

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОСИ ШПИНДЕЛЯ ГОРИЗОНТАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

При формировании параметров точности обрабатываемой детали решающее значение имеет точность станка, каждый узел которого вносит свою погрешность при обработке. Наиболее ответственным узлом станка является шпиндельный узел (ШУ), всегда и непосредственно участвующий в процессе формообразования. На его долю приходится от 50 до 80% погрешностей в общем балансе точности станка [1]. Неконтролируемое смещение оси шпинделя приводит к ухудшению показателей геометрической точности детали, таких как отклонения формы, точность линейных размеров, отклонения расположения поверхностей, не оказывая при этом существенного воздействия на показатели точности микроуровня.

В процессе работы ШУ в первую очередь воспринимает энергетические нагрузки различной скорости и интенсивности, основные из которых приведены на рис. 1.

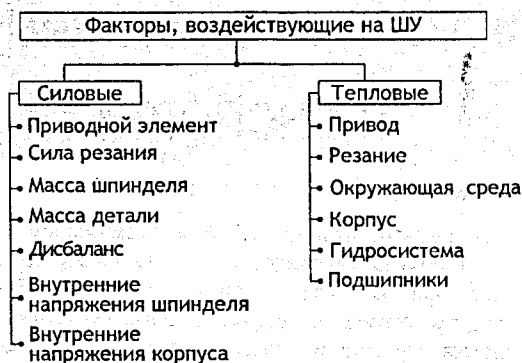
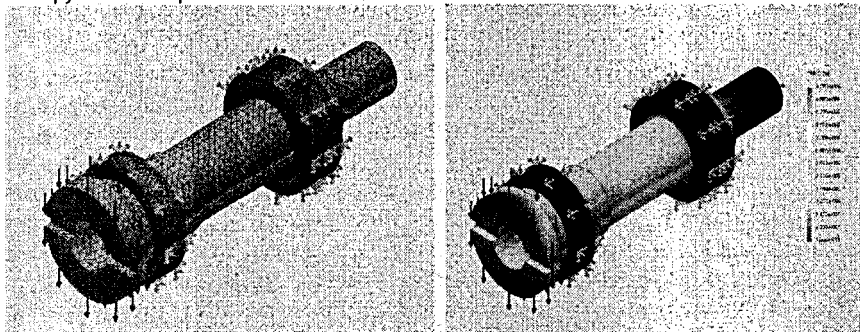


Рисунок 1 – Энергетические факторы, воздействующие на ШУ

За основу расчета при прогнозировании положения оси шпинделя взят один из силовых факторов – сила резания  $P$ , рассмотрение которой ведется в проекциях  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$ .

В приложении SolidWorks Simulation была построена математическая модель ШУ горизонтально-фрезерного станка Орша Ф32Ш. В качестве нагрузки была принята вертикальная составляющая силы резания  $P_z$ , приложенная к консоли шпинделя, интервал значений которой (1..6 кН) принят исходя из допустимых режимов обработки на станке. Жестко закрепленными являются наружные опоры подшипников, что исключает их перемещение. Расчет произведен методом конечных элементов, для чего на модель накладывается параметрическая сетка конечных элементов (рис. 2а). SW Simulation составляет уравнения, управляющие поведением каждого элемента и учитывающие его связи с другими элементами. Эти уравнения устанавливают взаимосвязь между перемещениями и известными свойствами материалов, закреплениями и нагрузками. Затем программа преобразует уравнения в систему алгебраических уравнений, решая которую

находятся перемещения каждого узла в требуемом направлении. По расчетным данным строятся эпюры перемещений по осям X, Y, Z и эпюра результирующего перемещения показанная на рисунке 16. Для удобства восприятия градиентной эпюры необходимо преобразовать ее в числовую зависимость, используя значения перемещения в контрольных точках. В данном случае расположение контрольных точек выбрано по наружной круговой поверхности консоли.



а) конечно-элементная сетка с приложенными нагрузками и закреплениями  
б) эпюра результирующего перемещения

Рисунок 2 – Математическая модель ШУ

Наиболее важным (исходя из максимально достижимой точности) является смещение оси шпинделя в направлении оси Y, поскольку при фрезеровании на горизонтально-фрезерном станке составляющая силы резания в направлении оси Y является максимальной, а прогиб в этом направлении приводит к смещению оси инструмента относительно заготовки и как следствие ухудшению параметров точности обработанной детали [2].

График перемещения контрольных точек поверхности консоли приведен на рисунке 3.

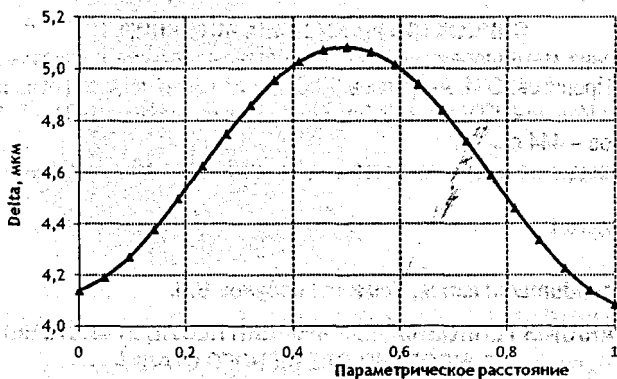


Рисунок 3 – Перемещение контрольных точек консоли шпинделя

По графику определены точки консоли с максимальным перемещением, по которым в дальнейшем ведется анализ поведения ШУ под воздействием внешней нагрузки. Прикладывая различные силы в исследуемом интервале, определена зависимость максимального перемещения оси от величины внешней нагрузки, которая приведена на рисунке 4. Зависимость имеет линейный характер, что очевидно, исходя из условия выполнения закона Гука, т.к. при работе станка в допустимых режимах на ШУ не действуют усилия, приводящие к пластическим деформациям элементов узла. Наклон графика зависит от жесткости ШУ и для каждого типа станка будет иметь свое значение, зависящее от конструкции станка.

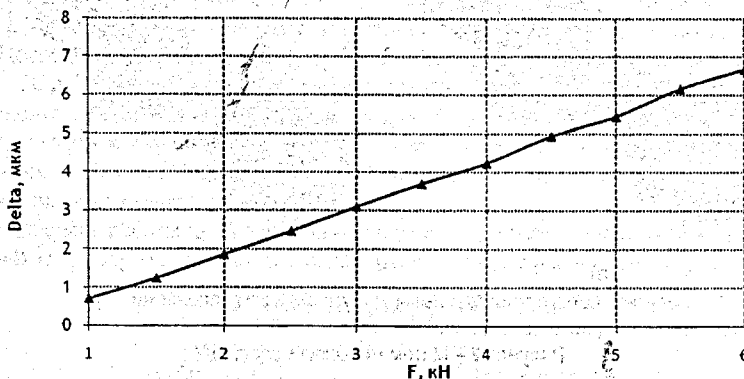


Рисунок 4 – Зависимость прогиба шпинделя от величины нагрузки

Для конкретного вида обработки известны режимы резания, а как следствие и сила резания, значение составляющих которой можно определить аналитически либо экспериментально. Полученные моделированием теоретические исследования позволяют по значению силы резания и полученным характеристикам смещения оси от внешней нагрузки спрогнозировать смещение шпинделя и установленного в нем инструмента и внести корректировку в максимально достижимую точность.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: справочник-учебник: в 3-х т. / А.С. Проников, О.И. Аверьянов, Ю.С. Аполлонов [и др.]; под общ. ред. А.С. Проникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана: Машиностроение, 1994 – Т. 1. Проектирование станков – 444 с.
2. Пуш, А.В. Шпиндельные узлы: качество и надежность. – М.: Машиностроение, 1992. – 288 с.

УДК 621.9.06- 192:620.1

**Касьян Л.В.**

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Горбунов В.П.*

#### АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ НЕСУЩЕЙ СИСТЕМЫ КОНСОЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА

Нагрев станка сопровождается температурными деформациями его деталей, изменением формы их поверхностей, нарушением точности взаимного положения узлов. Ис-