

УДК 621.9

**Ю.Н. Внуков, д.т.н., проф.***Запорозький національний технічний університет***М.А. Шамровський***ОАО «Шлифверст» г. Лубны*

## **ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И КАЧЕСТВА ШЛИФОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ С КРИВОЛИНЕЙНЫМ ПРОФИЛЕМ В ПОПЕРЕЧНОМ СЕЧЕНИИ**

*В статье предлагаются пути повышения точности и качества шлифования изделий с криволинейным сечением в поперечном сечении.*

**Введение.** Традиционно шлифование распределительных валов или других деталей, содержащих в поперечном сечении криволинейный профиль, производится на копировально-шлифовальных станках с механическим или гидравлическим принципами копирования.

**Основная часть.** Принципиальная кинематическая схема станка с механическим копированием показана на рис. 1 (мод. ХШЗ-01, ХШЗ-03, ХШЗ-55, ХШЗ-57 и др.).

На рис. 1 показаны все основные движения: вращение шлифовального круга со скоростью –  $V_k$ , поперечная подача шлифовальной бабки –  $S_{\text{поп}}$ , вращение шлифуемого кулачка – 1 и кулачка-копира – 2 со скоростью –  $n_d$ , качание люльки стола – 5, вращение копировального ролика – 4 –  $n_p$ , закрепленного на неподвижной оси.

В представленной схеме наиболее сложной и ответственной за точность шлифования кулачков позицией является кулачек-копир – 2. Из-за того, что при шлифовании абразивный круг изнашивается, то по мере уменьшения его размеров шлифуемые кулачки – 1 также меняют размеры, поэтому расчеты профиля кулачка-копира производят для среднего диаметра круга, при котором погрешности на шлифуемых кулачках достигают минимума.

Традиционно изготовление кулачка-копира – 2 производится обратным копированием. При этом вместо шлифовального круга устанавливается металлический сегмент диска, с диаметром, равным среднему диаметру шлифовального круга, а вместо копировального ролика – 4 устанавливается шлифовальный круг с диаметром, равным диаметру этого ролика. Модельный кулачек (позиция – 1 на рис. 1), с помощью которого и производится обратное копирование, изготавливается вручную рабочим-лекальщиком.

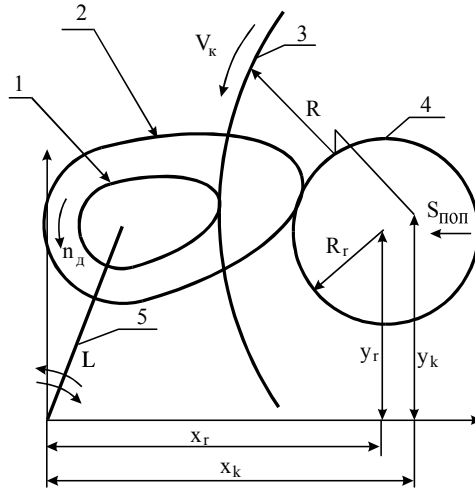


Рис. 1. Кинематическая схема копировально-шлифовального станка (мод. ХШЗ-01). 1 – шлифуемый кулачек; 2 – кулачек-копир; 3 – шлифовальный круг; 4 – копировальный ролик, 5 – качающаяся люлька стола;  $V_k$  – скорость шлифовального круга [м/с];  $n_d$  – скорость вращения детали [об./мин.];  $S_{\text{поп}}$  – поперечная подача шлифовальной бабки [мм/об]

Вся технологическая система СПИД при обратном копировании не бывает абсолютно жесткой, поэтому в профиль кулачка-копира вносятся размерные погрешности, которые в дальнейшем переносятся на шлифуемый кулачек (например распределительного вала). На станках с гидравлическим копированием вместо кулачков-копиров устанавливается исходная деталь, повторяющая профилем конечную деталь. С исходной деталью контактирует толкатель, имеющий кривизну, равную кривизне шлифовального круга. При синхронном вращении исходной и конечной деталей толкатель отклоняется или приближается к оси вращения исходной детали по закону, определяемому профилем кулачка на исходной детали. От перемещения толкателя осуществляется гидравлическое управление перемещением шлифовальной бабки. Станки с гидравлическим копированием считаются более точными, однако износ толкателя и исходной детали в данном случае намного интенсивнее, чем износ кулачков-копиров и роликов на станках с механическим копированием.

Современное развитие технологии изготовления изделий сложной формы в поперечном сечении идет в направлении использования уни-

версальных шлифовальных станков, оснащенных быстродействующими системами с числовым программным управлением (ЧПУ).

Станки с ЧПУ, на которых производится шлифовка профилей с криволинейным поперечным сечением (кулачек, квадрат, шестигранник, эксцентрик и т.д.) отличаются отсутствием каких либо копирующих устройств. В Украине в г. Лубны станкостроительный завод ОАО «Шлифверст» выпускает ряд моделей круглошлифовальных полуавтоматов высокой точности, которые предназначены для шлифования поверхностей сложного профиля в поперечном и продольном сечениях. Станки оснащены системой ЧПУ фирмы SIEMENS SINUMERIK-840De и имеет следующие движения (рис. 2).

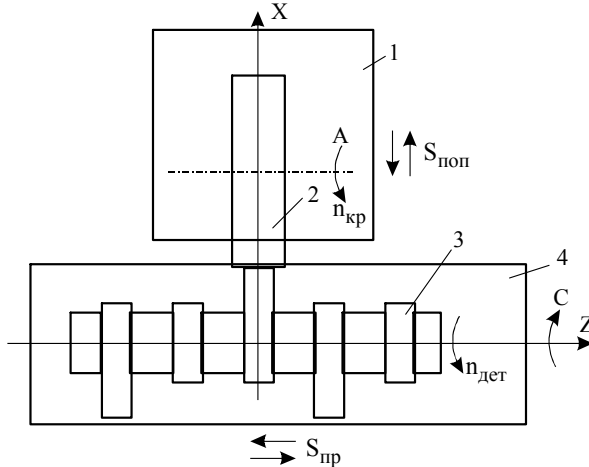


Рис. 2. Схема движений круглошлифовального полуавтомата мод. 3В130Ф4:  $S_{\text{поп}}$  – подача шлифовальной бабки;  $n_{\text{кр}}$  – вращение шлифовального круга;  $S_{\text{пр}}$  – продольная подача стола с деталью;  $n_{\text{дет}}$  – вращение детали; 1 – шлифовальная бабка; 2 – шлифовальный круг; 3 – деталь; 4 – рабочий стол

Продольное перемещение стола станка –  $S_{\text{пр}}$  производится синхронным электродвигателем с обратной связью по мощности зависящей от перемещаемой массы (стола, передней и задней бабок, детали). Крутящий момент на двигателе составляет 20 Н/м. На новых моделях шлифовальных станков устанавливаются линейные электродвигатели с силой тяги, зависящей от перемещаемой массы, силы трения, силы поперечного прижима шлифовального круга и требуемого ускорения.

Движение шлифовальной бабки –  $S_{\text{поп}}$  осуществляется цифровым линейным электродвигателем фирмы Siemens. Двигатель обеспечивает

ускорение шлифовальной бабки до  $1 \text{ м/с}^2$  и силу прижима шлифовального круга к детали до 300 Н. Схема линейного двигателя показана на рис. 3, где первичная, или активная, часть движется вдоль вторичной, или пассивной части. Вторичная часть представляет собой мощный статический магнит с местом для установки трубок охлаждения.



Рис. 3. Схема линейного двигателя для перемещения шлифовальной бабки станка

Первичная часть имеет встроенный радиатор для охлаждения и динамические магниты, управляемые приводом ЧПУ. При использовании этого типа двигателя не возникают погрешности из-за люфтов, которые имеются и увеличиваются, со временем, в винтовых парах при использовании круговых двигателей. Более того, несмотря на то, что на станках, где для перемещения шлифовальной бабки используется круговой двигатель, имеющий обратную связь при поддержке датчика линейного перемещения, в точках изменения направления движения возникают задержки, которые вносят погрешность в профиль кулачка т.к. вращение детали происходит без остановок.

Вращение детали –  $n_{дет}$  производится синхронным цифровым электродвигателем через планетарный редуктор высокой точности ( $\pm 2''$ ), позволяющий развивать крутящий момент до 250 Н/м.

Вращение шлифовального круга –  $n_{кр}$  производится от привода, позволяющего поддерживать постоянную периферическую скорость круга, независимо от уменьшения его диаметра в результате износа и правки, а также фиксировать угол поворота круга с точностью до  $0,001^\circ$ .

Система ЧПУ – Siemens Sinumerik 840De, позволяющая вести управление по 32 осям. На станке мод. 3В130Ф4 имеется 4 управляемые оси координат (рис. 2 шлифовальная бабка – ось X, стол – ось Z, вращение изделия – ось C и вращение шлифовального круга – ось A). Три оси X, Z и C интерполированы. Интерполяция может быть: линейной, круговой и кубическим сплайном – возможно подключение и других функций интерполяции.

Обычно заказчик выдает окончательный профиль детали не в формулах, описывающих его, а дискретно, точками расстояние, между которыми по углу поворота кулачка – 1–2 градуса. Поэтому, перед шлифованием необходимо произвести интерполяцию (сглаживание) профиля кривой, которая является основой для расчета скорости движения шлифовальной бабки и вращения детали в управляющей программе.

Одним из авторов [1, 2] разработан оригинальный метод интерполяции кривой шлифуемого профиля независимыми отрезками. Предложенный метод интерполяции хорошо работает в полярных координатах, когда профиль повторяется каждые  $360^\circ$ . При использовании интерполяции независимыми отрезками также возможно находить разрывы производных от нулевой производной до второй.

Исследование процессов автоматического управления шлифованием [3] позволили установить интегральный показатель, по которому можно оценивать как интенсивность процесса, так и качество обрабатываемых поверхностей. Таким показателем является *скорость снятия припуска*, которую целесообразно оценивать ее аналогом – длиной контакта шлифовального круга с деталью. Этот параметр не зависит от режима шлифования и определяется исключительно геометрическим взаимодействием исходной инструментальной поверхности ШК с поверхностью детали в пределах снимаемого припуска за 1 оборот детали. Для определения скорости снятия припуска, достаточно аналог умножить на ширину шлифования и на скорость перемещения режущей инструментальной поверхности по обрабатываемому контуру. Таким образом, скорость снятия припуска имеет размерность –  $\text{мм}^3/\text{с}$ . Скорость снятия припуска определяет не только производительность, но и температурно-силовые условия процесса шлифования. Поэтому для получения высокой точности (силовые нагрузки) и бесприжогового шлифования (температурные нагрузки) обработку необходимо вести при условии *сохранения постоянства скорости снятия припуска* в любой точке профиля кулачка.

При врезном шлифовании сложных по профилю в поперечном сечении изделий на каждом участке снятия припуска формируется различные значения аналога (длины контакта шлифовального круга с деталью). На приведенном профиле кулачка (рис. 4) показано, что в пределах одного его оборота шлифование может быть: круглым наружным, круглым внутренним, плоским и с переходом через точку С. В соответствии с этим для каждого случая шлифования будет и своя длина контакта круга с деталью (GH),(AB),(EF) и (CD). Так как ширина шлифования в рассматриваемом случае не зависит от профиля в

поперечном сеченні, то для виконання умов постійності швидкості зняття припуску необхідно для кожного участка профіля определять свою швидкість переміщення круга по оброблюваному контуру.

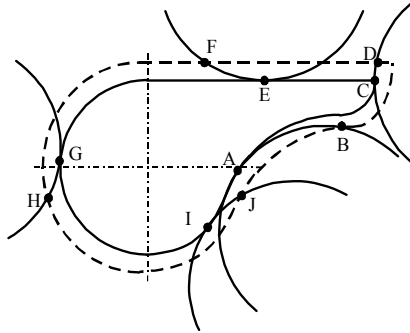


Рис. 4. Схема формування довжини контакту ШК з деталлю со складним профілем в поперечному сеченні при врезному шліфуванні

**Вывод.** Математическое решение сформулированной выше задачи позволяет написать управляющую программу для системы ЧПУ шлифовального станка, которое дает возможность производить шлифование сложных профилей с максимальной производительностью, с высокой точностью без появления прижогов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Яхненко В.М., Шамровский М.А. Интерполяция независимыми отрезками // Прикладна геометрія та інженерна графіка: Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Вип. 4. – Т. 15. – Мелітополь: ТДАТА 2002. – С. 85–89; С. 115.
2. Яхненко В.М., Шамровский М.А. Программная реализация метода интерполяции независимыми отрезками // Прикладна геометрія та інженерна графіка: Праці Таврійської державної агротехнічної академії – Вип. 4. – Т. 16. – Мелітополь: ТДАТА, 2002. – С. 73-78; С. 144.
3. Петраков Ю.В. Автоматичне управління процесом обробки матеріалів різанням: Навчальний посібник. – Київ: УкаНДІАТ, 2003. – 303 с.

ВНУКОВ Юрій Николаевич – доктор технічних наук, професор, проректор по науковій роботі Запорозького національного технічного університету.

Научные интересы:

– моделирование производственных процессов.

ШАМРОВСКИЙ М.А. (Открытое акционерное общество "Шлиф-верст" г. Лубны).

Научные интересы:

– моделирование производственных процессов.

E-mail: yvnukov@zntu.edu.ua

Подано 15.03.2006