УДК 62-523.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ПРИ ОБРАБОТКЕ ВНЕШНИХ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Худяков К.В., Хилько П.Р., Крамер И.А.

*Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный
технический университет», Волжский, e-mail: kvk_2002@mail.ru*

Конструкция подшипников качения в настоящее время не претерпевает значительных изменений, но в технологию изготовления их деталей, таких как наружное и внутреннее кольца, проникают новые операции, существенно отличающиеся от традиционного шлифования. Рассматривается операция чистовой обработки внешнего кольца. Замена традиционного шлифования тонким точением имеет смысл, так как присутствуют экологические и технологические преимущества. В первую очередь не нужна смазывающе-охлаждающая жидкость. Но реализация тонкого точения также имеет смысл, только если используется оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ), поскольку контролировать сравнительно небольшую глубину резания легче автоматически. Важной частью числового программного управления являются управляющие программы (G-код), правильное написание которых позволяет не только повысить точность, качество и сократить время обработки, но и почти полностью исключить брак. При создании управляющих программ для станков с ЧПУ существует целый ряд проблем, среди которых: неправильное движение по обрабатываемому контуру, невозможность определить при прогоне программы на станке, с чем связана ошибка, и другие. Эти проблемы могут привести к поломке инструмента и повреждению механизмов. Для их решения производители систем ЧПУ создают образы реальных систем – симуляторы (эмуляторы). Целью работы был выбор наиболее удобного симулятора. Сравнение программ-симуляторов проводилось на уже написанной управляющей программе с использованием распространенных G-кодов по ГОСТ 20999-83, совместимых с большинством существующих систем ЧПУ. Главным критерием было выбрано время отработки управляющей программы внутри симулятора, чем меньше, тем предпочтительнее. Удобство пользовательского интерфейса не оценивалось, так как субъективно. Были выбраны следующие симуляторы: SinuTrain от компании Siemens, Mach3 от компании ArtSoft, HEIDENHAIN ITNC 530 от компании HEIDENHAIN и SSCNC Simulator от компании Nanjing Swan Software Technology Company. Методика исследования симуляторов и численные результаты приведены в статье.

Ключевые слова: станки с ЧПУ, управляющая программа, подшипник качения, симулятор, внешнее кольцо подшипника

THE STUDY OF OPTIMIZATION OPPORTUNITIES FOR CONTROL PROGRAMS FOR CNC MACHINES IN THE PROCESSING OF OUTER RINGS OF ROLLER BEARINGS

Khudyakov K.V., Khilko P.R., Kramer I.A.

*Volzhsy Polytechnical Institute (branch) of Federal State Budgetary Educational Institution
of Higher Education Volgograd State Technical University, Volzhsky, e-mail: kvk_2002@mail.ru*

The design of bearings does not change significantly today, but the technology of manufacturing outer and inner rings of bearings is changing by replacing the traditional grinding with fine turning, as there are environmental and technological advantages. First of all, no coolant is needed. The implementation of fine turning makes sense only if the equipment have the computer numerical control (CNC), since it is easier to control a small cutting depth. An important part of CNC is control program (G-code), the correct spelling of which allows not only to increase accuracy, quality and reduce processing time, but also to eliminate defects. When creating control programs for CNC machines, there are a number of problems among which are: incorrect movement along the machined contour, inability to determine what the error is related to when running the program on the machine and others. To solve them, manufacturers of CNC systems create the simulators of real systems. The goal of the work was to choose the most convenient simulator. Comparison of simulation programs was carried out on an already written control program using common G-codes, compatible with most existing CNC systems. The main criterion was chosen the time of working out the control program inside the simulator, the less, the more preferable. The following simulators were selected: SinuTrain from Siemens, Mach3 from ArtSoft, HEIDENHAIN ITNC 530 from HEIDENHAIN and SSCNC Simulator from Nanjing Swan Software Technology Company. The methodology of the study of simulators and numerical results are given in the article.

Keywords: CNC machines, control program, roller bearing, simulator, outer ring of bearing

В настоящее время системы числового программного управления (ЧПУ) практически вытесняют другие типы систем управления станками в машиностроении. На рынке существует огромное множество различных моделей устройств ЧПУ со все-

возможными функциональными характеристиками [1, с. 218]. Использование станков с ЧПУ позволяет существенно сократить время на обработку заготовок, повысить их качество, при правильном создании управляющей программы – практически полно-

стью исключить брак, а также снизить себестоимость продукции.

Одной из производственных задач, решаемых в рамках данного исследования, является составление управляющих программ для ЧПУ в производстве подшипников качения. Несмотря на стремительное развитие техники, ее усложнения и совершенствования, подшипники не сильно поменялись в своей конструкции и предназначении, однако увеличивается их номенклатура; также существует научно-производственная потребность в изготовлении экспериментальных подшипников, причем прогрессивными методами. Создание и верификация управляющих программ для ЧПУ однозначно относится к таковым. Так как современные машиностроительные производства все чаще используют для обработки станки с ЧПУ, то улучшение способов написания управляющих программ для ЧПУ и их верификация представляют собой вклад в оптимизацию самой технологии производства.

Управляющие программы являются неотъемлемой частью числового программно-управления, контролируя алгоритм движения станка. Несмотря на то, что почти все современные системы ЧПУ-системы обладают достаточной производительностью аппаратной части, добиться максимальной эффективности управляющей программы, а также безошибочно ее составить – очень нелегкая задача.

Исследование проводилось в Волжском политехническом институте (филиале) Волгоградского государственного технического университета. Целью было подобрать подходящую систему управления для станков с ЧПУ, парк которых планировалось обновлять. Система управления помимо реализации технологических удобств должна была быть достаточно понятной для освоения неподготовленными студентами, вопрос стоимости также учитывался. Прежде чем допускать студентов к реальным станкам с ЧПУ, следует обучить их работе с управляющей программой станка при помощи симуляторов – виртуальных ЧПУ. Для решения этой проблемы были подобраны и исследованы некоторые из них.

Материалы и методы исследования

Подход к созданию управляющих программ для ЧПУ плавно мигрирует от ручного метода, особенно актуального для простых технологичных деталей, к автоматизированному их составлению с помощью постпроцессоров, для которых необходимым источником являются трехмерные модели, созданные в CAD/CAM-системах.

Основное преимущество автоматизированного подхода заключается в освобождении разработчика от выполнения трудоемких математических расчетов, а также в возможности ускорить составление и верификацию управляющей программы [2, с. 76]. Также немаловажным является то, что молодое поколение инженеров склонно к построению трехмерных моделей и сборок, но им еще недоступно знание тонкостей технологии производства. Создание чертежа или 3D-модели деталей, которые впоследствии экспортируются в САМ-систему, где просчитываются режимы обработки, выбирается обрабатывающий инструмент, определяются траектория его перемещения и подлежащие обработке поверхности, представляется студентам машиностроительных направлений самым логичным и правильным [3].

Следует упомянуть, что от инженерной САМ-системы требуется наличие инструментария на проверку управляющих программ на разрезы и столкновения. Это позволяет значительно упростить внедрение управляющей программы на станке и, что так же важно, уменьшит шанс поломки оборудования, следовательно, его простоя [4, с. 70].

Существует целый ряд проблем, связанных с разработкой управляющих программ, как-то: неконгруэнтность G и M функций и замкнутых контуров; неправильное движение по обрабатываемому контуру, что приводит к поломке инструмента и повреждению механизмов дорогостоящего станка; невозможность определить при прогоне программы на станке, с чем связана ошибка [5, с. 54]. Здесь отметим, что создание управляющей программы непосредственно на стойке станка с ЧПУ в современных реалиях неэффективно и применяется крайне редко сразу по нескольким причинам: ввод на стойке ЧПУ не так эргономичен, как на клавиатуре персонального компьютера; программное обеспечение ограничено небольшим количеством базовых операций; временные задержки в работе оператора и оборудования, так как ввод вручную занимает время [6, с. 56].

Для решения представленных выше проблем ведущие фирмы – производители систем ЧПУ создают образы реальных систем, так называемые виртуальные ЧПУ, которые часто называют эмуляторами (симуляторами). Они устанавливаются на персональный компьютер и позволяют составлять управляющие программы, осуществлять их отработку в 2D и 3D формате с целью выявления ошибок и последующей коррекции управляющей программы. При внимательной проверке в симуляторах удается выявить от 90 до 100% ошибок [5, с. 55].

Важным критерием управляющих программ, помимо отсутствия в ней ошибок, является ее качество. Для изготовления качественной детали за минимальное время и обеспечения оптимальных условий обработки, управляющая программа, сгенерированная в САМ-системе, должна отвечать следующим требованиям:

- 1) формат управляющей программы должен соответствовать конкретному оборудованию;
- 2) управляющая программа должна быть целостной, содержать всю информацию, необходимую для обработки детали;
- 3) управляющая программа не должна содержать лишних команд и команд, которые не поддерживает данная система ЧПУ;
- 4) управляющая программа должна соответствовать технологическому процессу обработки детали;
- 5) управляющая программа должна исключать возможности зарезов и недоработок детали;
- 6) режимы резания должны обеспечивать ресурс режущего инструмента, заданную точность, шероховатость;
- 7) управляющая программа должна содержать минимальную величину рабочих и холостых перемещений;
- 8) внедряться управляющая программа должна с минимумом доработки.

Добавим, что управляющая программа является частью технологического процесса и разрабатывается на определенную технологическую операцию. Следовательно, разработка управляющей программы основывается на технологическом процессе изготовления детали и полностью ему соответствует [6, с. 66].

Результаты исследования и их обсуждение

Следует упомянуть, что в качестве операции обработки внешних колец подшипников закладывается тонкое точение, а не общепринятое шлифование. Предположение к переходу на тонкое точение достаточное количество, и некоторые из них обозначим ниже.

Во-первых, шлифовальные операции проводятся с использованием смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), что относит их к категории экологически вредных производств. Во-вторых, с целью повышения производительности и снижения себестоимости продукции предприятия используют технологию «сухой» и твердой лезвийной обработки металлов, частным случаем которой является твердое точение [7, с. 70]. В-третьих, замена шлифования тонким точением выгоднее, так как тонкое точение

на 30–50% экономичнее шлифования: объем снимаемого материала снижается в 2–3 раза, стоимость токарного станка повышенной точности ниже стоимости аналогичного шлифовального станка в 3–5 раз, а затраты на инструмент не возрастают [8, с. 17].

Так как целью этого исследования поставлено сокращение трудозатрат при создании управляющих программ для ЧПУ и, в применении к конкретному производственному процессу, повышение производительности обработки внешних колец подшипников, одним из главных критериев будет время, затраченное на симуляцию процесса обработки.

При условии, что симуляция будет производиться на персональном компьютере одинаковой конфигурации, мы получаем однофакторный эксперимент, где для одного и того же текста программы (совокупности G-кодов и M-кодов) измеряем время работы симуляторов. Собственно время, затраченное на визуализацию (выполнение программой поставленной задачи) измеряем по загрузке процессора. Во время работы симулятора процессор нагружается практически до 100%, когда же нагрузка процессора падает до значений близких к нулю, можем считать, что программа выполнила расчет.

Учитываем также и тот факт, что обработка наружного кольца подшипника по известной геометрии дает нам немного вариантов для текста программы, но модификация этой геометрии при проектировании экспериментальных подшипников может дать неожиданные результаты (слишком долго работающий симулятор), поэтому следует заранее, на сравнительно простых примерах, уже реализованных в производстве, понять, какой из них лучший для поставленных целей.

Определившись с текстом управляющей программы, далее необходимо выбрать симулятор, в котором будет производиться исследование. Основными и более известными видами симуляторов являются SinuTrain от компании Siemens, Mach3 от компании ArtSoft, HEIDENHAIN ITNC 530 от компании HEIDENHAIN и SSCNC Simulator от компании Nanjing Swan Software Technology Company. Все симуляторы работали под управлением операционной системы Windows.

И, наконец, получаем следующий алгоритм действий: 1) выбираем подшипник для обработки его внешнего кольца; 2) на основе геометрии внешнего кольца формируем текст управляющей программы; 3) загружаем управляющую программу в выбранные симуляторы; 4) проводим эксперимент, измеряя количество времени, затраченного на симуляцию обработки.

Исследование проводилось на персональном компьютере со следующими характеристиками:

Процессор: Intel(R) Pentium (R) CPU N3540, тактовая частота 2,16 ГГц;

Материнская плата: Packard Bell EG70_BM;

Оперативная память: 4 ГБ DDR3;

Видеокарта: Nvidia GeForce 820M (2 ГБ DDR3), разрешение дисплея 1600x900, частота обновления 69 Гц;

Жесткий диск: Hitachi HTS547575A9384

Операционная система: Windows 8.1 для одного языка, 64-разрядная.

Для исследования применялся текст программы тонкого точения наружного кольца подшипника 6-256008E1, следующего содержания:

%

№ 10G17G53G95S800T01M104M141

№ 20G0X-36.68Z46M119

№ 30G1X-36.68Z33.5 F0.1

№ 40G3X-31.5Z26.895 R6.5

№ 50G1X-31Z26.895

№ 60G0X0Z80M119

№ 70S1000M104M141

№ 80G0X-36.3Z46M119

№ 90G1X-36.3Z40 F0.05

№ 100G1X-36.235Z40

№ 110G1X-36.23Z33.495

№ 120G3X-31.5Z26.945 R6.55

№ 130G1X-31Z26.945

№ 140G0X0Z80M119

№ 150M105

%

В выбранных симуляторах проводим тестирование: вводим приведенную выше управляющую программу и замеряем время визуализации обработанной детали (внешнего кольца подшипника). Результаты измерений указаны в таблице.

Трудоемкость эксперимента была подобрана такой, чтобы данные были достаточно репрезентативны, чтобы подвергнуть их минимальной статистической обработке (30 опытов на каждый симулятор) и в то же время затраченный ресурс времени соответствовал важности задачи (оценочная, численно подкрепленная рекомендация для неспециалистов в технологии машиностроения, занимающихся закупками).

Выводы

Полученные результаты позволяют заключить, что наименьшее время на визуализацию обработанной детали показывает программа Mach3 от компании ArtSoft, продукты SinuTrain от Siemens. CNC Simulator и HEIDENHAIN 530 затратили на выполнение той же задачи большее количество времени. Оказавшаяся лучше других представленных управляющих программ Mach3 была рекомендована нами руководством Волжского политехнического института, затем приобретшего станок Cutter H, управляемый этой системой.

Испытания симуляторов ЧПУ на одной управляющей программе

№ испытания	Время на визуализацию, с			
	Mach3	SinuTrain	CNC Simulator	HEIDENHAIN 530
1	10,39	11,49	12,95	13,92
2	10,46	12,06	12,78	13,89
3	10,51	11,84	12,51	14,11
4	10,68	11,73	12,66	14,07
5	10,29	12,01	12,91	14,00
6	10,45	12,19	12,48	13,97
7	10,11	11,54	12,54	14,20
8	10,77	11,99	12,69	14,18
9	10,61	11,711	12,83	14,06
10	10,90	11,66	12,79	13,99
11	10,32	11,77	12,98	14,22
12	10,19	11,72	12,91	14,09
13	10,55	11,90	12,74	14,07
14	10,39	11,84	12,85	14,02
15	10,60	12,00	12,82	13,96
...	...	...	...	...
30	10,42	11,97	12,93	14,10
Среднее значение:	10,52	11,82	12,51	14,04
Среднее квадратическое:	0,1907	0,1888	0,1355	0,0949
Медиана:	10,51	11,91	12,82	14,03
Мода:	10,33	11,84	12,93	14,07

В настоящее время продолжают исследования с целью выяснить, какая конфигурация персонального компьютера под применение симулятора Mach 3 (другие также не забыты) окажется наиболее подходящей с целью оценить производительность именно управляющей программы. Слишком быстрое срабатывание не позволит оценить время облета подручными средствами, доступными в учебном процессе. Планируется определить минимальную конфигурацию, при которой Mach 3 будет функционировать с сохранением приемлемой для пользователей производительности.

Список литературы

1. Литвиненко М.П. Анализ систем ЧПУ и разработка алгоритма выбора модели ЧПУ для станка // Россия Молодая – 2015: материалы VII научно-практической конференции молодых ученых (Кемерово, 2015 г.). Кемерово: Изд. Кузбасского государственного технического университета, 2015. С. 218–220.
2. Савина Е.С., Гусев В.Г. Сокращение времени на разработку управляющих программ для станков с ЧПУ на основе САМ-системы ESPRIT // Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении: материалы международной научно-практической конферен-

ции (Курск, 2016 г.). Курск: Университетская книга, 2016. С. 76–79.

3. Костин П.Н. Разработка в САМ-системе PowerMILL управляющей программы для изготовления фасонного резца на фрезерном станке с числовым программным управлением // Молодежный вестник ИрГТУ. 2017. № 3 (27). [Электронный ресурс]. URL: <http://mvestnik.istu.irk.ru/journals/2017/03/start> (дата обращения: 11.06.2020).

4. Северцов А.А. Моделирование и оптимизация управляющих программ для токарных станков с ЧПУ в современных САМ-системах // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева. 2017. № 3 (42). С. 69–74.

5. Лисун А.Е. Применение виртуальных систем ЧПУ для написания и тестирования управляющих программ для станков с ЧПУ // Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации: материалы международной научно-практической конференции (Минск, 21 сентября 2017 г.). Минск: Мир науки, 2017. С. 54–59.

6. Исламов М.Р., Белкина Д.И. Анализ и оценка качества управляющих программ для станков с ЧПУ // World Science: Problems and Innovations: материалы XXVIII международной научно-практической конференции (Пенза, 30 мая 2017 г.). Пенза: Наука и просвещение, 2017. С. 65–69.

7. Евстифеев В.В., Коротков М.С. Обработка материалов резанием: методы, станки, инструменты: учебное пособие. Омск: СибАДИ, 2012. 76 с.

8. Вереина Л.И. Направления развития современного станкостроения // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. 2018. № 1. С. 10–18.