

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.12737/article_5a816bdf36bde2.06309800

Тимофеев С.П., аспирант,
Хуртасенко В.А., аспирант,
Шрубченко И.В., д-р тех. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

РАСЧЕТ ГЛУБИНЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ С НЕСТАЦИОНАРНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ*

Timofeevsp@inbox.ru

Повышение технологичности методов восстановительной обработки непрерывно-протяженных поверхностей является актуальной задачей. Данные поверхности присущи ряду крупногабаритных деталей, таких как опоры технологических барабанов, имеющих нестационарную ось вращения в процессе эксплуатации. В настоящее время разработана новая, перспективная адаптивная технология механической обработки монотонных замкнутых поверхностей крупногабаритных деталей с нестационарной осью вращения. Данная технология позволяет эффективно производить восстановительную обработку, например, поверхностей качения бандажей цементных печей. Для обеспечения технологического процесса механической обработки требуется контроль и соблюдение ряда технологических параметров. Для указанных поверхностей особенно важно соблюдать требование по максимальной глубине обработки. Поэтому для разработанной технологии получены методы расчета фактических глубин обработки, при соответствующих технологических параметрах процесса восстановительной обработки. Методика и алгоритмы расчета фактической глубины обработки основаны на математическом моделировании процесса многопроходной механической обработки.

Ключевые слова: глубина резания, восстановительная обработка, бандаж цементной печи.

Введение. При исследовании процесса эксплуатации крупногабаритных деталей с нестационарной осью вращения выявлено, что искажение геометрической формы наружных поверхностей может привести к одновременному наличию двух основных видов погрешности [1, 2]:

- Отклонение профиля поперечного сечения от круглости, чаще в виде овальности, огранки или прочих сложных форм [3, стр. 48–49];
- Отклонение профиля продольного сечения, чаще в виде седлообразности, бочкообразности или прочих сложных форм [1] (рис. 1).

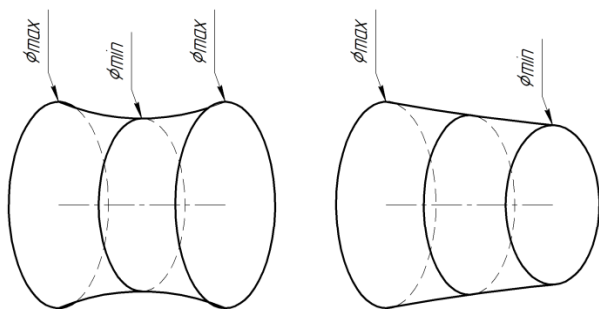


Рис. 1. Вероятные отклонения профиля продольного сечения

Следовательно, при применении для обрабатываемого оборудования известных схем [4, 5, 6] с постоянной настройкой вылета режущего инструмента глубина резания в различных участках поверхности может существенным образом отличаться.

Для повышения эффективности процесса механической обработки подобных поверхностей разработана новая технология адаптивной механической обработки с применением новых перспективных средств измерений и оборудования. В частности, особенностью данной технологии является способ базирования самоустанавливающегося суппорта по заранее выбранному сечению, с возможностью дальнейшей обработки любой части поверхности.

При разработке данной технологии возникла необходимость в эффективном определении необходимых параметров настройки режущего инструмента в соответствии с применяемым оборудованием. Назначение параметров настройки режущего инструмента, например, вылета режущего инструмента, зависит от требуемой глубины обработки. В общем случае применительно к разработанной технологии возможны варианты

способов снятия припуска на проход, следовательно, будет отличаться и методика расчета глубины обработки.

Основная часть. В силу специфики исследуемых процессов возможны следующие схемы снятия припуска при механической обработке:

1 – *Постоянная настройка глубины обработки на переход* – вылет режущего инструмента настраивается на весь переход, и не меняется до его завершения. При этом фактическая глубина обработки будет изменяться вследствие погрешности формы в продольном направлении. Как следствие возможно превышение технологически допустимой глубины обработки и/или отсутствие обработки части поверхности на данном переходе (рис. 2);

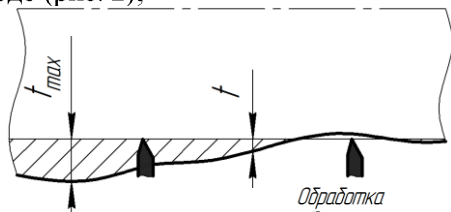


Рис. 2. Схема обработки с постоянной настройкой глубины обработки на переход.

2 – *Постоянная настройка глубины обработки на проход* – вылет режущего инструмента настраивается по максимальной погрешности всей поверхности на каждый отдельный проход. Применяются неполные проходы и не последовательная схема обработки. Обрабатываются в проходе только те поверхности, в которых при данном базировании и настройке резца глубина резания не будет равна 0. При этом для работы требуется возможность регулирования величины вылета резца после каждого прохода. Однако при данной схеме обработки возможна разница глубин обработки в продольном сечении обрабатываемой поверхности от 0 до её t_{max} значения (рис 3).

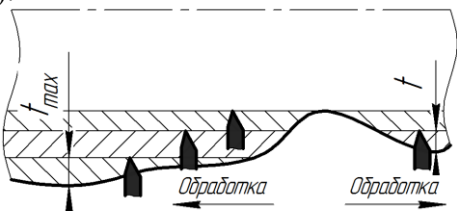


Рис. 3. Схема обработки с постоянной настройкой глубины обработки на рабочий ход

3 – *Условно переменная настройка глубины обработки на рабочий ход* – вылет режущего инструмента регулируется в зависимости погрешности формы поверхности в каждом отдельном поперечном сечении. Величина вылета настраивается по максимальной погрешности формы поверхности для каждого поперечного сечения обрабатываемого участка поверхности. На один

проход для всего профиля продольного сечения определяются настройки вылета режущего инструмента, соответствующие необходимой глубине обработки без зарезания поверхности до вписанного цилиндра. Также обработка ведется только на тех участках, где есть необходимый припуск. При этом для работы требуется возможность числового программного управления вылетом резца. Глубина обработки в поперечном сечении в данном случае является величиной переменной (рис. 4).

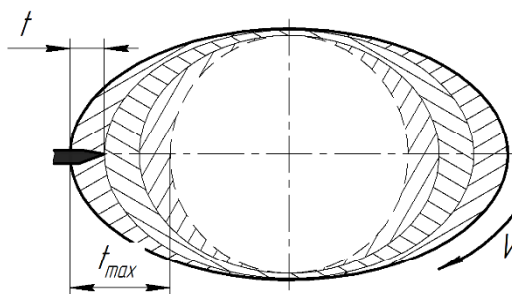


Рис. 4. Схема обработки условно переменной настройкой глубины обработки на переход

4 – *Адаптивная настройка глубины обработки на переход* – вылет режущего инструмента постоянно подстраивается на необходимую глубину с учетом текущего припуска в каждом поперечном сечении поверхности. Применяется непоследовательная схема проходов. При этом возможно выдерживание постоянно максимально эффективной глубины резания без зарезания поверхности до вписанного цилиндра. Для обеспечения такой схемы обработки необходимо программное и механическое управление вылетом резца, а также применение устройств для определения пространственного положения поверхности. Кроме того, требуется предварительное математическое моделирование для определения требуемых настроек. Схема является наиболее эффективной, и соответствует методу механической обработки с активным контролем.

Каждая из указанных схем позволяет последовательно устранять погрешность отклонения профиля продольного сечения еще на предварительных этапах обработки, что достигается применяемой схемой базирования обрабатываемого модуля.

В зависимости от выбранной схемы обработки методика расчета глубины резания отлична, но общие принципы и методика схожи. Очевидно, наиболее эффективной схемой является 4-я, обеспечивающая высокоточную обработку поверхности за наименьшее время. Однако в таком случае требуется специальное высокоточное устройство обеспечивающее возможность определения положения поверхности относительно обрабатываемого элемента. А также

соответствующий математический алгоритм и модель для обеспечения возможности обработки. Подобные дополнительные устройства существенно удорожат всю систему.

Поэтому в качестве базовой принята 3-я схема обработки. Она в полной мере подходит требованиям и возможностям адаптивной обработки с применением уже разработанных средств измерений и устройств механической обработки, также обеспечивая высокоточную обработку.

Существуют различные методики и алгоритмы получения информации о геометрических параметрах обрабатываемой поверхности [7, 8, 9]. Основополагающим процессом для реализации указанного метода обработки является процесс определения геометрических параметров формы поверхности, описанный в [10]. Из результатов измерения геометрических параметров для дальнейших расчетов глубин обработки необходимы:

1 – Определение радиуса вписанной окружности в каждом из поперечных сечений поверхности;

2 – Определение положения оси и радиуса вписанного цилиндра для всей поверхности;

3 – Определение в каждом поперечном сечении максимального и минимального отклонения

от круглости ($\Delta_{i_max}^{kp}$ и $\Delta_{i_min}^{kp}$ соответственно) относительно базовой оси вписанного цилиндра.

4 – Определение сечения с минимальной величиной радиального биения $\Delta_{i_min}^{pb}$ относительно базовой оси вписанного цилиндра.

Далее производится расчет фактической глубины резания при выполнении механической обработки согласно 3-й схемы обработки.

Для данного метода разработана следующая методика расчёта глубины резания:

❖ **Первый этап.** Расчет лимитирующего припуска z_{lim} на текущий переход.

Величина z_{lim} является припуском на механическую обработку, определяющим технологические параметры обработки всей поверхности до размеров вписанного цилиндра. Определяется только для сечения, по которому будет осуществляться базирование обрабатываемого модуля на данном переходе – базисного сечения и текущих параметров модуля механической обработки. Величина z_{lim} в общем случае не соответствует максимальной глубине обработки на текущем переходе. Фактически она определяет максимально допустимый вылет режущего инструмента на текущий переход.

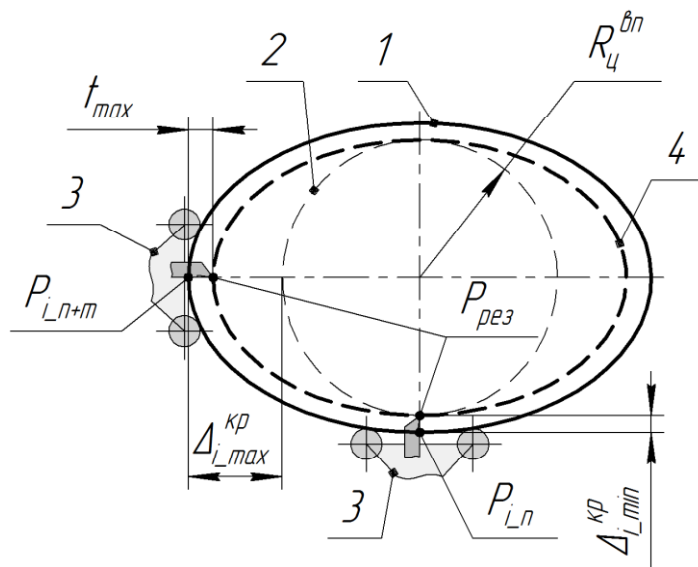


Рис. 5. Принципиальная схема к расчету глубины обработки. (1 – контур обрабатываемой поверхности в i -м сечении; 2 – контур вписанного цилиндра; 3 – модуль механической обработки; 4 – контур поверхности после механической обработки для текущего перехода)

В частности для поверхности без участков с отрицательной кривизной (рис. 5), например, поверхность качения крупногабаритных деталей опор технологических барабанов опирающихся на два ролика, достаточно рассчитать глубину обработки для случая, когда крайняя точка режущей части инструмента $P_{рез}$ (далее точка резания) совпадает с точкой на контуре вписанного ци-

линдра $R_{ч}^{сн}$ соответствующей минимальной погрешности формы поверхности $\Delta_{i_min}^{kp}$ в данном сечении. В таком случае $z_{lim} = \Delta_{i_min}^{kp}$.

В прочих случаях непосредственный расчет величины z_{lim} производится путем моделирования процесса обкатки обрабатываемого модуля по поверхности детали в базовом сечении. В этом случае точка резания $P_{рез}$ перемещается строго по контуру вписанного цилиндра $R_{ч}^{сн}$ (линия 2,

дальнейших расчетов принимается точка для которой модуль расстояния от точки $P_{рез}$ наименьший.

➤ Проверка наличия врезания инструмента в обрабатываемую поверхность.

▪ Для проверки наличия обработки в данном положении обрабатывающего модуля доста-

$$P_{лск_{i_n}} = \begin{pmatrix} \cos(\varphi_{модуля}) & \sin(\varphi_{модуля}) \\ -\sin(\varphi_{модуля}) & \cos(\varphi_{модуля}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -x_{лск} \\ -y_{лск} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos(\varphi_{модуля}) & \sin(\varphi_{модуля}) \\ -\sin(\varphi_{модуля}) & \cos(\varphi_{модуля}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{P_{i_n}} \\ y_{P_{i_n}} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где $x_{лск}$ и $y_{лск}$ – координаты точки начала координат локальной СК обрабатывающего модуля в базовой СК, определяются на этапе моделирования процесса механической обработки; $x_{P_{i_n}}$ и $y_{P_{i_n}}$ – координаты точки P_{i_n} в базовой СК.

Координаты точки $P_{рез}$ в локальной СК постоянны и известны с момента определения величины t_{max}^{np} .

Для определения наличия обработки достаточно сравнить координаты по оси Oy в локальной СК для точек P_{i_n} и $P_{рез}$.

– если $y_{P_{рез}} \leq y_{P_{i_n}}$, то

$$t=0 \text{ и обработка не происходит} \quad (5)$$

– если $y_{P_{рез}} > y_{P_{i_n}}$, то

$$t > 0 \text{ ведется обработка} \quad (6)$$

➤ Расчет максимальной глубины резания t_{max} в i -м сечении.

▪ Максимальная глубина резания определяется как наибольшая глубина резания из n положений обрабатывающего модуля для i -го сечения. Поэтому для каждого положения обрабатывающего модуля, в котором выполняется условие 6, определяется модуль расстояния между точками P_{i_n} и $P_{рез}$ по формуле 7.

$$t = \sqrt{(x_{P_{i_n}} - x_{P_{рез_n}})^2 + (y_{P_{i_n}} - y_{P_{рез_n}})^2} \quad (7)$$

Аналогичным образом производятся расчеты глубины резания для всех m сечений, в которых производится механическая обработка на данном переходе.

Заключение. Итогом представленного расчета является массив данных с расчетными значениями величины t_{max} для каждого поперечного сечения поверхности на участке, в котором производится обработка. Это позволяет с достаточной точностью определить необходимую величину вылета инструмента при проведении механической обработки, обеспечивающую технологически обоснованные режимы, а также рассчитать требуемое количество рабочих ходов (переходов) для снятия необходимого припуска.

точно определить координаты точки P_{i_n} в его локальной системе координат и сравнить с координатами точки $P_{рез}$.

Координаты точки P_{i_n} в локальной СК обрабатывающего модуля определяются по следующей формуле:

Получаемые после указанных расчетов данные передаются для дальнейшего анализа и построения оптимального общего маршрута обработки.

Блок-схема расчета максимальной глубины резания в i -м поперечном сечении представлена на рис. 7.

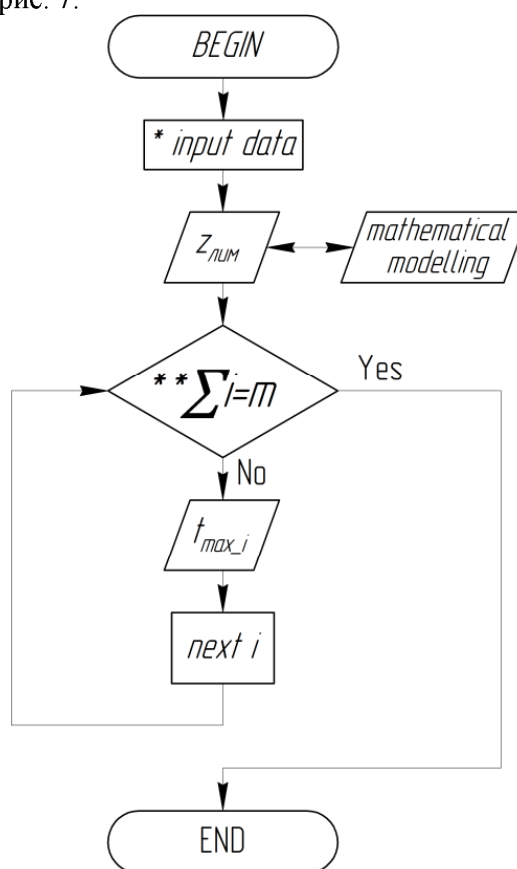


Рис. 7. Блок-схема расчета величины максимальной глубины обработки t_{max} для m сечений.

(* - исходные данные: индекс базисного сечения i ; количество m и номера i сечений подлежащих обработке на данном переходе; геометрические параметры поверхности в указанных сечениях, ** - условие проведения расчета для всех m сечений)

Выводы: представленная методика расчета и назначения глубины резания позволяет в полной мере реализовать принципы адаптивной технологии механической обработки монотонных замкнутых поверхностей крупногабаритных деталей с нестационарной осью вращения. С целью

повышения точности обработки возможна корректировка расчетных данных путем осуществления дополнительных измерений поверхности после каждого прохода, что в свою очередь обеспечит повышение точности обработки и стойкость применяемого инструмента.

Разработанная методика, с незначительными корректировками, позволяет применять её для 4-й схемы назначения глубины резания, то есть при обработке с системой активного контроля [11].

**Работа выполнена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шрубченко И.В. Хуртасенко А.В., Колобов А.В. Технологическое обеспечение условий контакта деталей опор технологических барабанов при их сборке и эксплуатации. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. 189 с.
2. Колобов А. В. Технологическое обеспечение условий контакта при сборке и эксплуатации опор технологических барабанов: дис. канд. техн. наук. Белгород, 2009. 190с.
3. Хуртасенко А.В. Технология восстановительной обработки крупногабаритных деталей с использованием методов активного контроля: дис. канд. техн. наук. Белгород, 2007. 137 с.
4. Пат. № 125499, Российская Федерация, МПК В23В 5/00 (2006.01). Станок для обработки бандажей / Шрубченко, М.Н. Мурыгина Л.В., Рыбалко В.Ю.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2012121121/02, заявл. 22.05.2012; опубл. 10.03.2013, Бюл. № 7.
5. Пат. № 110013, Российская Федерация, МПК В23В 5/00 (2006.01). Станок для обработки наружных поверхностей бандажей / Мурыгина Л.В., Шрубченко, М.Н., Архипова Н.А., Рыбалко В.Ю., Черняев А.С.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2011111455/02, заявл. 25.03.2011; опубл. 10.11.2011, Бюл. № 31.
6. Пат. № 58420, Российская Федерация, МПК В23Q1/76 (2006.01). Следящий суппорт / Санин С.Н., Бондаренко В.Н., Погонин А.А.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2006120063/22, заявл. 07.06.2006; опубл. 27.11.2006, Бюл. № 33.
7. Тюрин С.В. Контроль геометрии цилиндрических вращающихся промышленных объектов путем многократных измерений дальностей до их поверхности: дис. канд. техн. наук. СПб., 2006. 20 с.
8. Маслова. И.В. Дистанционная диагностика состояния восстанавливаемых поверхностей крупногабаритных объектов в процессе их эксплуатации: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.02.13: 05.02.08/ И В. Маслова. Белгород, 2013. 20 с.
9. Петров В.В., Тюрин С.В. Контроль геометрических характеристик вращающихся печей // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2005. №7. С. 66–70.
10. Тимофеев С.П., Хуртасенко А.В., Шрубченко И.В. Методика определения формы наружной поверхности качения опор технологических барабанов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 3. С. 85–89.
11. Ястребов Р.Г., Маслова И.В. Использование управляемого станочного модуля при восстановительной обработке бандажей вращающихся цементных печей // Международная научно-практическая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород, 2011.

Информация об авторах

Тимофеев Сергей Петрович, аспирант кафедры технологии машиностроения.

E-mail: Timofeevsp@inbox.ru.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Хуртасенко Владислав Андреевич, аспирант кафедры технологии машиностроения.

E-mail: kament31@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Шрубченко Иван Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения.

E-mail: ivshrub@yandex.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в декабре 2017 г.

© Тимофеев С.П., Хуртасенко В.А., Шрубченко И.В., 2018

S.P. Timofeev, V.A. Khurtasenko, I.V. Shrubchenko
CALCULATION OF DEPTH OF CUTTING WHEN PROCESSING SURFACES
OF LARGE-SIZE DETAILS WITH THE NONSTATIONARY SPIN AXIS

Increase in processibility of methods of the reduction processing of continuous and stretched surfaces is a relevant task. These surfaces are inherent in a number of large-size details, such as support of the technological drums having a nonstationary spin axis in use. Now the new, perspective adaptive technology of machining of the monotonic selfcontained surfaces of large-size details with a nonstationary spin axis is developed. This technology allows to make efficiently the reduction processing, for example, of surfaces of a rolling of bandages of cement furnaces. Ensuring technological process of machining requires monitoring and keeping of a number of technological parameters. For the specified surfaces it is especially important to keep the requirement for the maximal depth of processing. Therefore for the developed technology computational methods of the actual depths of processing are received, at the corresponding technological parameters of process of the reduction processing. The technique and algorithms of calculation of the actual depth of processing are based on mathematical model operation of process of multipass machining.

Keywords: *cutting depth, the reduction processing, bandage of the cement furnace.*

Information about the authors

Sergey P. Timofeev, Postgraduate student.

E-mail: Timofeevsp@inbox.ru.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Vladislav A. Khurtasenko, Postgraduate student.

E-mail: kament31@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Ivan V. Shrubchenko, PhD, Professor.

E-mail: ivshrub@yandex.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in December 2017