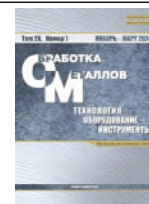




Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)

Сайт журнала: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov

Адаптация системы ЧПУ станка к условиям комбинированной обработки

Михаил Борисов^{1, а}, Дмитрий Лобанов^{1, b}, Александр Зворыгин^{2, с}, Вадим Скиба^{3, d}*¹ Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, Московский пр-т, 15, г. Чебоксары, 428015, Россия² Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, пр. Мира, 37, г. Саров, 607188, Россия³ Новосибирский государственный технический университет, пр. К. Маркса, 20, г. Новосибирск, 630073, Россия^а  <https://orcid.org/0000-0001-9084-1820>,  borisovmgou@mail.ru; ^б  <https://orcid.org/0000-0002-4273-5107>,  lobanovdv@list.ru;^с  <https://orcid.org/0000-0003-3610-4648>,  zvory95@yandex.ru; ^д  <https://orcid.org/0000-0002-8242-2295>,  skeeba_vadim@mail.ru

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 621.9.047

История статьи:

Поступила: 11 декабря 2023

Рецензирование: 25 декабря 2023

Принята к печати: 08 января 2024

Доступно онлайн: 15 марта 2024

Ключевые слова:

Станок с ЧПУ

Электрохимическое шлифование

Программируемое устройство

Автоматическое управление

Комбинированная обработка

Управляющая программа

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00945, <https://rscf.ru/project/23-29-00945/>

Благодарности

Исследования выполнены на оборудовании ЦКП «Структура, механические и физико-механические свойства материалов» (согласие с Минобрнауки № 13.ЦКП.21.0034).

АННОТАЦИЯ

Введение. Повышение эффективности технологий обработки изделий из современных высокопрочных труднообрабатываемых материалов, обладающих повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами, заключается не только в совершенствовании непосредственно технологий, инструмента для его реализации, но и в модернизации технологического оборудования с учетом новых достижений в области машиностроения. Современное оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ) сегодня достаточно развито с точки зрения управления основными движениями резания. Адаптивные системы контроля и управления, как правило, дополнительно устанавливаемые на технологическое оборудование, позволяют еще больше повысить качественные параметры обработки. С разработкой новых гибридных и комбинированных технологий, сочетающих в себе несколько видов воздействия на обрабатываемое изделие, остро встал вопрос синхронизации автоматического управления движениями частей технологического оборудования с контролем и управлением сопутствующими процессами комбинированных технологий. Одним из примеров таких технологий является электрохимическое алмазное шлифование с периодической правкой рабочей поверхности алмазного круга током обратной полярности. Полярность тока и длительностью следования его импульсов управляют специальные программируемые устройства. К ним подключаются блоки коммутации токов. Они служат для подачи в электрическую цепь поочередно токов прямой и обратной полярности и выполнены на основе ключевых элементов. Установка таких программируемых устройств на станки с ЧПУ приводит к их оснащению дополнительной автономной автоматической системой управления. При этом сложно согласовать работу системы ЧПУ станка, управляющей перемещениями его рабочих органов, и программируемого устройства, применяемого для управления полярностью и длительностью импульсов тока при комбинированной обработке. **Целью работы** является синхронизация системы ЧПУ станка с системой управления процессом периодической смены полярности тока. Исследование проводилось на экспериментальном стенде. **Методика** исследований предусматривала проведение эксперимента, заключающегося в синхронизации работы системы ЧПУ станка с работой системы управления процессом периодической смены полярности тока. Для оценки результатов проводилось сравнение времени перемещения алмазного круга в результате рабочего хода с длительностью импульсов тока разной полярности, заданных в управляющей программе разработанного программного обеспечения. **Результаты и обсуждение.** В результате проведенных исследований установлено, что разработанный программно-аппаратный комплекс позволяет синхронизировать в системе ЧПУ станка управление движениями рабочих органов с автоматическим управлением периодической сменой полярности тока при электрохимическом алмазном шлифовании, что позволяет значительно расширить технические возможности станков с ЧПУ.

Для цитирования: Адаптация системы ЧПУ станка к условиям комбинированной обработки / М.А. Борисов, Д.В. Лобанов, А.С. Зворыгин, В.Ю. Скиба // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2024. – Т. 26, № 1. – С. 55–65. – DOI: 10.17212/1994-6309-2024-26.1-55-65.

Введение

Повышение эффективности технологий обработки изделий из современных высокопрочных труднообрабатываемых материалов, обладающих повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами, заключается

*Адрес для переписки

Лобанов Дмитрий Владимирович, д.т.н., доцент

Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова,

Московский пр-т, 15,

428015, г. Чебоксары, Россия

Тел.: +7 908 303-47-45, e-mail: lobanovdv@list.ru

не только в совершенствовании непосредственно технологий, инструмента для его реализации [1–7], но и в модернизации технологического оборудования с учетом новых достижений в области машиностроения. Резерв повышения эффективности в этом случае видится в автоматизации процесса управления технологией, что значительно сокращает основное и вспомогательное время, повышает качество и производительность обработки. Современное оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ) сегодня достаточно развито с точки зрения управления основными движениями резания [8–10]. Адаптивные системы контроля и управления, как правило, дополнительно устанавливаемые на технологическое оборудование, позволяют еще больше повысить качественные параметры обработки. С разработкой новых гибридных и комбинированных технологий [11–20], сочетающих в себе несколько видов воздействия на обрабатываемое изделие (механическое, электрическое, тепловое и др.), остро встал вопрос синхронизации автоматического управления движениями частей технологического оборудования с контролем и управлением сопутствующими процессами комбинированных технологий.

Одним из примеров таких технологий является электрохимическое алмазное шлифование с периодической правкой рабочей поверхности алмазного круга током обратной полярности [21–24].

Для реализации электрохимического воздействия на обрабатываемый материал создается электрическая цепь, в которую входят источник постоянного тока, шлифуемый материал и алмазный токопроводящий круг. В зону обработки подается электролит. При обработке к заготовке подключают положительный полюс источника тока. Происходит разупрочнение обрабатываемой поверхности материала, что улучшает условия ее механической обработки алмазным кругом. Однако в процессе работы алмазоносный слой теряет свою работоспособность из-за явления «засаливания». Необходимо проводить восстановление режущих свойств инструмента, одним из вариантов которого является смена полярности источника тока, что позволяет провести электрохимическую правку алмазоносного слоя. Таким образом, для поддержания круга в работоспособном состоянии в электрическую цепь подают периодические импульсы тока.

Полярностью тока и длительностью следования его импульсов управляют специальные программируемые устройства [25]. К ним подключаются блоки коммутации токов. Они служат для подачи в электрическую цепь поочередно токов прямой и обратной полярности и выполнены на основе ключевых элементов. Установка таких программируемых устройств на станки с ЧПУ приводит к их оснащению дополнительной автономной автоматической системой управления. При этом сложно согласовать работу системы ЧПУ станка, управляющей перемещениями его рабочих органов, и программируемого устройства, применяемого для управления полярностью и длительностью импульсов тока при комбинированной обработке.

В связи с этим **целью работы** является синхронизация системы ЧПУ станка с системой управления процессом периодической смены полярности тока.

Методика исследований

Исследование процесса автоматического управления полярностью тока при электрохимическом шлифовании и периодической правкой рабочей поверхности алмазного круга с использованием системы ЧПУ станка проводилось на созданном нами экспериментальном стенде. В основу стенда положен трехкоординатный станок с ЧПУ, представленный на рис. 1.

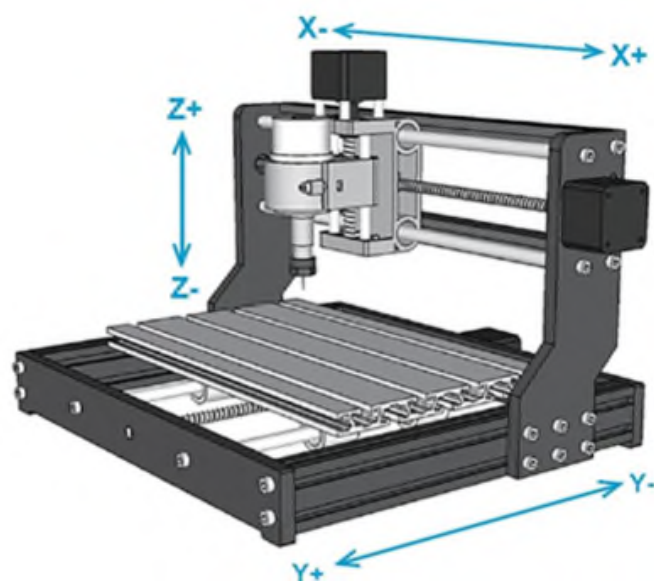


Рис. 1. Трехкоординатный станок с ЧПУ

Fig. 1. Three-axis CNC machine

Станок оснащен тремя шаговыми двигателями, управление которыми осуществляется с использованием платы управления Arduino и G-кодов. Для разработки управляющих программ используют программное обеспечение, устанавливаемое на персональный компьютер.

На рис. 2 показана схема управления станком с ЧПУ, базирующаяся на платформе Arduino.

Для реализации на проектируемом стенде условий комбинированной обработки станок до-

полнительно оснастили электрической цепью постоянного тока, включающей в себя источник тока, блок коммутации токов, шлифуемый материал и абразивный инструмент. Шпиндель развернули в горизонтальное положение и оснастили оправкой для установки абразивного инструмента. Части станка, входящие в электрическую цепь, и приспособление для установки заготовки были изолированы за счет диэлектрических вставок.

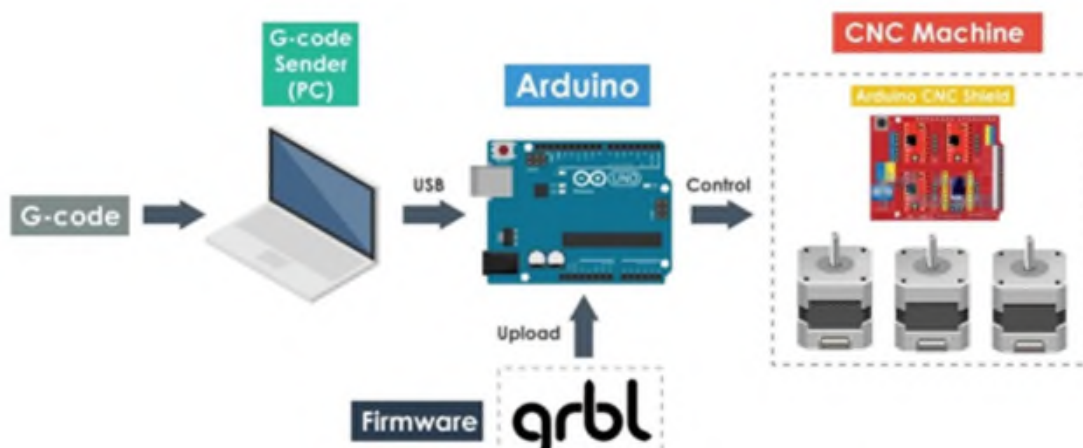


Рис. 2. Схема управления станком с ЧПУ на Arduino

Fig. 2. CNC machine control circuit using Arduino

Изображение экспериментального стенда с элементами модернизации представлено на рис. 3.

Для управления электрохимическими процессами во время исследований стенд дополнительно оснащен разработанной нами платой управления полярностью тока и блоком реле, которые были сопряжены с существующей платой управления шаговыми двигателями станка. Собранное таким образом устройство установили в специально изготовленный с использованием аддитивных технологий корпус интегрированного устройства управления, показанного на рис. 4.

С торца интегрированного устройства расположены контактные группы «IN» и «OUT». Они предназначены для подачи постоянного тока в интегрированное устройство управления и для передачи преобразованного в виде импульсов тока требуемой полярности к шлифуемому материалу и абразивному кругу.

Исследование начиналось с калибровки шаговых двигателей. Для этого использовались кон-

цевые датчики. С их помощью происходит установка начального положения суппортов станка в системе станочных координат, выполняемая с целью корректной отработки управляющей программы. Управляющая программа, записанная в G- и M-кодах, транслируется посредством USB-соединения из памяти персонального компьютера в плату управления Arduino. Эта программа служит для управления приводами станка, а также для управления полярностью тока в электрической цепи, образованной источником тока, блоком коммутации токов, абразивным токопроводящим инструментом и шлифуемым материалом.

По условию одной из задач исследования работа приводов станка и процесс смены полярности тока в электрической цепи должны быть синхронизированы во времени. Полярность тока может меняться либо поочередно в процессе обработки через заданные промежутки времени (для электрохимического шлифования и правки инструмента), либо в момент перехода обработки

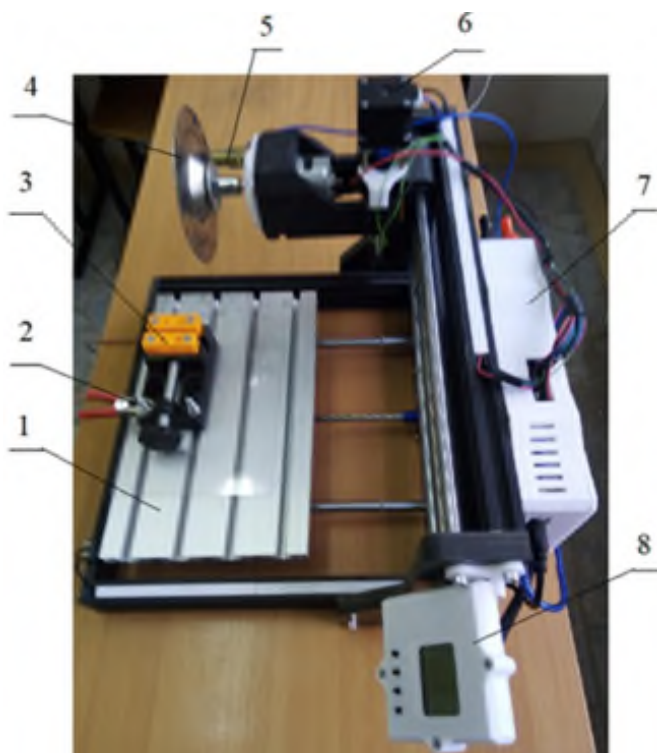


Рис. 3. Экспериментальный стенд:

1 – стол станка; 2 – клемма соединительная; 3 – приспособление для установки заготовки; 4 – алмазный круг; 5 – щеточное устройство; 6 – шаговый двигатель; 7 – интегрированное устройство управления; 8 – блок индикации

Fig. 3. Experimental stand:

1 – machine table; 2 – connecting terminal; 3 – device for installing the workpiece; 4 – diamond wheel; 5 – brush device; 6 – stepper motor; 7 – integrated control device; 8 – display unit



Рис. 4. Интегрированное устройство управления

Fig. 4. Integrated control device

с одного материала на другой (паяные соединения, «сэндвич»-материалы).

Методика исследования предусматривала проведение эксперимента, заключающегося в синхронизации работы системы ЧПУ станка с работой системы управления процессом периодической смены полярности тока. Для оценки результатов проводилось сравнение времени перемещения алмазного круга в результате рабочего хода с длительностью импульсов тока разной полярности, заданных в управляющей программе разработанного программного обеспечения.

Результаты и их обсуждение

В ходе проведения исследования была разработана схема совместного управления шаговыми двигателями станка и блоком реле, служащим для изменения полярности тока, представленная на рис. 5.

Для синхронизации управления шаговыми двигателями рабочих органов станка и работой блока реле нами было разработано специальное программное обеспечение, позволяющее автоматически управлять совместной работой шаговых двигателей и блока реле.

Интерфейс специального программного обеспечения показан на рис. 6.

Интерфейс программного обеспечения (рис. 6) имеет зоны для визуализации значений координат перемещения по осям, ручного управления перемещениями по координатам, окно отображения создаваемой управляющей программы и ввода требующихся значений, а также виртуальную панель для выбора кодов программы. Кроме того, интерфейс также позволяет определить используемый COM-порт компьютера; работать с файлами управляющих программ, сохранять и открывать их; запускать, останавливать и завершать отработку программ; производить контроль полярности тока и напряжения в сети; получать информацию об ошибках в программе и удалять файлы.

Кроме базовых кодов, таких как G00 – быстрое позиционирование, G01 – линейная интерполяция, M3 – включение вращения шпинделя и M5 – выключение вращения шпинделя, были разработаны и использованы специальные коды. К ним относятся M7 – включение/выключение команд смены полярности тока, M8 – включение

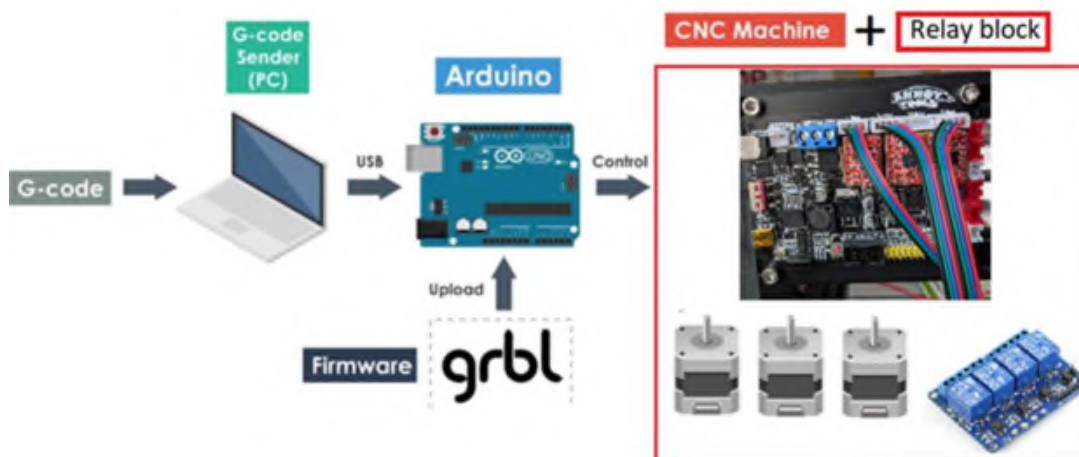


Рис. 5. Схема совместного управления шаговыми двигателями станка и блоком реле

Fig. 5. Joint control circuit of machine stepper motors and relay unit



Рис. 6. Интерфейс программного обеспечения

Fig. 6. Software Interface

прямой полярности тока, M10 – включение обратной полярности тока и M11 – переход на диалоговое управление полярностью тока. Время длительности импульса тока заданной полярности устанавливается в диалоговом режиме на блоке индикации с использованием панели отображения данных (рис. 7).

На рис. 8 представлена расчетная схема для апробации управляющей программы, разрабо-

танной для совместного функционирования системы ЧПУ станка и системы управления процессом смены полярности тока, при переходе с обработки материала 1 на обработку материала 2, в частности, для перемещения абразивного круга по оси Z.

На рис. 9 представлены показания дисплея блока индикации для работы в диалоговом режиме, полученные в ходе проведения эксперимента.



Рис. 7. Блок индикации данных для работы в диалоговом режиме

Fig. 7. Data display block for interactive operation



а



б

Рис. 9. Показания дисплея блока индикации: а – показания дисплея для тока прямой полярности; б – показания дисплея для тока обратной полярности

Fig. 9. Display unit display readout: а – display readout for current of direct polarity; б – display readout for current of reverse polarity

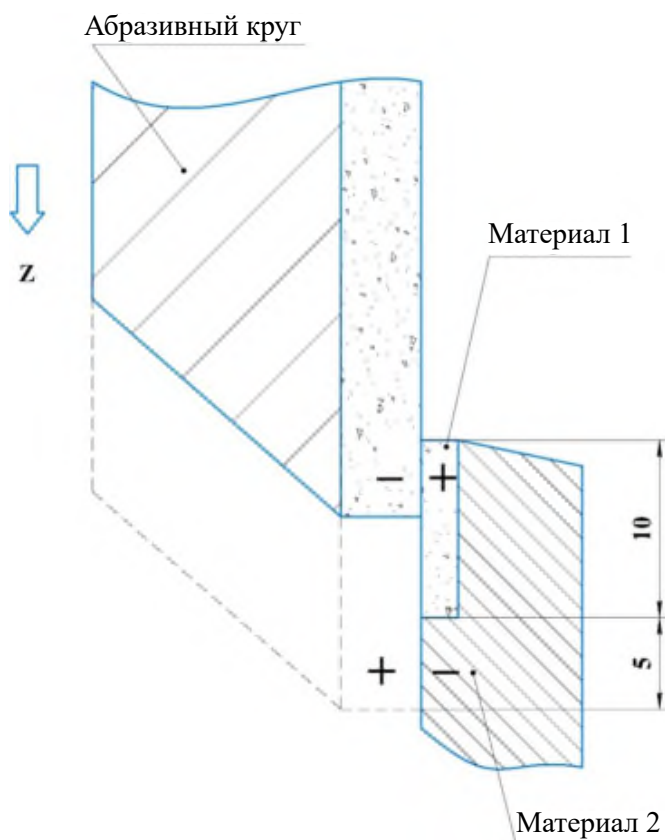


Рис. 8. Расчетная схема для апробации управляющей программы

Fig. 8. Design circuit for testing the control program

В темном окошке индицируется текущее время, зафиксирован момент начала отчета. В светлом окошке индицируется время продолжительности импульса тока обратной полярности (рис. 9, а) или время продолжительности импульса тока прямой полярности (рис. 9, б). Из показаний видно, что заданная продолжительность импульса тока прямой полярности соответствует 10 с, продолжительность импульса тока обратной полярности равна 5 с. При заданных в программе перемещениях абразивного круга по оси Z равными 10 и 5 мм со скоростью $1 \text{ мм} \cdot \text{с}^{-1}$ время перемещения также соответствует 10 и 5 с. Таким образом, система управления ЧПУ станка и система смены полярности тока были синхронизированы по времени.



Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что разработанный программно-аппаратный комплекс позволяет синхронизировать в системе ЧПУ станка управление движениями рабочих органов с автоматическим управлением периодической сменой полярности тока при электрохимическом алмазном шлифовании, что позволяет значительно расширить технические возможности станков с ЧПУ.

Область дальнейших исследований видится в отработке технологии электрохимического алмазного шлифования с периодической сменой полярности тока на станках с ЧПУ при использовании разработанной программно-аппаратной части системы автоматического управления, а также в ее совершенствовании под другие виды комбинированной обработки.

Список литературы

1. Козлов А.М. Определение параметров рабочей поверхности абразивного инструмента на основе моделирования // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2005. – № 1. – С. 51–55.
2. Козлов А.М., Болгов Д.В. Моделирование совмещенной абразивной обработки // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2010. – № 2 (280). – С. 50–53.
3. High-speed grinding of ZhS6-K high-temperature nickel alloy / A.Y. Popov, D.S. Rechenko, K.V. Averkov, V.A. Sergeev // Russian Engineering Research. – 2012. – Vol. 32 (5–6). – P. 511–512. – DOI: 10.3103/S1068798X12050176.
4. Ultra-high-speed sharpening and hardening the coating of carbide metal-cutting tools for finishing aircraft parts made of titanium alloys / D.S. Rechenko, A.Y. Popov, Y.V. Titov, D.G. Balova, B.P. Gritsenko // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1260 (6). – P. 062020. – DOI: 10.1088/1742-6596/1260/6/062020.
5. Popov V., Rychkov D., Arkhipov P. Defects in diamonds as the basic adhesion grinding // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 129. – P. 01003. – DOI: 10.1051/mateconf/201712901003.
6. Soler Ya.I., Kazimirov D.Yu., Prokop'eva A.V. Optimizing the grinding of high-speed steel by wheels of cubic boron nitride // Russian Engineering Research. – 2007. – Vol. 27 (12). – P. 916–919.
7. Roshchupkin S., Kharchenko A. Method of building dynamic relations, estimating product and grinding circle shape deviations // MATEC Web of Conferen-

ces. – 2018. – Vol. 224. – P. 01001. – DOI: 10.1051/mateconf/201822401001.

8. Bratan S., Roshchupkin S., Chasovitina A. The correlation of movements in the technological system during grinding precise holes // Materials Science Forum. – 2021. – Vol. 1037. – P. 384–389. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1037.384.

9. Developing a machining strategy for hard-alloy polyhedral inserts on CNC grinding and sharpening machines / E.V. Vasil'ev, A.Y. Popov, A.A. Lyashkov, P.V. Nazarov // Russian Engineering Research. – 2018. – Vol. 38 (8). – P. 642–644. – DOI: 10.3103/S1068798X18080166.

10. Vasil'ev E.V., Popov A.Y. Renovation of hard-alloy end mills on numerically controlled grinding machines // Russian Engineering Research. – 2014. – Vol. 34. – P. 466–468. – DOI: 10.3103/S1068798X14070144.

11. Исследование процесса автоматического управления сменой полярности тока в условиях гибридной технологии электрохимической обработки коррозионно-стойких сталей / М.А. Борисов, Д.В. Лобанов, А.С. Янюшкин, В.Ю. Скиба // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2020. – Т. 22, № 1. – С. 6–15. – DOI: 10.17212/1994-6309-2020-22.1-6-15.

12. Bratan S., Bogutsky B., Roshchupkin S. Development of mathematical model of material removal calculation for combined grinding process // Proceedings of the 4th International conference on industrial engineering ICIE 2018. – Cham: Springer, 2019. – P. 1759–1769. – (Lecture notes in mechanical engineering). – DOI: 10.1007/978-3-319-95630-5_189.

13. Nosenko S.V., Nosenko V.A., Kremenetskii L.L. The condition of machined surface of titanium alloy in dry grinding // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 206. – P. 115–120. – DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.446.

14. Probabilities of abrasive tool grain wearing during grinding / V.A. Nosenko, E.V. Fedotov, S.V. Nosenko, M.V. Danilenko // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2009. – Vol. 38 (3). – P. 270–276. – DOI: 10.3103/S1052618809030108.

15. Nosenko S.V., Nosenko V.A., Koryazhkin A.A. The effect of the operating speed and wheel characteristics on the surface quality at creep-feed grinding titanium alloys // Solid State Phenomena. – 2018. – Vol. 284. – P. 369–374. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.284.369.

16. Influence of the duration of current pulses on the roughness in the combined processing of corrosion steel 12H18N10T / D. Lobanov, M. Borisov, A. Yanyushkin, V. Skeebe // Key Engineering Materials. – 2022. – Vol. 910. – P. 397–402. – DOI: 10.4028/p-gu270a.

17. Ways to implement hybrid finishing technology with a hand-held rotary tool / D. Lobanov, M. Borisov, A. Yanyushkin, V. Skeebe // IOP Conference Series:

Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 709 (4). – P. 044075. – DOI: 10.1088/1757-899X/709/4/044075.

18. Research of influence electric conditions combined electrodiamond processing by on specific consumption of wheel / D.V. Lobanov, P.V. Arkhipov, A.S. Yanyushkin, V.Yu. Skeebe // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 142 (1). – P. 012081. – DOI: 10.1088/1757-899X/142/1/012081.

19. Рационализация режимов поверхностной закалки ВЭН ТВЧ рабочих поверхностей пуансона в условиях гибридной обработки / В.Ю. Скиба, Н.В. Вахрушев, К.А. Титова, А.Д. Черников // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2023. – Т. 25, № 3. – С. 63–86. – DOI: 10.17212/1994-6309-2023-25.3-63-86.

20. Analysis of magnetic forces in the working clearance with magnetic-abrasive treatment of inductors on standing magnets / A.M. Ikonnikov, S.L. Leonov, D.E. Solomin, A.A. Kulakov // Materials Research Proceedings. – 2022. – Vol. 21. – P. 176–182. – DOI: 10.21741/9781644901755-31.

21. Янюшкин А.С., Попов В.Ю. Шероховатость поверхности после шлифования по методу двойного

травления // Объединенный научный журнал. – 2002. – № 21. – С. 65–67.

22. Янюшкин А.С., Архипов П.В., Торопов В.А. Механизм процесса засаливания шлифовальных кругов // Вестник машиностроения. – 2009. – № 3. – С. 62–69.

23. Popov V.Yu., Arkhipov P.V., Rychkov D.A. Adhesive wear mechanism under combined electric diamond grinding // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 129. – P. 01002. – DOI: 10.1051/mateconf/201712901002.

24. Шероховатость поверхности, обработанной электроалмазными методами / П.В. Архипов, А.С. Янюшкин, Е.Д. Лосев, Н.П. Петров, Г. Алтангэрэл // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. – 2014. – Т. 1. – С. 158–163.

25. Борисов М.А., Лобанов Д.В. Программируемое устройство для управления электрическими параметрами комбинированной обработки высокопрочных материалов // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2021. – Т. 8, № 1–2. – С. 14–21.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2024 Авторы. Издательство Новосибирского государственного технического университета. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



Obrabotka metallov -

Metal Working and Material Science

Journal homepage: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Adaptation of the CNC system of the machine to the conditions of combined processing

Mikhail Borisov^{1, a}, Dmitry Lobanov^{1, b, *}, Alexander Zvorygin^{2, c}, Vadim Skeebe^{3, d}

¹ I.N. Ulianov Chuvash State University, 15 Moskovsky Prospekt, Cheboksary, 428015, Russian Federation

² Russian Federal Nuclear Center - All-Russian Research Institute of Experimental Physics, 37 Mira Ave., Sarov, 607188, Russian Federation

³ Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

^a  <https://orcid.org/0000-0001-9084-1820>,  borisovmgou@mail.ru; ^b  <https://orcid.org/0000-0002-4273-5107>,  lobanovdv@list.ru;

^c  <https://orcid.org/0000-0003-3610-4648>,  zvorf95@yandex.ru; ^d  <https://orcid.org/0000-0002-8242-2295>,  skeebe_vadim@mail.ru

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 11 December 2023

Revised: 25 December 2023

Accepted: 08 January 2024

Available online: 15 March 2024

Keywords:

CNC machine

Electrochemical grinding

Programmable device

Automatic control

Combined processing

Control program

Funding

This research was funded by Russian Science Foundation project N 23-29-00945, <https://rscf.ru/en/project/23-29-00945/>

Acknowledgements

Researches were conducted at core facility of NSTU "Structure, mechanical and physical properties of materials".

ABSTRACT

Introduction. Increasing the efficiency of processing technologies for products made from modern high-strength, difficult-to-process materials with increased physical, mechanical and operational properties consists not only in improving the technology itself, the tools for its implementation, but also in modernizing technological equipment taking into account new achievements in the field of mechanical engineering. Modern computer numerical control (CNC) equipment is now quite advanced in terms of controlling basic cutting movements. Adaptive monitoring and control systems, as a rule, additionally installed on processing equipment, make it possible to further improve the quality of processing parameters. With the development of new hybrid and combined technologies that combine several types of influence on the product being processed, the issue of synchronizing the automatic control of the movements of parts of technological equipment with the control and management of accompanying processes of combined technologies has become acute. One example of such technologies is electrochemical diamond grinding with periodic dressing of the working surface of a diamond wheel using reverse polarity current. The polarity of the current and the duration of its pulses are controlled by special programmable devices. Current switching units are connected to it. It serves to supply alternating currents of direct and reverse polarity to the electrical circuit and is made on the basis of key elements. Installing such programmable devices on CNC machines leads to its' equipping with an additional autonomous automatic control system. At the same time, it is difficult to coordinate the operation of the machine's CNC system, which controls the movements of its working parts, and the programmable device used to control the polarity and duration of current pulses during combined processing. **The purpose of the work** is to synchronize the CNC system of the machine with the control system for the process of periodically changing the polarity of the current. The study was carried out on an experimental stand. **Methods.** The research methodology involved conducting an experiment consisting of synchronizing the operation of the machine's CNC system with the operation of the control system for the process of periodically changing the polarity of the current. To evaluate the results, the time of movement of the diamond wheel as a result of the working stroke was compared with the duration of current pulses of different polarities specified in the control program of the developed software. **Results and discussions.** As a result of the research, it is established that the developed software and hardware complex makes it possible to synchronize in the CNC system of the machine tool the control of the movements of the working parts with automatic control of the periodic change of current polarity during electrochemical diamond grinding, which can significantly expand the technical capabilities of CNC machines.

For citation: Borisov M.A., Lobanov D.V., Zvorygin A.S., Skeebe V.Y. Adaptation of the CNC system of the machine to the conditions of combined processing. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2024, vol. 26, no. 1, pp. 55–65. DOI: 10.17212/1994-6309-2024-26.1-55-65. (In Russian).

* Corresponding author

Lobanov Dmitry V., D.Sc. (Engineering), Professor
I.N. Ulianov Chuvash State University,

15 Moskovsky Prospekt,
428015, Cheboksary, Russian Federation

Tel.: + 7 908 303-47-45, e-mail: lobanovdv@list.ru

References

1. Kozlov A.M. Opredelenie parametrov rabochei poverkhnosti abrazivnogo instrumenta na osnove modelirovaniya [Determination of parameters of the working surface of an abrasive tool based on modeling]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroyeniye = Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2005, no. 1, pp. 51–55.
2. Kozlov A.M., Bolgov D.V. Modelirovaniye sovmeshchennoi abrazivnoi obrabotki [Modelling of fetch abrasive filtering]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii = Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology*, 2010, no. 2 (280), pp. 50–53.
3. Popov A.Y., Rechenko D.S., Averkov K.V., Sergeev V.A. High-speed grinding of ZhS6-K high-temperature nickel alloy. *Russian Engineering Research*, 2012, vol. 32 (5–6), pp. 511–512. DOI: 10.3103/S1068798X12050176.
4. Rechenko D.S., Popov A.Y., Titov Y.V., Balova D.G., Gritsenko B.P. Ultra-high-speed sharpening and hardening the coating of carbide metal-cutting tools for finishing aircraft parts made of titanium alloys. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, vol. 1260 (6), p. 062020. DOI: 10.1088/1742-6596/1260/6/062020.
5. Popov V., Rychkov D., Arkhipov P. Defects in diamonds as the basic adhesion grinding. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 129, p. 01003. DOI: 10.1051/mateconf/201712901003.
6. Soler Ya.I., Kazimirov D.Yu., Prokop'eva A.V. Optimizing the grinding of high-speed steel by wheels of cubic boron nitride. *Russian Engineering Research*, 2007, vol. 27 (12), pp. 916–919.
7. Roshchupkin S., Kharchenko A. Method of building dynamic relations, estimating product and grinding circle shape deviations. *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 224, p. 01001. DOI: 10.1051/mateconf/201822401001.
8. Bratan S., Roshchupkin S., Chasovitina A. The correlation of movements in the technological system during grinding precise holes. *Materials Science Forum*, 2021, vol. 1037, pp. 384–389. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1037.384.
9. Vasil'ev E.V., Popov A.Y., Lyashkov A.A., Nazarov P.V. Developing a machining strategy for hard-alloy polyhedral inserts on CNC grinding and sharpening machines. *Russian Engineering Research*, 2018, vol. 38 (8), pp. 642–644. DOI: 10.3103/S1068798X18080166.
10. Vasil'ev E.V., Popov A.Y. Renovation of hard-alloy end mills on numerically controlled grinding machines. *Russian Engineering Research*, 2014, vol. 34, pp. 466–468. DOI: 10.3103/S1068798X14070144.
11. Borisov M.A., Lobanov D.V., Yanyushkin A.S., Skeebe V.Yu. Investigation of the process of automatic control of current polarity reversal in the conditions of hybrid technology of electrochemical processing of corrosion-resistant steels. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2020, vol. 22, no. 1, pp. 6–15. DOI: 10.17212/1994-6309-2020-22.1-6-15. (In Russian).
12. Bratan S., Bogutsky B., Roshchupkin S. Development of mathematical model of material removal calculation for combined grinding process. *Proceedings of the 4th International conference on industrial engineering ICIE 2018*. Cham, Springer, 2019, pp. 1759–1769. DOI: 10.1007/978-3-319-95630-5_189.
13. Nosenko S.V., Nosenko V.A., Kremenetskii L.L. The condition of machined surface of titanium alloy in dry grinding. *Procedia Engineering*, 2017, vol. 206, pp. 115–120. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.446.
14. Nosenko V.A., Fedotov E.V., Nosenko S.V., Danilenko M.V. Probabilities of abrasive tool grain wearing during grinding. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 2009, vol. 38 (3), pp. 270–276. DOI: 10.3103/S1052618809030108.
15. Nosenko S.V., Nosenko V.A., Koryazhkin A.A. The effect of the operating speed and wheel characteristics on the surface quality at creep-feed grinding titanium alloys. *Solid State Phenomena*, 2018, vol. 284, pp. 369–374. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.284.369.
16. Lobanov D., Borisov M., Yanyushkin A., Skeebe V. Influence of the duration of current pulses on the roughness in the combined processing of corrosion steel 12H18N10T. *Key Engineering Materials*, 2022, vol. 910, pp. 397–402. DOI: 10.4028/p-gu270a.
17. Lobanov D., Borisov M., Yanyushkin A., Skeebe V. Ways to implement hybrid finishing technology with a hand-held rotary tool. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 709 (3), p. 044075. DOI: 10.1088/1757-899X/709/4/044075.
18. Lobanov D.V., Arkhipov P.V., Yanyushkin A.S., Skeebe V.Yu. Research of influence electric conditions combined electrodiamond processing by on specific consumption of wheel. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2016, vol. 142, p. 12081. DOI: 10.1088/1757-899X/142/1/012081.
19. Skeebe V.Yu., Vakhrushev N.V., Titova K.A., Chernikov A.D. Rationalization of modes of HFC hardening of working surfaces of a plug in the conditions of hybrid processing. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie,*



instrumenty) = *Metal Working and Material Science*, 2023, vol. 25, no. 3, pp. 63–86. DOI: 10.17212/1994-6309-2023-25.3-63-86. (In Russian).

20. Ikonnikov A.M., Leonov S.L., Solomin D.E., Kulakov A.A. Analysis of magnetic forces in the working clearance with magnetic-abrasive treatment of inductors on standing magnets. *Materials Research Proceedings*, 2022, vol. 21, pp. 176–182. DOI: 10.21741/9781644901755-31.

21. Yanyushkin A.S., Popov V.Yu. Sherokhovatost' poverkhnosti posle shlifovaniya po metodu dvoynogo travleniya [Surface roughness after grinding using the double etching method]. *Ob''edinennyi nauchnyi zhurnal = The Integrated Scientific Journal*, 2002, no. 21, pp. 65–67.

22. Yanyushkin A.S., Arkhipov P.V., Toropov V.A. Mekhanizm ppotsessa zasalivaniya shlifoval'nykh kpugov [A glazing process mechanism of the grinding wheels]. *Vestnik mashinostroeniya = Russian Engineering Research*, 2009, no. 3, pp. 62–69. (In Russian).

23. Popov V.Y., Arkhipov P.V., Rychkov D.A. Adhesive wear mechanism under combined electric diamond grinding. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 129, p. 01002. DOI: 10.1051/mateconf/201712901002.

24. Arkhipov P.V., Yanyushkin A.S., Losev E.D., Petrov N.P., Altangerel G. Sherokhovatost' poverkhnosti, obrabotannoi elektroalmaznymi metodami [Roughness of surface processed by electrodiamond methods]. *Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i inzhenernye nauki = Proceedings of the Bratsk State University. Series: Natural and engineering sciences*, 2014, vol. 1, pp. 158–163.

25. Borisov M.A., Lobanov D.V. Programmiruemoie ustroistvo dlya upravleniya elektricheskimi parametrami kombinirovannoi obrabotki vysokoprochnykh materialov [Programmable device for control of electrical parameters of combined processing of high-strength materials]. *Aktual'nye problemy v mashinostroenii = Actual Problems in Machine Building*, 2021, vol. 8, no. 1–2, pp. 14–21.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2024 The Authors. Published by Novosibirsk State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).