

УДК 621.922,519.876.5

## Обеспечение точности валов центробежных насосов на основе моделирования динамики станка

Ломова О.С., Ломов С.М., Сорокина И.А., Яковлева Е.И.

В статье разработана математическая модель обработки валов насоса и двигателя, на основании которой определены пути управления технологической системой в процессе шлифования с целью получения деталей высокой точности.

*Ключевые слова:* точность изготовления валов, процесс шлифования, динамика станка, математическое моделирование

### Введение

Высокие показатели точности и надёжности насосного оборудования зависят от условий изготовления ответственных деталей, обеспечиваемых, главным образом, точностью станка [1, 2]. Для достижения точности в массовом производстве целесообразно построение математической модели процесса обработки как динамической преобразующей системы.

Цель работы состоит в определении путей управления технологической системой в процессе шлифования с целью получения деталей высокой точности.

### Результаты исследований

Проведённые экспериментальные исследования обеспечения точности изготовления вала центробежного насоса ДЦН80 (вал I), предназначенного для подачи топлива в авиадвигатели, и для вала двигателя ДС0.02 (вал II) позволили выявить влияющие технологические факторы и на их основе разработать математическую модель и определить пути управления технологической системой в процессе шлифования. Рассматриваемые валы изготовлены из легированных сталей: вал I — сталь 40X и вал II — сталь 38X2НЮА. Заготовками для этих деталей является прокат, который подвергался термообработке закалка-отпуск (твёрдость HRC 30...37) [3]. Основные конструктивные особенности валов представлены на рисунке 1.

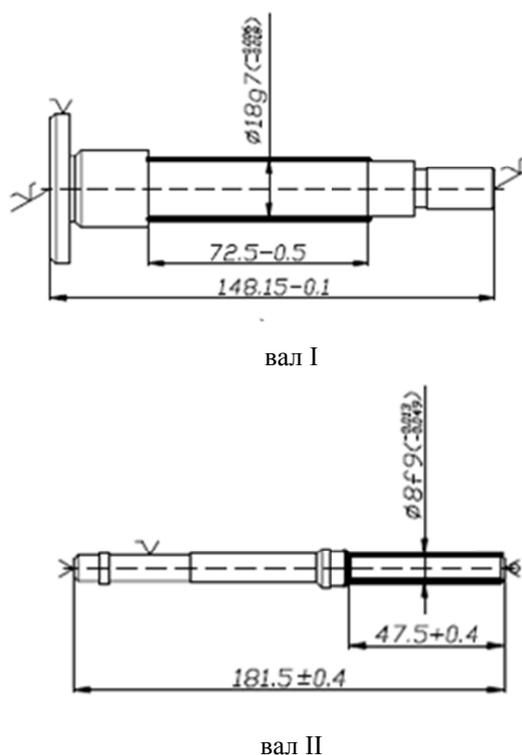


Рис. 1. Конструктивные особенности валов

Объектом исследования явился процесс обработки поверхности вала на круглошлифовальном станке.

В процессе шлифования происходит комплексное воздействие силовых и температурных факторов на поверхностные слои обрабатываемых заготовок, в результате возникают сложные структурно-фазовые превращения, упругопластические деформации и другие явления, приводящие к образованию остаточных напряжений. Исследования были направлены на решение следующих задач: рассмотрение конструктивно-технологических осо-

бенностей данного класса деталей, определение степени влияния технологических факторов на точность обработки, выявление особенностей шлифования наружных цилиндрических поверхностей.

Моделирование динамических и механических систем можно условно разложить на два этапа: 1) создание в программе Solid Works пространственной модели технологической системы круглошлифовального станка; 2) задание в надстройке Cosmos Motion степеней свободы подвижных соединений и постоянных движений узлов станка и заготовки, обусловленных приложением к ним внешних усилий [4].

Первый этап можно представить в виде последовательности действий:

1) создание пространственных моделей узлов и деталей, из которых состоит технологическая система;

2) задание свойств материалов заготовки и шлифовального круга;

3) соединение деталей и сборку, адекватную объекту исследования с использованием соответствующих сопряжений: шлифовальный круг 1 движется относительно заготовки 2, которая в закреплена в неподвижных центрах 3, расположенных в передней и задней бабках 4 и 5 круглошлифовального станка (рис. 2).

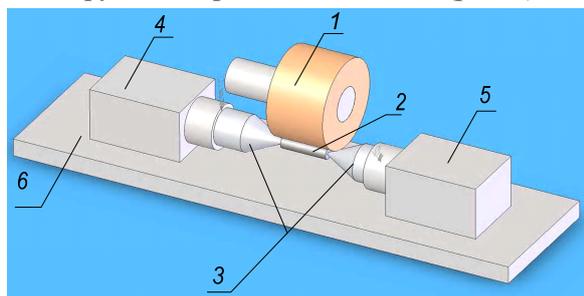
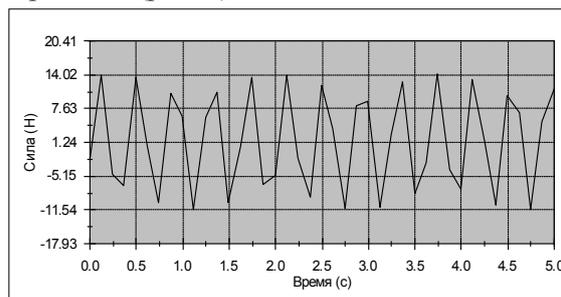


Рис. 2. Пространственная модель объекта исследования

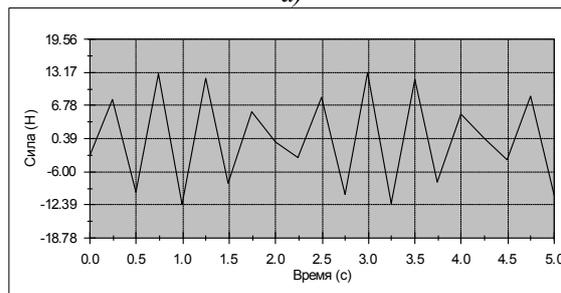
На втором этапе для расчета движение шлифовального круга и заготовки в Solid Works Motion применяется полное кинематическое моделирование с симуляцией контакта между выбранными компонентами с повтором исследований для различных режимов обработки.

Предварительно были выбраны кинематические связи для создания движения шлифовального круга (электродвигатель) и заготовки (поводковое устройство), и рассчитано движение объекта в сборке в зависимости от типа обработки: черновой и чистовой подачи, или выхаживания (табл. 1).

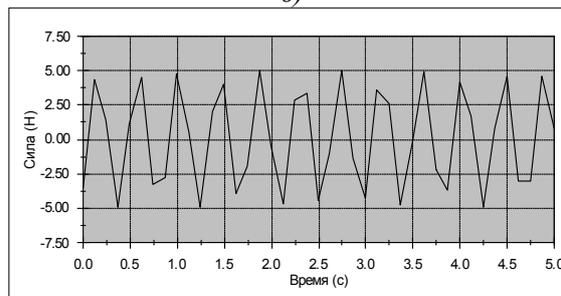
В результате моделирования получены эпюры сил контакта при различных режимах обработки (рис. 3).



а)



б)



в)

Рис. 3. Зависимость силы контакта между шлифовальным кругом и заготовкой: а) черновая подача; б) чистовая подача; в) выхаживание

Зависимости подтверждают собственные эксперименты и результаты исследований других авторов и доказывают, что интегральная сила шлифования состоит из отдельных силовых импульсов единичных режущих зёрен круга и имеет пульсирующий характер [5].

Таблица 1. Параметры технологической системы во время обработки

Шлифовальный круг	Тип: 15A50CT2K	Плотность: 3,85 – 3,95 г/см <sup>3</sup> ;		
	Материал: электрокорунд; Размеры: ПП 200×50×76,2	Микротвердость: 18,9 – 19,6 ГПа; Механическая прочность: 8,6 – 19,9 Н; Абразивная способность: 0,06 г/мин; Модуль упругости: 7,620 Н/см <sup>2</sup>		
Заготовка	Материал	Ст 40 X, 38X2НЮА		
	Размеры	Ø = 25 мм; l = 100 мм		
№	Параметр	черновая	чистовая	выхаживание
1	Скорость заготовки, м/мин	40	30	30
2	Скорость круга, м/с	60	40	40
3	Угловая скорость заготовки, рад/мин	933,2	668,8	668,8
4	Угловая скорость круга, рад/мин	80	54	1,4
5	Частота вращения шпинделя заготовки, об/мин	148,6	106,5	21,23
6	Частота вращения шпинделя круга, об/мин	764	510	13
7	Подача на глубину шлифования, мм/об	0,08	0,005	0
8	Сила резания: P <sub>y</sub> , Н	7,1	0,5	0
9	Интенсивность шлифования, мм <sup>3</sup> ×(с·Н)	3300		
10	Припуск, мм	0,4		0
11	Основное технологическое время, мин	3,4	1,8	

Задачи динамического анализа могут решаться посредством Solid Works Simulation в конфигурации Premium, если в системе преобладают деформации самой заготовки и интерес представляют не только усилия в соединениях, но и напряженно-деформированное состояние модели. «Сетка твердого тела» показывает действие сил и напряжений на заготовку с узлами станка и шлифовальный круг (рис. 4).

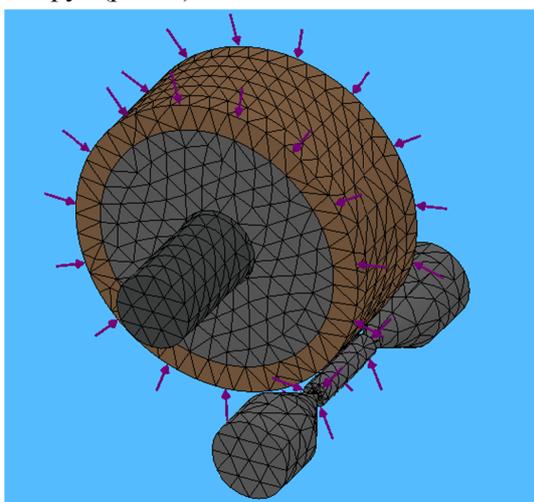
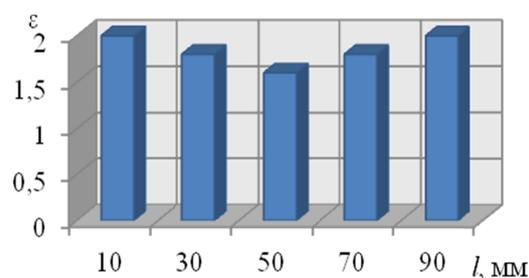


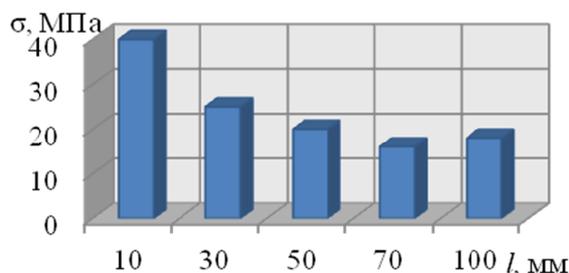
Рис. 4. Сетка твердого тела

Для анализа определяем эпюру напряжений по Мизесу (Н/м<sup>2</sup>). Далее строим эпюру

результатирующего перемещения URES (мм) и после решения задачи статического анализа получаем графики, по результатам которых строятся гистограммы, отражающие влияние деформаций и напряжений по длине заготовки (рис. 5).



а)



б)

Рис. 5. Влияние деформаций (а) и напряжений (б) по длине заготовки:

1 – заготовка Ø = 25 мм, 2 – заготовка Ø = 50 мм

### Заключение

Полученные результаты позволяют сделать вывод о неустойчивости процесса шлифования, так как даже при достаточной жесткости конструкции станка и при отсутствии дисбаланса круга, в процессе обработки возникают колебания, приводящие к пространственным поворотам элементов технологической системы. Основными рекомендациями по повышению виброустойчивости шлифования являются изменение скорости вращения заготовки непосредственно во время обработки, максимальное увеличение угловой скорости круга и уменьшение его дисбаланса.

Математическое моделирование и выявление динамических параметров технологической системы позволяет достаточно достоверно определять устойчивые циклы шлифования и повысить точность формы обрабатываемых поверхностей валов.

Построенная в программе SolidWorks модель может экспортироваться в программу ANSYS. Это позволит получить зависимости не только с учётом силовых, тепловых и упругих деформаций технологической системы, а также контролировать отклонение оси

**Статья поступила в редакцию 15 марта 2012 г.**

---

In article a mathematical model developed of processing the shafts a pump and a motor. The model defined the ways of controlling the technological system in the process grinding in order to obtain high-precision parts.

*Keywords:* the exactness making of billows, the process grinding, the dynamics of machine-tool, the mathematical design.

---

*Ломова Ольга Станиславовна* – кандидат технических наук, доцент Омского государственного технического университета

*Сорокина Ирина Александровна* – аспирант кафедры «Нефтехимические технологии и оборудование» Омского государственного технического университета

*Яковлева Екатерина Игоревна* – аспирант кафедры «Нефтехимические технологии и оборудование» Омского государственного технического университета

вала при обработке, с целью исключения конусообразности поверхности. Комплексное решение этой задачи представляет собой нерешенную до настоящего времени проблему.

### Литература

1. Точность производства в машиностроении и приборостроении / Под ред. А.Н. Гаврилова. - М: Машиностроение. - 1973. - 567 с.

2. Ломова О.С. Формообразование цилиндрических поверхностей в процессе финишной обработки // Омский научный вестник. – 2011. – Вып. №2 (100). – С. 44 – 46.

3. Ясев А.Г. Исследование точности процесса шлифования валов гидромашин / А.Г. Ясев, К.Г. Меженная // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Сборник научных трудов. - 2008. - №36. - С. 245-252.

4. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. М.: ДМК Пресс, 2010. 464 с.

5. Ардашев Д.В. Динамическая характеристика шлифовального круга / Д.В. Ардашев // Технология машиностроения. - 2010. - №5. - С. 18-20.