; tool change; machine tool; processing accuracy.

В настоящее время повышение точности обработки на металлорежущих станках является одной из актуальных задач. Наряду с погрешностями станка, установки заготовок, упругими силовыми и температурными деформациями технологической системы, влияющими на процесс обработки, большую роль оказывают погрешности осевого расположения инструментальной оправки при закреплении в шпинделе станка.

Весомую роль эта составляющая играет при многократной смене инструмента на станках, оснащенных системой автоматической смены инструмента.

В данном случае погрешности осевого расположения инструментальной оправки будут

связаны с условиями сопряжения конических поверхностей шпинделя и оправки, которые зависят от отклонения конических поверхностей от идеальных.

Современные возможности станков с системами ЧПУ позволяют учесть и компенсировать имеющиеся погрешности конической поверхности шпинделя. Однако учесть погрешности конической поверхности инструментальных оправок применительно к значительному числу инструментов не представляется возможным [1].

Кроме того, что погрешности конусов оправок формируются при их изготовлении, в процессе многократного использования происходит их износ, влияющий на макрогео-

метрию [2].

В связи с вышесказанным, возникает необходимость использования численных методов для решения задач, связанных с рассмотрением процесса закрепления оправки в шпинделе станка.

Наиболее часто встречающиеся погрешности формы, возникающие при изготовлении инструментальных оправок, – это отклонение от круглости (в частности, наличие овальности в поперечном сечении) (рис. 1), отклонения прямолинейности образующих конуса (выпуклость, вогнутость) (рис. 2), угловые погрешности (рис. 3).

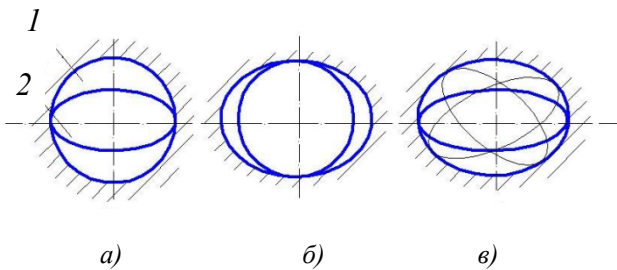


Рис. 1. Схемы отклонений в поперечном сечении:
a – овальность оправки; *б* – овальность конуса шпинделя; *в* – комбинация овальностей конусов; *1* – шпиндель; *2* – оправка

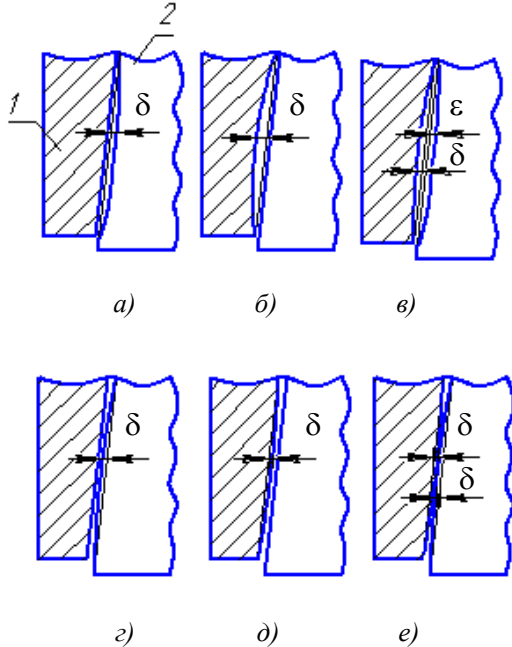


Рис. 2. Схемы отклонений от прямолинейности в продольном сечении вдоль образующей конуса:
1 – шпиндель; *2* – оправка; δ – отклонение от прямолинейности вдоль образующей конуса оправки и шпинделя; *a* (*г*) – вогнутость (выпуклость) конической части оправки; *б* (*д*) – вогнутость (выпуклость) конической части шпинделя; *в* (*е*) – вогнутость (выпуклость) конической части оправки и шпинделя

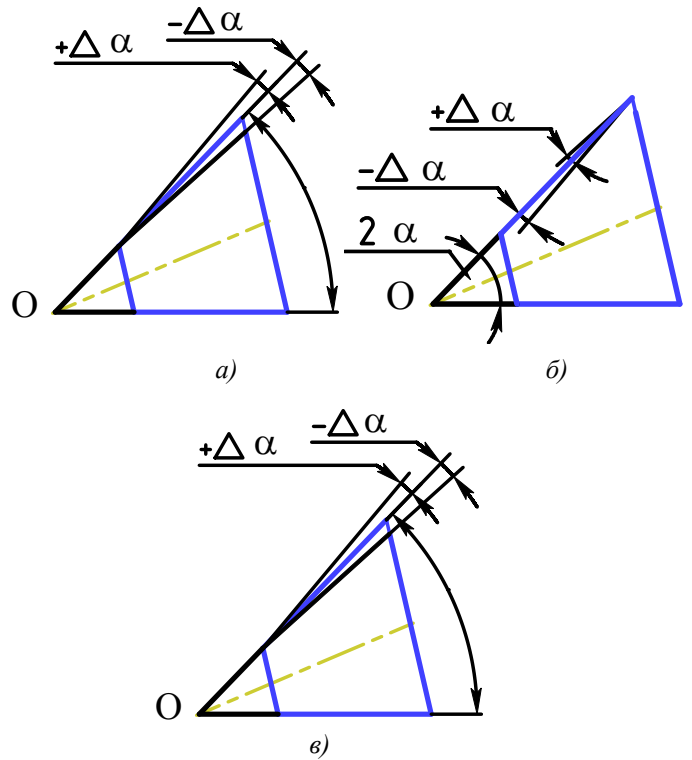


Рис. 3. Отклонение угла конуса:
a – учитываемые от малого диаметра *d*;
б – учитываемые от большого диаметра *D*;
в – учитываемые от вершины конуса *O*

Указанные погрешности, дополняемые изменениями формы при эксплуатации, могут достигать значительных величин.

По ГОСТ 19860–93 на конусы 40 и 45 (наиболее часто используемые) с конусностью 7:24 устанавливается допуск на углы и формы конусов от 3 до 7 степени точности (табл. 1, 2).

С целью оценки точности осевого расположения инструментальной оправки и угловой жесткости подсистемы шпиндель–инструмент был использован программный продукт конечноэлементного анализа Ansys. Он позволяет моделировать подсистему шпиндель–инструмент для двух процессов: процесса закрепления и процесса эксплуатации при следующих условиях: закрепление инструментальной оправки без учета погрешностей формы; закрепление инструментальной оправки при наличии допустимой максимальной и минимальной погрешности на угол конуса (как по большому диаметру, так и по малому диаметру) инструментальной оправки; закрепление инструментальной оправки при наличии минимально и максимально допустимого отклонения прямолинейности образующих конуса (выпуклость, вогнутость).

1. Допуски угла конуса

Обозначения конусов	D	d	L_0	Допуск угла конуса, мкм, АТ _D				
				Степень точности				
				3	4	5	6	7
40	44,450	25,492	65	3,0	5,0	8	12	20
45	57,150	32,942	83	3,0	5,0	8	12	20

2. Допуски формы

Обозначения конусов	Наименование допуска	Допуск формы, мкм, АТ _D				
		Степень точности				
		3	4	5	6	7
40; 45	Допуск прямолинейности образующей конуса	0,8	1,2	2,0	3,0	5

При геометрическом моделировании базирующая часть шпинделя моделировалась упрощенной для сокращения времени расчета в виде кольца с коническим внутренним отверстием с конусностью 7:24. Оправка – в виде усеченного конуса с цилиндрическим пояском на большем диаметре, что соответствует конической части оправки 40 конусности 7:24 (рис. 4).

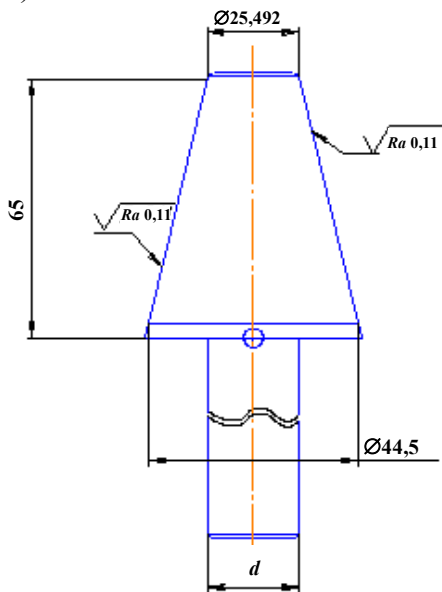


Рис. 4. Инструментальная оправка 40 конусности 7:24

Геометрическая модель (упрощенная) имеет вид, представленный на рис. 5.

На этом же этапе моделировались конструктивные особенности и погрешности конической поверхности оправки. В расчетной модели на цилиндрическую часть шпинделя накладывалось ограничение в виде жесткой заделки, на контур малого диаметра оправки ограничения по повороту. Сила затяжки моде-

лировалась в виде распределенной силы, приложенной к верхнему торцу оправки (рис. 6).

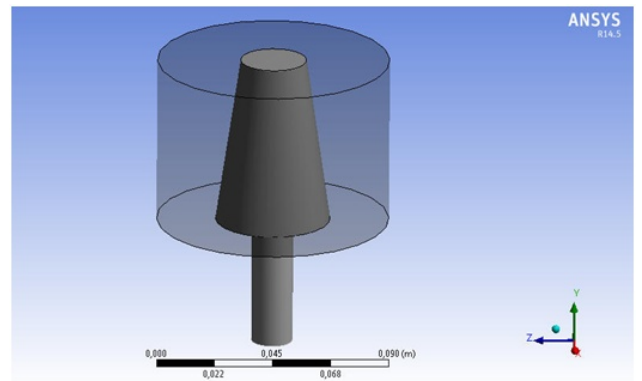


Рис. 5. Упрощенная геометрическая модель подсистемы шпиндель–инструмент

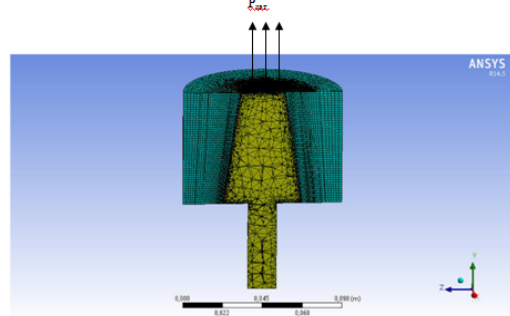


Рис. 6. Конечно-элементная модель подсистемы шпиндель–инструмент

Моделировалась инструментальная оправка 40 конусности 7:24, изготовленная как по номинальным размерам, так и с отклонениями:

- оправка с отклонением прямолинейности образующих конуса (выпуклость, вогнутость), соответствующим изготовлению оправки по 3-й и 7-й степени точности.
- оправка, имеющая отклонения большего диаметра D и меньшего d по 3-й и 7-й степени

точности.

При моделировании шпиндельное отверстие принималось идеальным.

Величина силы затяжки рассчитывалась по известной зависимости [3]:

$$P_{\text{зат}} = p\pi(D - l\text{tg}2\beta) l\text{tg}(2\beta + \rho),$$

где p – среднее давление на конических поверхностях; β – угол между образующей и осью конуса; ρ – угол трения; l – длина контакта конусов; D – средний диаметр по длине l .

Из рис. 7 видно, что наибольшее влияние на точность осевого расположения инструментальной оправки оказывает наличие вогнутости вдоль образующей инструментальной оправки.

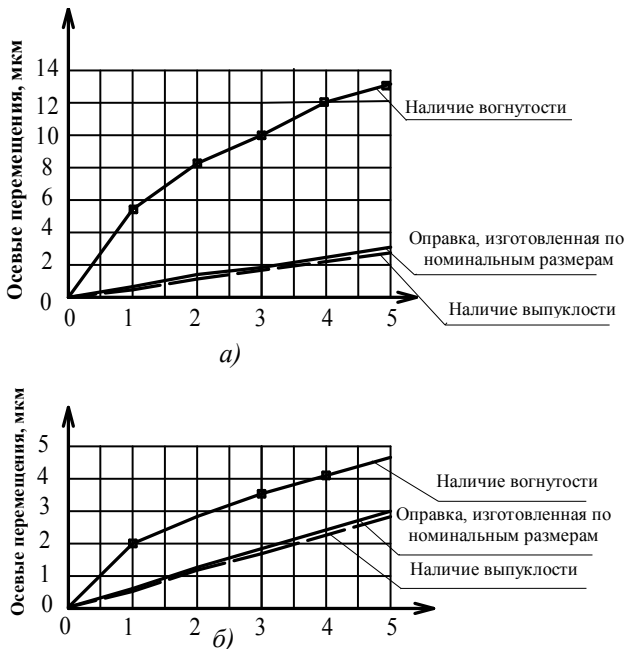


Рис. 7. Осевые перемещения оправки:
 а – наличие погрешностей в пределах 7-й степени точности; б – наличие погрешностей в пределах 3-й степени точности

При наличии вогнутости с увеличением силы затяжки от 1000 до 5000 Н осевые перемещения оправки внутри шпинделя увеличиваются по сравнению с оправкой, изготовленной по номинальным размерам, в среднем в 2 раза при изготовлении оправки с вогнутостью в пределах 3-й степени точности, однако, при изготовлении оправки с вогнутостью в пределах 7-й степени точности осевые перемещения увеличиваются по сравнению с оправкой, изготовленной по номинальным размерам в среднем в 5–6 раз. Наличие выпуклости вдоль образующей оправки незначительно влияет на

изменение осевых перемещений оправки, как при изготовлении по 3-й степени точности, так и по 7-й.

При наличии угловых погрешностей, вызванных уменьшением, как большого, так и малого диаметров, осевые перемещения оправки увеличиваются в 5–6 раз (при изготовлении оправки по 7-й степени точности), относительно оправки, изготовленной по номинальным размерам (рис. 8).

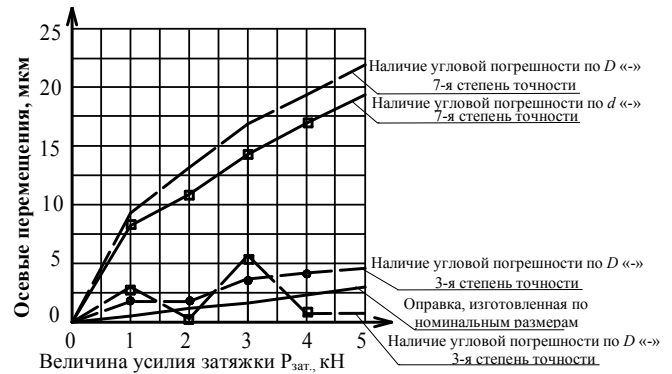


Рис. 8. Осевые перемещения оправки

При повышении точности изготовления оправки с наличием угловой погрешности, образованной уменьшением, как большого, так и малого диаметров (при изготовлении оправки по 3-й степени точности), влияние угловых погрешностей конуса оправки на осевые перемещения снижается и становится незначительным.

Нестабильный характер осевых перемещений проявляется при изготовлении оправки с угловой погрешностью, образованной уменьшением малого диаметра (3-я степень точности).

Угловые погрешности по D и d , образованные увеличением, как большого, так и малого диаметров (в пределах как 3-й, так и 7-й степеней точности) не влияют на осевые перемещения относительно оправки, изготовленной по номинальным размерам.

Более наглядно сравнительная оценка влияния погрешностей инструментальной оправки на точность осевого расположения при закреплении представлена на рис. 9.

Наибольшее отрицательное влияние оказывают угловые погрешности, как по большему диаметру, так и по меньшему с отрицательным допуском (в пределах 7-й степени точности) и вогнутость в пределах 7-й степени.

При наличии данных погрешностей макси-

мальные значения осевых перемещений оправки составляют 22 мкм при силе затяжки 5 кН. Данное изменение положения инструментальной оправки может привести к тому, что будет изменено первоначально настроенное положение инструмента. Это отразится на точности обработки (в частности при выполнении расточных операций на координатно-расточных станках).

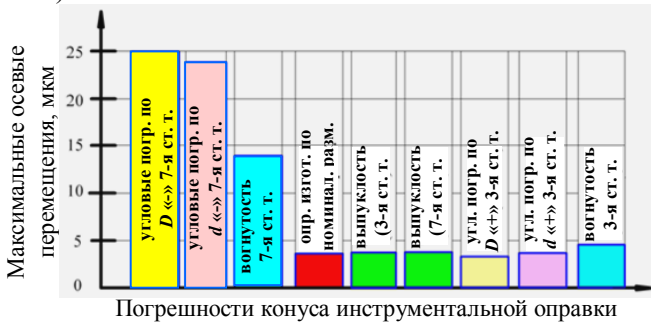


Рис. 9.

Наличие вогнутости оправки, изготовленной по 3-й степени точности, приводит к увеличению осевых перемещений оправки до 4,7 мкм.

С целью оценки влияния радиальной составляющей силы резания на условия закрепления инструмента в шпинделе моделировалось действие на закрепленную оправку радиальной силы на конце оправки, имитирующей радиальную составляющую силы резания.

Максимальные радиальные перемещения (при $P_{зат} = 5000$ Н; $P_{рез} = 2000$ Н) наблюдались у оправки при наличии угловой погрешности по D «-» при изготовлении по 7-й степени точности. Величина данных перемещений составляла 9 мкм, что превышало значения перемещений оправки, изготовленной по номинальным размерам в 4,5 раза.

Использование конечно-элементного моделирования процесса закрепления инструмента позволило сделать следующие выводы:

1. Наибольшее влияние на точность осевого расположения при базировании и закреплении инструментальной оправки оказывают такие погрешности формы, как вогнутость образующей конуса оправки и угловые погрешности, полученные уменьшением, как большего диаметра,

так и малого (увеличение осевого перемещения в 5–6 раз). Предпочтение следует отдать оправкам с плюсовым допуском на угол конуса оправки независимо от параметра его формирования: отклонение большего или меньшего диаметра (что подтверждается аналитическим расчетом). При необходимости использования оправок с минусовыми угловыми погрешностями конуса (уменьшение большего или меньшего диаметра) следует повышать степень точности изготовления.

2. Угловая жесткость конического соединения имеет нелинейный характер изменения от действия радиальной составляющей силы резания в пределах до 1000 Н. При дальнейшем увеличении силы до 2000 Н угловая жесткость подсистемы шпиндель–инструмент увеличивается и имеет линейный характер. При наличии угловых погрешностей, полученных уменьшением как диаметра D , так и d , жесткость снижается приблизительно в 4 раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Денисенко А.Ф., Петрунин В.И., Казакова О.Ю. Исследование точности и жесткости механизмов смены инструмента металлорежущих станков. Самара: Самарский государственный технический университет, 2012. 188 с.
2. Денисенко А.Ф., Казакова О.Ю. Прогнозирование изменения формы базировочных поверхностей инструментальной системы металлорежущих станков при эксплуатации // Вестник машиностроения. 2011. №5. С. 54–57.
3. Проников А.С. Проектирование металлорежущих станков и станочных комплексов: справочник-учебник. В 3-х т. Т.1. / А.С. Проников и др. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана: Машиностроение, 2000. 444 с.

REFERENCES

1. Denisenko A.F., Petrunin V.I., Kazakova O.Yu. Study of accuracy and toughness of tool-change mechanisms of metal-cutting machines. Samara: Samara State Technical University, 2012, 188 p.
2. Denisenko A.F., Kazakova O.Yu. Forecasting the shape change of basing surface of metal-cutting machine tool system at operation. *Vestnik mashinostroeniya*. 2011.No. 5.Pp. 54–57.
3. Design of metal-cutting machines and machine complexes. In 3 V. V.1 A.S. Pronikov and others. Moscow: Bauman MSTU publishing house, 2000. 444 p.

Рецензент д.т.н. А.В. Аверченков

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Брянский государственный технический университет"
241035, г. Брянск, бульвар 50-летия Октября, 7
<http://www.ntmash.tu-bryansk.ru>

Телефон редакции журнала: 8-903-592-87-39. E-mail: naukatm@yandex.ru
Вёрстка А.А. Алисов. Технический редактор А.А. Алисов. Корректор Н.В. Дюбова.

Сдано в набор 04.12.2015. Подписано в печать 15.02.2016.

Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88. Цена свободная.

Отпечатано в типографии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Брянский государственный технический университет"
241035, г. Брянск, бульвар 50-летия Октября, 7