

УДК 621.9:62-187:621.9.02-229

DOI:

О.Ю. Казакова, Л.Б. Гаспарова, А.А. Казаков

ВЛИЯНИЕ РАДИАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СИЛЫ РЕЗАНИЯ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОПРАВКИ НА ЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ В ШПИНДЕЛЕ СТАНКА

Представлены результаты исследования точности и угловой жесткости подсистемы «шпиндель - инструмент» с использованием конечноэлементной модели с учетом погрешностей базирующего конуса инструментальных оправок и конструктивных особенностей. Предложены рекомендации по возможно-

сти использования (в случае технологической необходимости) пояска на конической части оправки.

Ключевые слова: станок, шпиндель, инструментальная оправка, конечноэлементная модель, погрешность, точность, угловая жесткость.

O.Yu. Kazakova, L.B. Gasparova, A.A. Kazakov

IMPACT OF CUTTING FORCE RADIAL COMPONENT AND TOOL MANDREL GEOMETRICAL PARAMETERS UPON ITS POSITION IN MACHINE SPINDLE

The investigation results of accuracy and angular rigidity of the "spindle-tool" subsystem with the use of a finite-element model taking into account errors of the basing cone of mandrels and design peculiarities are presented. A number of experiments allowed drawing the following conclusions:

1. The presence of the band with the width of 5... 10 mm slightly affects mandrel axial movements. A band width increase (up to 25 mm) results in the increase of axial movements. In such a way, in case of technological necessity of band manufacturing a band width should not exceed 5...10mm, it may be located

in the middle of the tapered surface or moved in the direction of a larger diameter.

2. The angular rigidity of a tapered joint has a non-linear character of changes caused by the action of the cutting force radial component within the limits up to 1000 N. At the further force increase up to 2000 N the angular rigidity of the "spindle - tool" subsystem increases according to the linear law. At the presence of angular errors obtained by the decrease of diameters D and d the rigidity decreases by ~ 4 times.

Key words: machine, spindle, mandrel, finite-element model, error, accuracy, angular rigidity.

Введение

Точность осевого расположения инструментальной оправки в отверстии шпинделя носит случайный характер, поскольку оправка и конусное отверстие шпинделя могут иметь погрешности формы, образовавшиеся при изготовлении или в результате износа поверхностей.

Учесть возможные погрешности формы при аналитических исследованиях

контактирования в подсистеме «шпиндель - инструмент» достаточно трудно и не всегда возможно. В связи с этим возникает необходимость использования численных методов для решения задач, связанных с рассмотрением процессов в подсистеме «шпиндель - инструмент».

Влияние геометрических параметров инструментальной оправки на ее осевое расположение в шпинделе станка

Для оценки точности осевого расположения инструментальной оправки и угловой жесткости подсистемы «шпиндель - инструмент» программный продукт конечноэлементного анализа *Ansys* дает возможность моделировать эту подсистему при двух процессах: закрепления и эксплуатации.

Влияние погрешностей формы на точность осевого расположения при закреп-

лении инструмента в шпинделе было рассмотрено в работах [1; 2].

Предложенная ранее конечноэлементная модель позволила оценить влияние пояска на базирующей поверхности оправок на точность их осевого расположения в шпинделе.

Результаты расчета (рис. 1, табл. 1) подтвердили предположение, что оправки без пояска за счет большей контактной

площади имеют меньшие осевые перемещения при закреплении в отверстии шпин-

деля.

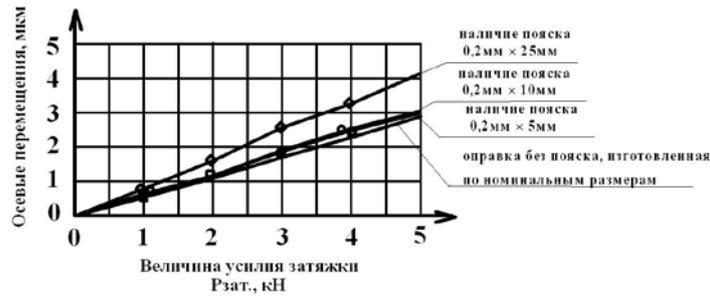


Рис. 1. График зависимости осевого перемещения оправки от размера пояска вдоль образующей

Таблица 1

Осевое перемещение оправки с пояском при закреплении, мкм

P _{зат} , кН	Оправка без пояска	Размер пояска, мм		
		0,2×5	0,2×10	0,2×25
1	0,6	0,6	0,6	0,8
2	1,1	1,2	1,2	1,6
3	1,7	1,8	1,9	2,5
4	2,3	2,4	2,5	3,2
5	2,9	3	3,1	4,2

Наличие пояска шириной 5...10 мм незначительно сказывается на осевых перемещениях оправки.

При наличии пояска размером 0,2 × 25 мм осевые перемещения увеличиваются

на 30% (рис. 1- 3). Оценено также и положение пояска на конической части оправки. Осевые перемещения оправки увеличиваются при смещении пояска к малому диаметру.



Рис. 2. График влияния усилия затяжки на осевые перемещения оправки при различном расположении пояска размером 0,2 × 25 мм

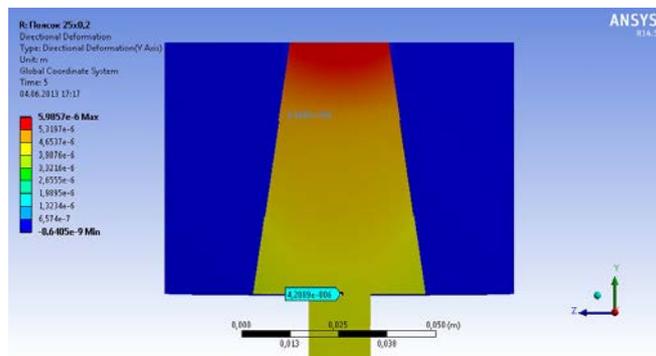


Рис. 3. Осевые перемещения оправки при наличии пояска размером 0,2 × 25 мм

Влияние радиальной составляющей силы резания на положение оправки в шпинделе станка

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 (рис. 4).

Расчет проводился для оправки 40 при следующих исходных данных: усилие затяжки - 5000 Н; радиальная составляющая силы резания - 500, 1000, 2000 Н. Указанные значения радиальных сил соответствуют рассчитанным для чистовых режимов резания и подтверждаются данными работы [3].

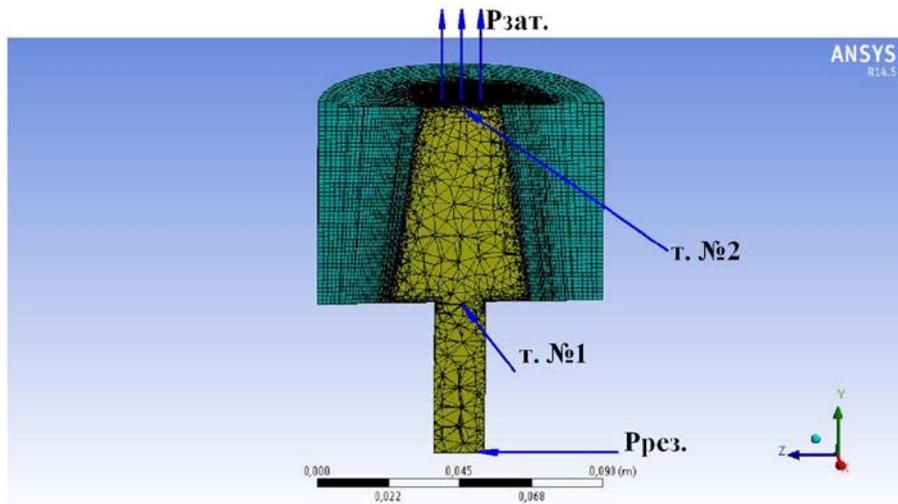


Рис. 4. Конечноэлементная модель подсистемы «шпиндель - инструмент»

Для оценки полученных расчетных данных в пакете *Ansys* использовались результаты экспериментов, проведенных на экспериментальном стенде [2].

Разработанная КЭ модель была использована для анализа процессов в подсистеме «шпиндель - инструмент» при наличии отклонения от прямолинейности (выпуклость) образующей конуса инструментальной оправки и угловых погрешностей.

Погрешности моделировались в допустимых пределах (при изготовлении по 7-й степени точности).

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.

Наличие угловой погрешности по D и d «-» (по 7-й ст. т.) существенно отражается на картине упругих угловых деформаций и угловой жесткости в подсистеме «шпиндель - инструмент» (рис. 5, табл. 2).

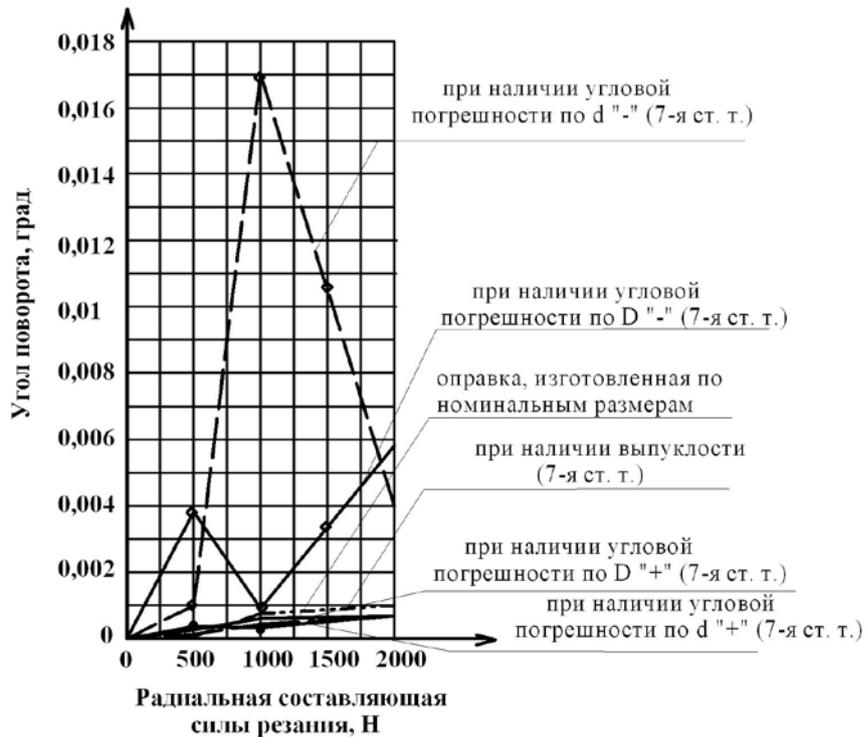


Рис. 5. Влияние угловых погрешностей и отклонения от прямолинейности (выпуклость) направляющей конуса на упругие угловые деформации в подсистеме «шпиндель - инструмент»

Таблица 2

Значения угловой жесткости подсистемы «шпиндель - инструмент», Н/рад

$P_{рез}, Н$	Оправка, изготовленная по номинальным размерам	Наличие погрешности по D «+» по 7-й ст. т.	Наличие погрешности по D «-» по 7-й ст. т.	Наличие погрешности по d «+» по 7-й ст. т.	Наличие погрешности по d «-» по 7-й ст. т.	Наличие выпуклости по 7-й ст. т.
500	$1,1 \cdot 10^7$	$1,6 \cdot 10^8$	$7,3 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^8$
1000	$1,1 \cdot 10^8$	$1,2 \cdot 10^8$	$7,6 \cdot 10^6$	$1,4 \cdot 10^8$	$3,4 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^8$
2000	$1,8 \cdot 10^8$	$1,8 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^8$	$2,7 \cdot 10^7$	$1,1 \cdot 10^8$

Результаты расчета с использованием пакета конечноэлементного анализа *Ansys* позволили сделать вывод о незначительном влиянии угловых погрешностей конуса оправки, полученных при отклонении обоих диаметров в положительную сторону, на жесткость подсистемы «шпиндель - инструмент» в области сил резания (1000...2000 Н). Приведенные выводы хорошо согласуются с данными работы [3].

Угловая жесткость подсистемы «шпиндель - инструмент» при наличии угловых погрешностей оправки (D «-» и d «-») с увеличением радиальной составляющей силы резания практически не меняется и остается существенно ниже жесткости оправки, изготовленной по номинальным размерам (рис. 6).



Рис. 6. Жесткость оправок
(все погрешности моделировались по 7-й степени точности)

Заключение

Проведенный ряд экспериментов позволил сделать следующие выводы:

1. Оправка без пояска за счет большей контактной площади имеет меньшие осевые перемещения при закреплении. Наличие пояска шириной 5...10 мм незначительно сказывается на осевых перемещениях оправки.

Дальнейшее увеличение ширины пояска (до 25 мм) приводит к увеличению осевых перемещений на ~ 30 % по сравнению с оправкой, изготовленной по номинальным размерам. При смещении данного пояска из центральной части в сторону меньшего диаметра осевые перемещения еще более увеличиваются. Таким образом, в случае технологической необхо-

димости изготовления пояска его ширина не должна превышать 5...10 мм, он может располагаться в средней части конической поверхности или быть смещен в сторону большего диаметра.

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 изменения. При наличии угловых погрешностей, полученных уменьшением диаметров D и d , жесткость снижается в ~ 4 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казакова, О.Ю. Повышение точности при обработке заготовок на станках с ЧПУ / О.Ю. Казакова, В.И. Петрунин, А.А. Казаков // Научно-технические технологии в машиностроении. - 2016. - №2 (56). - С. 44-48.
2. Казакова, О.Ю. Повышение точности обработки на станках фрезерно-сверлильно-расточной
1. Kazakova, O.Yu. Accuracy increase at blank machining on NC machines / O.Yu. Kazakova, V.I. Petrunin, A.A. Kazakov // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. - 2016. - No.2 (56). - pp. 44-48.
2. Kazakova, O.Yu. Machining Accuracy Increase on Machines of Milling-Drilling-Boring Group at the

группы за счет минимизации погрешностей инструментальных систем: дис. ... канд. техн. наук / О.Ю. Казакова. - Самара, 2013. - 182 с.

3. Левина, З.М. Исследование жесткости конических соединений / З.М. Левина, А.А. Корниенко, А.Г. Бойм // Станки и инструмент. - 1973. - № 10. - С. 13-17.

Expense of Error Minimization in Tool Systems: thesis for Can. Eng. degree / O.Yu. Kazakova. - Samara, 2013. - pp. 182.

3. Levina, Z.M. Rigidity investigations in tapered joints / Z.M. Levina, A.A. Kornienko, A.G. Boim // *Machines and Tools*. - 1973. - No.10. - pp. 13-17.

Статья поступила в редколлегию 21.12.17.

*Рецензент: д.т.н., профессор Брянского
государственного технического университета
Киричек А.В.*

Сведения об авторах:

Казакова Ольга Юрьевна, к.т.н., доцент Самарского государственного технического университета, тел. 89276526590; 8(846)2420697, e-mail: kazakova8080@mail.ru.

Гаспарова Лана Багратовна, к.пед.н., доцент Самарского государственного технического универ-

ситета, тел. 89272606805; 8(846)2784414, e-mail: gasparova@mail.ru.

Казаков Андрей Александрович, студент Самарского государственного технического университета, тел. 89276012052, e-mail: kazakova8080@mail.ru.

Kazakova Olga Yurievna, Can. Eng., Assistant Prof. of Samara State Technical University, e-mail: kazakova8080@mail.ru.

Gasparova Lana Bagratovna, Can. Pedagog., Assistant Prof. of Samara State Technical University, e-mail: gasparova@mail.ru.

Kazakov Andrey Alexandrovich, Student of Samara State Technical University, e-mail: kazakova8080@mail.ru.