

УДК 621.923.045

Исследование напряженно-деформированного состояния системы круглошлифовального станка методом конечных элементов

Ломова О.С., Сорокина И.А.

Современное развитие машиностроения сопровождается непрерывным ростом точности деталей машин и повышением геометрической формы заготовок. Отклонения формы цилиндрических поверхностей существенно влияют на контактную жесткость, износостойкость, герметичность соединений, шум и другие эксплуатационные характеристики оборудования. Решение проблемы точности направлено не только на обеспечение точного изготовления обработанных деталей, но и на анализ причин возникновения погрешностей обработки, зависящих от степени действия технологических факторов. Среди них значительное влияние оказывает радиальная сила резания. Одним из путей повышения точности обработки является ослабление вынужденных колебаний и уменьшение деформаций узлов станка. В статье изучено влияние упругих деформаций системы круглошлифовального станка на точность обрабатываемых поверхностей. Построена 3D модель обработки заготовок и методом конечных элементов рассчитаны деформации и напряжения технологической системы при действии силы резания.

Ключевые слова: метод конечных элементов, упругие деформации, сила резания, точность шлифования.

The study of stress-strain state of cylindrical grinding machines by finite element technique

Lomova O.S., Sorokina I.A.

Nowadays, the development of mechanical engineering is featured by the continuous accuracy improvement of machine parts as well as perfecting the geometric shape of blanks. Shape deviation of cylindrical surfaces significantly affects the contact rigidity, wearing qualities, impermeability, noise and other performances of the equipment. The consideration of accuracy problem aims at providing accurate manufacture of machined parts, as well as analyzing the reasons for errors in treatment, which depend on the technological effectiveness factors. Radial cutting force makes the greatest affect in comparison with other factors. One way to improve the accuracy of treatment is to reduce forced vibrations and deformation of machine tool units. The paper presents the research of elastic deformation impact of cylindrical grinding machines on the treated surface accuracy. A 3D model of the blank machine-treatment has been designed. The strains and stresses of the technological system under cutting force have been calculated by finite element technique.

Keywords: the method of finite elements, the elastic deformation, the cutting force, grinding accuracy.

Введение

Анализ процесса обработки на круглошлифовальных станках показал, что точность заготовок во многом зависит от упругих деформаций, определяемых колебательными процессами в зоне резания, вибрациями из-за неуравновешенности движущихся элементов, изменениями припуска на заготовке, жесткостью узлов и опорных стыков в станке. Поскольку при эксплуатации станки подвергаются внешним и внутренним воздействиям,

в них неизбежно возникают явления, приводящие к изменению их точности. При этом важную функциональную роль играют упругие деформации, возникающие под влиянием силы резания. Ввиду наличия упругих связей, любое из возмущений передается другим элементам, и сумма возмущений определяет динамическое состояние системы [1].

Исследования показали, что этап врезания и черновой режим обработки характеризуется неустановившимся режимом съема металла,

когда при фактическом увеличении глубины резания непрерывно увеличивается натяг в технологической системе. В результате действия сил резания происходит упругое перемещение шпинделя, переднего и заднего центров станка. В дальнейшем, когда подача на глубину и сила резания стабилизируются, упругие деформации уже изменили положение отдельных элементов станка (центров и шлифовального круга) и заготовки, что влечет за собой наследование погрешности формы на обрабатываемую поверхность. Также существенное влияние на точность обработки оказывают тепловые деформации, в частности нагрев шлифовальной бабки станка, также вызывающие смещение оси шпинделя шлифовального круга относительно оси заготовки.

Важным аспектом в возможности исследования переходных процессов шлифования и сопровождающих их тепло-динамических явлений является математическое моделирование, позволяющее разработать условия устранения или уменьшения отрицательных влияний на точность обработанных поверхностей. Кроме того, моделирование рабочих циклов процесса позволяет найти аналитические решения расчета его этапов и выбрать рациональные пути управления точностью обработки с учетом сопровождающих возмущающих воздействий.

Целью работы является определение влияния упругих деформаций и напряжений технологической системы круглошлифовального станка на точность обработки методом конечных элементов.

Моделирование динамического состояния технологической системы методом конечных элементов

Структурная схема динамики станка достаточно сложна. В процессе шлифования входным сигналом является сила резания, которая действует на заготовку и шлифовальный круг. При этом круг и шлифовальная бабка связаны между собой множеством прямых и обратных связей, что не позволяет их выделить отдельно, поэтому они объединены в единое звено (рис. 1). Математическое моделирование выполнено на примере процесса обработки заготовок из стали 40 ХН диаметром 25 мм и 50 мм при ширине 50 мм кругом марки 15А50СТ2К на круглошлифовальном станке модели 3А151.

Для исследования динамики круглого шлифования используется пакет программ Solid Works, где в приложении Simulation построена трехмерная модель процесса [2]. При этом количество деталей сборки реального объекта исследования было уменьшено с 18 до 6, что заметно упростило процесс моделирования и длительность расчета. В результате были получены зависимости упругих деформаций и напряжений технологической системы в процессе взаимодействия заготовки и шлифовального круга (рис. 2, 3). Из графика (рис. 2) следует, что упругие деформации со стороны подвижного центра (слева) возрастают. Отжатия в технологической системе приводят к колебанию радиуса по длине заготовки. При этом заготовка с меньшим диаметром испытывает большие деформации.

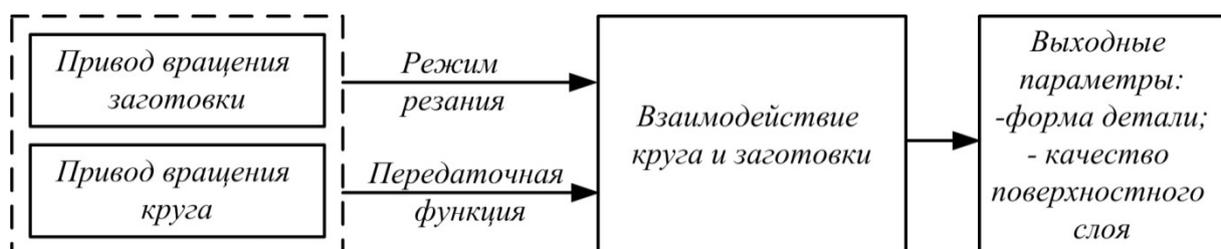


Рис. 1. Схема модели процесса шлифования

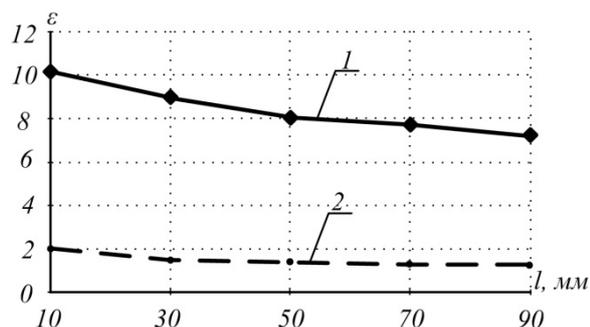


Рис. 2. Изменение деформаций по длине заготовки: 1 – заготовка $\varnothing = 25$ мм, 2 – заготовка $\varnothing = 50$ мм.

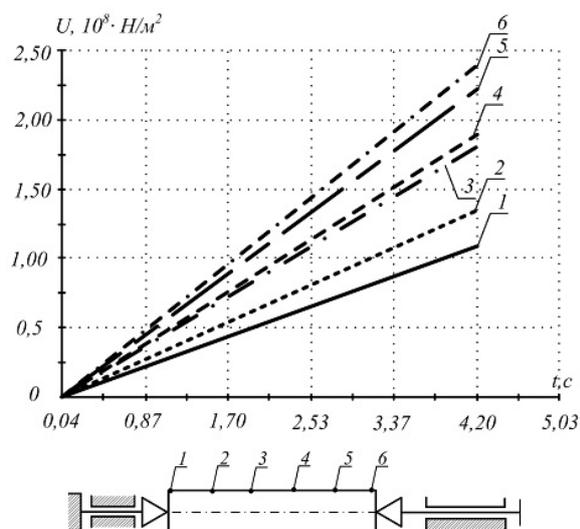


Рис. 3. Зависимости изменения напряжений по длине заготовки от времени обработки.

Узел шлифовальной бабки является мощным возбудителем колебаний. Из-за особенностей конструкции станка они более интенсивно передаются остальным узлам, чем колебания возбуждаемые гидроприводом. В результате наличия зазоров в подшипниках шпинделя, необходимых для обеспечения нормальной работы шлифовальной бабки, и действия сил резания происходит поворот оси шпинделя в подшипниках.

На графике (рис. 3) показано напряженно-деформированное состояние оси шпинделя в результате действия сил резания P . Величина перемещения зависит от силы веса шпинделя вместе со шлифовальным кругом G и зазоров в подшипниках. Его можно выразить следующей зависимостью:

$$\delta_x = \frac{\Delta_{ш}}{2 \operatorname{tg} \beta} \quad (1)$$

где δ_x - смещение оси шпинделя в переднем подшипнике у шлифовального круга; β - угол между результирующей силой резания и горизонталью; $\Delta_{ш}$ - величина зазора в подшипнике шпинделя:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{P \cdot \cos \alpha}{G - P \cdot \sin \alpha} \quad (2)$$

Поскольку вектор результирующей силы изменяет своё направление в результате колебания силы резания, то и смещение оси шпинделя будет изменяться. Практика показывает, что отношение радиальной составляющей силы резания к тангенциальной может колебаться в пределах 1...3, а при затуплении круга это отношение может составлять величину порядка 5 и, следовательно, угол вектора смещения α может изменяться в среднем в пределах 18...45° (относительно горизонтали). Например, для значений $d = 20^\circ$, $\Delta = 0,04$ мм, $G = 50$ Н, $P = 25$ Н смещение δ_x составит 5,6 мкм, а при уменьшении силы резания до 5 Н это смещение будет равно 1,4 мкм. Таким образом, смещение оси шпинделя может изменяться в пределах 1,4...5,7 мкм и составлять 4,3 мкм для рассматриваемого случая [3].

На рисунке 5 показана экспериментальная зависимость смещения оси шпинделя от результирующей силы и величины зазора между шейкой вала и корпусом подшипника.

Погрешность формы продольного профиля обрабатываемой поверхности в результате зазоров в шпиндельном узле и пиноли задней бабки можно определить по формуле:

$$\Delta_\phi = 2\alpha \cdot L \quad (3)$$

где L - длина обрабатываемой поверхности; α - угол конусообразности; M - расстояние между подшипниками шпинделя; δ_x - радиальное смещение оси шпинделя в переднем подшипнике; y - смещение заднего центра в результате колебания длины заготовки.

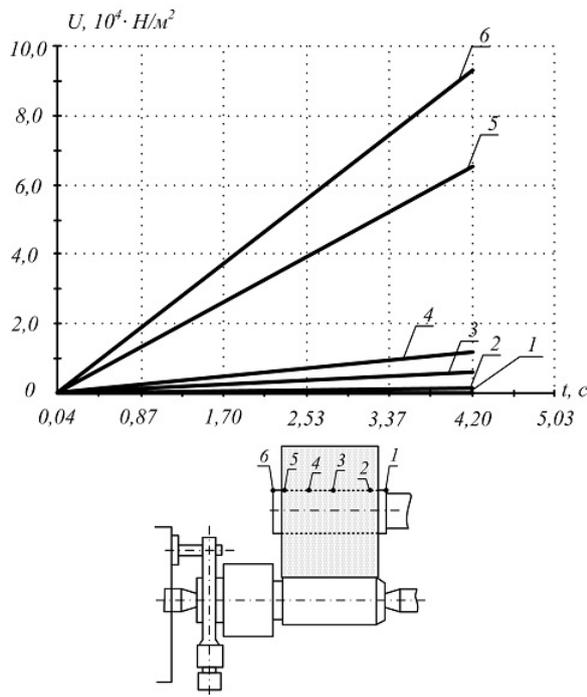


Рис. 4. Напряженно-деформированное состояние оси шпинделя от времени обработки.

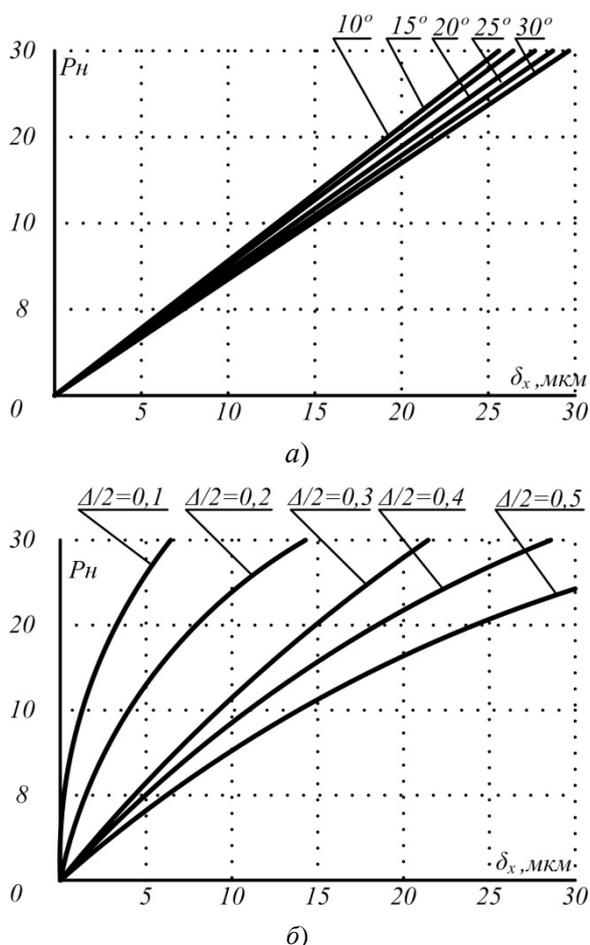


Рис. 5. Зависимость смещения оси шпинделя:

- а) от прилагаемой нагрузки
- б) зазоров в подшипниках.

Заключение

Рассмотрение образования погрешности формы поверхности было выполнено без учёта влияния упругих деформаций переднего и заднего центров станка, которые вносят дополнительную погрешность. При этом направление конусообразности зависит от соотношения упругих деформаций элементов станка. С одной стороны, упругие перемещения центров приводят к отклонению оси вращения заготовки. С другой стороны, перемещение оси шпинделя в результате зазоров вызывает поворот оси шлифовального круга.

Как правило, процесс врезного шлифования заканчивается с малыми по величине составляющими силами резания, которые и будут влиять на точность обработки. Допуская это изменение в пределах 10...15 Н, расчётная величина конусообразности составит 2,4 мкм на длине обработки 50 мм при несоосности центров и зазоров в пределах допуска. Это значительно меньше реальной величины. Следовательно, даже незначительное изменение зазоров и сил резания приводит к образованию существенной погрешности формы. С учётом смещения вершины подвижного центра можно ожидать ещё большего ее изменения. Таким образом, погрешность формы определяется совместным действием следующих причин: нестабильностью сил резания, зазорами в узлах станка и колебаниями подвижного центра.

С помощью программ трехмерного моделирования становится возможным определить смещения оси заготовки при приложении к ней расчетной радиальной составляющей силы резания P_y . Это позволит визуализировать процесс возникновения как линейных, так и диаметральных погрешностей отклонений формы. Математическая модель и проведённые эксперименты определили пути управления технологической системой в процессе круглого шлифования. Коррекция сил резания исключит влияние упругих деформаций и уменьшит погрешность заготовок.

Литература

1. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке. – Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1979. – 232 с.
2. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 464 с.
3. Ломова О.С., Ломов С.М., Моргунов А.П. Точность обработки деталей на круглошлифовальных станках: Монография. – М.: Издательский центр «Технология машиностроения». – 2011. – 176 с.

References

1. *Novoselov Y.K.* The dynamics of surfaces formation by abrasive machining. – Saratov: Saratov State University, 1979. – 232 p.
2. *Aljamovskiy A.A.* Engineering calculations in SolidWorks Simulation. – Moscow: DMK Press, 2010. – 464 p.
3. *Lomova O.S., Lomov S.M., Morgunov A.P.* Precision machining for cylindrical grinding machines: Monograph. – Moscow: Publishing Center «Mechanical Engineering», 2011. – 176 p.

Статья поступила в редакцию 17 февраля 2013 г.

Ломова Ольга Станиславовна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Нефтехимические технологии и оборудование», Омский государственный технический университет. E-mail: 190567@mail.ru

Сорокина Ирина Александровна – аспирант кафедры «Нефтехимические технологии и оборудование», Омский государственный технический университет. E-mail: Irina3980@mail.ru

Lomova Olga Stanislavovna – Ph.D., Omsk State Technical University. E-mail: 190567@mail.ru

Sorokina Irina Aleksandrovna – Graduate student, Omsk State Technical University. E-mail: Irina3980@mail.ru