

ния, но также направленные на получение слоев с минимальным содержанием в них основного металла (см. табл. 1).

На практике для различных металлов и наплавляемых поверхностей могут быть применены одни и те же способы наплавки. Каждый способ имеет свои показатели по содержанию основного металла в наплавленном слое и его толщине, производительности процесса, материальных и энергетических затрат. Поэтому при выборе наилучшей технологии изготовления или восстановления конкретной номенклатуры деталей необходимо предусмотреть решение комплекса вопросов, отражающих реальные условия производственной деятельности предприятия, его тип, форму организации, учитывающую объем и конструкторско-технологическую номенклатуру деталей, транспортные затраты. При восстановлении деталей должно быть обеспечено основное техническое требование долговечности – минимальный ресурс восстановленных деталей должен быть не ниже межремонтного ресурса работы машины [3].

Выводы

1. Предложена классификация технологических способов наплавки, позволяющая проводить их анализ и выбирать наиболее рациональный процесс, отвечающий технологическим и экономическим требованиям современного производства.

2. Проведенные систематизация и анализ позволяют использовать их как базу данных для автоматизированного метода проектирования технологических процессов ремонтной и износостойкой наплавки поверхностей различных деталей.

Библиографические ссылки

1. Гладков Э. Г., Бродягин В. Н., Перковский Р. А. Автоматизация сварочных процессов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 421 с.

Получено 27.03.2017

2. Грохольский Н. Ф. Восстановление деталей машин и механизмов сваркой и наплавкой. – М. : Машиностроение, 1966. – 275 с.

3. Сидоров А. Н. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой. – М. : Машиностроение, 1987. – 192 с.

4. Сварка и свариваемые материалы : справочник / под ред. В. Н. Волченко. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1996. – Т. 2. – 576 с.

5. Сварка. Резка. Контроль : справочник / под ред. Н. П. Алешина, Г. Г. Чернышова. – М. : Машиностроение, 2004. – Т. 2. – 480 с.

6. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. Б. Е. Патона. – М. : Машиностроение, 1974. – 768 с.

7. Булекбаева Г. Ж. Пластическое деформирование наплавленного слоя на плоской поверхности детали : дис. ... канд. тех. наук. – Кутаиси, 2016. – 100 с.

8. Восстановление деталей машин : справочник / под ред. В. П. Иванова. – М. : Машиностроение, 2003. – 672 с.

9. Современные технологии дуговой наплавки / С. Л. Бычковский, И. Б. Топоров, Н. О. Кудряшов, Е. И. Павлов. – URL: <https://www.mngz.ru/economy/827366-sovremennyye-tehnologii-dugovoy-naplavki.html>

10. Безруких А. А., Свитнева Л. М. Исследование процесса наплавки трехфазной дугой косвенного действия. – URL: <https://socionet.ru/publication.xml?h=spz:cyberleninka:33081:16456074>

11. Кононенко В. Я. Ручная и механизированная дуговая сварка и наплавка. – Киев : Украина, 2009. – 456 с. – URL: <http://5fan.ru/wievjob.php?id=77792>

12. Наплавка и наварка деталей. – URL: <http://studopedia.org/1-13266.html>

13. Плазменная наплавка металлов / А. Е. Вайнерман, М. Х. Шоршоров, В. Д. Веселков, В. С. Новосадов. – М. : Машиностроение, 1969. – 192 с.

14. Соловьев С. Д., Дементьев В. Б. Кинетика образования межатомных связей в биметаллах. – Ижевск : Изд-во Института прикладной механики УрО РАН, 2006. – 152с.

15. Каракозов Э. С., Мустафаев Р. И. Справочник молодого электросварщика. – М. : Машиностроение, 1992. – 302 с.

УДК 621.92+621.833

DOI 10.22213/2413-1172-2017-2-51-54

А. Э. Волков, доктор технических наук, профессор, МГТУ «Станкин»

В. И. Медведев, доктор технических наук, доцент, МГТУ «Станкин»

ЗАДАЧИ СИНТЕЗА И АНАЛИЗА ПРОФИЛИРОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ШЛИФОВАНИЯ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Детали с винтовыми поверхностями применяются для передачи движения и усилия в машинах и механизмах. Исследованию процессов обработки этих деталей посвящено большое количество работ [1–6]. Одним из основных методов получения точной винтовой поверхности является шлифование профильным абразивным кругом.

При использовании известных механизмов правки шлифовального круга по дуге эллипса или параболы с неизбежностью возникает вопрос точности изготовления требуемой винтовой поверхности. На современных станках имеется возможность задать в осевом сечении шлифовального круга произвольный профиль. Это позволяет править круг по точно

рассчитанной с использованием математических методов кривой. Конечно, при каждой правке с учетом изменения диаметра инструмента профиль необходимо пересчитывать, что при современной вычислительной технике не является большой проблемой.

Цель данной статьи – описать методики решения задач синтеза и анализа профилирования инструмента для шлифования винтовых поверхностей с требуемой точностью. Рассмотрен процесс шлифования цилиндрической наружной резьбы с произвольным углом наклона оси инструментального шпинделя. При решении задачи анализа использована модель обволакивающей.

Постановка задачи

Рассматривается процесс шлифования однозаходной наружной цилиндрической резьбы с помощью шлифовального круга. Инструмент представляет собой тело вращения, ось которого образует угол β (угол наклона инструментального шпинделя) с осью заготовки. Расстояние между осями равно a_w . Предполагается, что угол β может быть не равен углу β_0 подъема спирали резьбы по среднему диаметру. В частности, может быть $\beta = 0$ [7, 8].

Заготовка совершает винтовое движение, которое задается угловой скоростью ω и линейной скоростью $v = p\omega$, где $p = 0,5s/\pi$ – винтовой параметр, а s – шаг резьбы.

Задача состоит в построении поверхности инструмента для шлифования требуемой резьбы с заданной точностью.

Каждая резьба отличается формой осевого сечения впадины между витками резьбы. Наиболее общее описание профиля резьбы представлено в [9] и определяется функцией

$$z_s(r) = \begin{cases} z_{1s} \pm (r - r_{1s}) \operatorname{tg} \alpha_s, & r_{1s} \leq r \leq r_{2s}, \\ z_{c1s} \pm \sqrt{\rho_1^2 - (r - r_{c1})^2}, & r < r_{1s}, \\ z_{c2s} \mp \sqrt{\rho_2^2 - (r - r_{c2})^2}, & r > r_{2s}. \end{cases} \quad (1)$$

Для правой стороны резьбы в (1) выбирают верхний знак и $s = 1$. Для левой стороны – нижний знак и $s = 2$. Интервал $r_{\min} \leq r \leq r_{\max}$ является областью определения функции $z_s(r)$.

Решение задачи синтеза

С движущейся заготовкой связана система отсчета $Oxyz$ (рис. 1). Положение системы $Oxyz$ определяется углом поворота ζ .

Боковая поверхность впадины резьбы в неподвижной системе $O_1x_1y_1z_1$ задается соотношением (см. рис. 1)

$$\mathbf{r}^*(r, \zeta) = \begin{bmatrix} x^* \\ y^* \\ z^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r \sin \zeta \\ r \cos \zeta \\ z_s(r) + p\zeta \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где функция $z_s(r)$ определена с помощью (1).

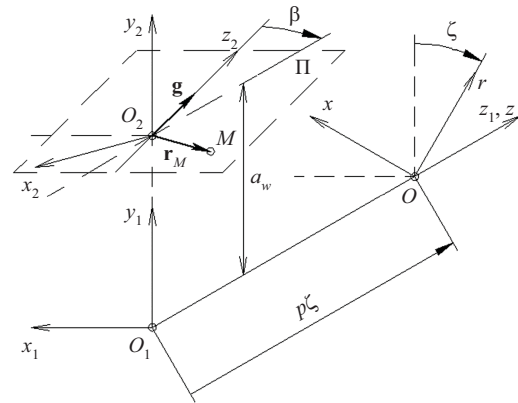


Рис. 1. Системы координат

Шлифовальный круг как тело вращения определяется в системе $O_2x_2y_2z_2$ инструмента (см. рис. 1). Поверхность круга касается поверхности (2) впадины резьбы вдоль некоторой кривой L . В процессе обработки детали кривая L неподвижна в пространстве. Она представляет собой образующую поверхности инструмента и определяется уравнениями:

$$\begin{aligned} x &= x^*(r, \zeta(r)); \\ y &= y^*(r, \zeta(r)); \\ z &= z^*(r, \zeta(r)). \end{aligned} \quad (3)$$

В [10–12] дано подробное описание алгоритма нахождения функции $\zeta(r)$ путем решения уравнения

$$f(r, \zeta) = 0. \quad (4)$$

Из уравнения (4) можно для каждого значения r найти угол $\zeta(r)$. Затем с помощью (1), (2) и (3) рассчитать координаты точки M кривой L в системе инструмента. Окончательно форма осевого сечения поверхности круга в системе инструмента определяется в виде функции

$$z_2 = z_2(R(\zeta)), \quad (5)$$

где $R(\zeta)$ – расстояние от оси круга до точки на его боковой поверхности.

При решении уравнения (4) значения параметра r последовательно уменьшают с некоторым шагом от r_{\max} до r_{\min} . Поэтому функция (5) определяется в табличном виде как

$$z_{2s} = z_2(R(\zeta(r_s))). \quad (6)$$

В уравнении (4) угол β наклона оси инструмента в общем случае является свободно задаваемым параметром. Как было показано в работах [13–15], боковая поверхность шлифовального круга может быть получена не для всех значений угла β . Там же даны рекомендации по выбору угла β .

Решение задачи анализа

Боковая поверхность с номером s ($s = 1, 2$) шлифовального круга задана в табличном виде в системе инструмента своими значениями $z_{2s}(R_{si})$ в узлах R_{si} сеток.

Уравнение боковой поверхности круга с учетом его движения относительно заготовки можно записать как уравнение семейства поверхностей с параметрами R, φ, ζ в системе $Oxyz$:

$$\begin{aligned} x &= x(R, \varphi, \zeta), \\ y &= y(R, \varphi, \zeta), \\ z &= z(R, \varphi, \zeta), \end{aligned} \quad (7)$$

где R и φ – полярные координаты точки в плоскости x_2y_2 (см. рис. 1); ζ – параметр движения шлифовального круга при обработке.

Так как относительно простая и наиболее часто используемая для построения поверхности, получаемой методом обкатки, модель огибающей не всегда дает правильные результаты изделия, для нахождения поверхности резьбы будем использовать теорию оболочивающих [16, 17]. Удаленная при обработке часть заготовки при этом рассматривается как объединение областей пересечения инструмента и заготовки в их различных относительных положениях.

Форму осевого сечения впадины винта плоскостью $x = 0$ в системе координат $Oxyz$ определим в виде функций $z_s^\circ(r)$.

Осевое сечение впадины винта плоскостью $x = 0$ в системе координат $Oxyz$ определим таблично в равноотстоящих друг от друга точках пересечения ее контура с прямыми

$$r_j^* = r_{\min} + (j-1)(r_{\max} - r_{\min})/K \quad (j = 1, 2, \dots, K+1), \quad (8)$$

параллельными оси z .

Движение заготовки относительно инструмента определено на множестве значений ζ_k угла ζ в интервале $-\zeta_{\max} \leq \zeta \leq \zeta_{\max}$. Рассмотрим процесс «вырезания» из прямых (8) отрезков, заключенных между точками пересечения прямых с правыми и левыми сторонами сечения шлифовального круга плоскостью $x = 0$. Для простоты представим сечения как ломаные линии.

Пусть (R_{si}, z_{2si}) – координаты некоторой точки шлифовального круга в системе $O_2x_2y_2z_2$, а (r_{sik}, z_{sik}) – координаты этой же точки в системе $Oxyz$, полученные при угле поворота ζ_k .

Используя линейную интерполяцию, находим координаты z_{sjk}^* в точках $r = r_j^*$ с помощью равенства

$$z_{sjk}^* = z_{sik} + (r_j^* - r_{sik}) (z_{si+1k} - z_{sik}) / (r_{si+1k} - r_{sik}).$$

Координаты z_{1j}° узлов правой стороны впадины резьбы принимаем равными максимальной из величин z_{1jk}^* :

$$z_{1j}^\circ = \max_k z_{1jk}^*.$$

Координаты z_{2j}° узлов на левой стороне впадины резьбы определяем как

$$z_{2j}^\circ = \min_k z_{2jk}^*.$$

Теоретическая погрешность обработки винтовой поверхности определяется по нормали как разность двух значений. Одно получено по модели оболочивающей, а второе вычисляется с помощью (1) для заданного контура. Оба значения рассчитываются в точках r_j^* , заданных равенством (8). Погрешностью обработки считается максимальное отклонение по всем точкам.

Методики синтеза и анализа процесса шлифования винтовой поверхности реализованы в виде программных модулей.

Пример. Рассмотрим пример расчета профиля круга диаметром 400 мм для шлифования наружной упорной резьбы S20×2 с радиусом скругления по впадине винта 0,249 мм. Форма осевого сечения инструмента изображена на рис. 2, а поверхность резьбы винта – на рис. 3. Поверхность резьбы можно условно разделить на две части. Рабочая поверхность предназначена для контакта с поверхностью резьбы гайки (обозначена цифрой 1 на рис. 3) и переходная поверхность 2, расположенная внутри радиального зазора.

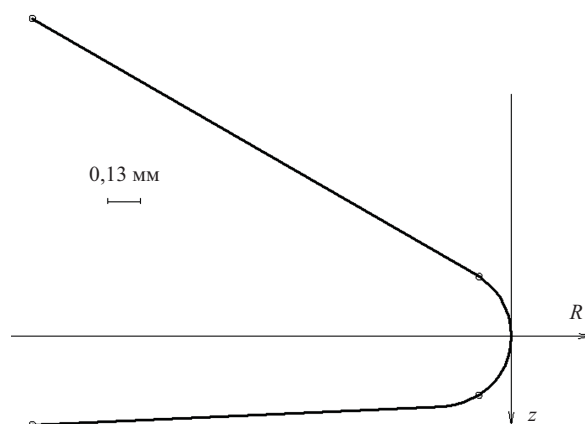


Рис. 2. Осевое сечение инструмента для обработки резьбы S20×2

Сечение каждой стороны поверхности круга (см. рис. 2) состоит из участка, близкого к отрезку прямой, который профилирует рабочую поверхность резьбы, и участка, близкого к дуге окружности, предназначенного для профилирования переходной поверхности. Точка на каждой стороне инструмента является границей областей, которые профилируют прямолинейный и дугообразный участок контура резьбы. Результаты анализа показывают, что вся поверхность впадины упорной резьбы S20×2 теоретически может быть обработана с точностью 0,0001 мм.

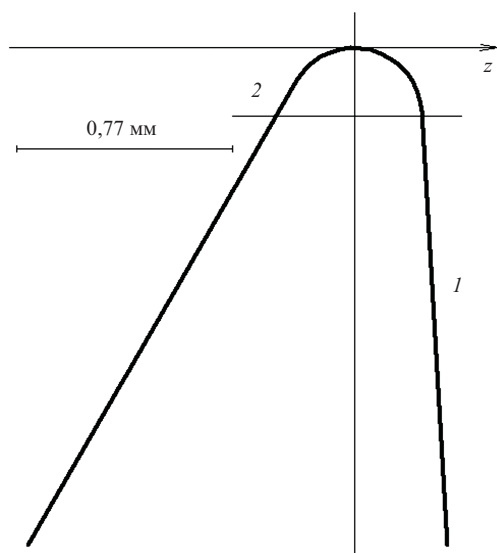


Рис. 3. Впадина упорной резьбы

Численные эксперименты показали, что метрическую, трубную и круглую резьбу из номенклатуры, определенной ГОСТ, можно изготовить шлифованием с высокой точностью без использования наклона оси инструмента.

Рабочая поверхность трапецеидальной резьбы с большим шагом без использования наклона инструментального шпинделя не всегда может быть изготовлена с высокой точностью (1 мкм). Использование наклона шпинделя позволяет изготавливать теоретически точную рабочую поверхность, а погрешность обработки переходной поверхности может составлять сотые доли миллиметра.

Шлифование упорной резьбы без наклона инструментального шпинделя не представляется возможным. При использовании наклона оси инструмента рабочие поверхности и скругления резьбы с малым шагом могут быть изготовлены с теоретической погрешностью в 1 мкм. С ростом шага точность убывает.

Заключение

Методики, описанные в статье, могут быть использованы для определения возможности шлифования резьбы с заданной точностью с произвольным углом наклона оси круга. С их помощью технолог может сделать обоснованный выбор наладок станка и формы инструмента для обработки различных типов цилиндрической винтовой поверхности. Про-

Получено 12.04.2017

граммные модули, реализующие представленные методики, используются на станкостроительном заводе ЗАО «МСЗ-Салют» при шлифовании на станке модели МШ520.

Библиографические ссылки

1. Люкин В. С. Теория винтовых поверхностей в проектировании режущих инструментов. – М. : Машиностроение, 1968. – 371 с.
2. Резьбообразующий инструмент : учеб. пособие / В. А. Гречишников, Л. Л. Артюхин [и др.]. – Пенза : Технол. ин-т, 1999. – 405 с.
3. Сандлер А. И., Лагутин С. А., Гудов Е. А. Теория и практика производства червячных передач общего вида : учеб.-прак. пособие / под общ. ред. С. А. Лагутина. – М. : Инфра-Инженерия, 2016. – 346 с.
4. Гречишников В. А., Колесов Н. В., Петухов Ю. Е. Математическое моделирование в инструментальном производстве. – М. : МГТУ «Станкин», 2003. – 117 с.
5. Косарев В. А., Гречишников В. А., Дымов М. С. Определение профиля исходной инструментальной поверхности при обработке внутренних резьб инструментом с планетарным движением // СТИН. – 2011. – № 3. – С. 28–32.
6. Лаинев С. И. Профилирование инструментов для обработки винтовых поверхностей. – М. : Машиностроение, 1965. – 150 с.
7. Шлифование внутренней резьбы без наклона инструментального шпинделя / А. Э. Волков, А. Ф. Газизов, В. И. Дзюба, В. И. Медведев // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2014. – № 5. – С. 85–92.
8. Волков А. Э., Газизов А. Ф., Медведев В. И. Обоснование возможности шлифования наружной резьбы на станке с ЧПУ без наклона инструментального шпинделя // Вестник МГТУ «Станкин». – 2016. – № 1. – С. 8–13.
9. Шлифование однозаходной внутренней резьбы абразивным кругом на станке с ЧПУ / А. Э. Волков, А. Ф. Газизов, В. А. Гречишников, В. И. Медведев // Вестник МГТУ «Станкин». – 2016. – № 3. – С. 46–53.
10. Шлифование внутренней резьбы без наклона инструментального шпинделя.
11. Волков А. Э., Газизов А. Ф., Медведев В. И. Указ. соч.
12. Шлифование однозаходной внутренней резьбы абразивным кругом на станке с ЧПУ.
13. Шлифование внутренней резьбы без наклона инструментального шпинделя.
14. Волков А. Э., Газизов А. Ф., Медведев В. И. Указ. соч.
15. Шлифование однозаходной внутренней резьбы абразивным кругом на станке с ЧПУ.
16. Шевелева Г. И. Теория формообразования и контакта движущихся тел : монография. – М. : Станкин, 1999. – 494 с.
17. Волков А. Э., Медведев В. И. Проектировочные и технологические расчеты конических передач с круговыми зубьями : учеб. пособие – М. : Станкин, 2007. – 151 с.