

УДК 621.923.5

**КИНЕМАТИКА ТАНГЕНЦІАЛЬНОЇ ПОДАЧИ КРУГА ПРИ  
ШЛИФОВАНИИ ШЕЕК КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ**

*А.И. Акилов, канд. техн. наук;*

*А.У. Захаркин, канд. техн. наук;*

*Д.А. Кирюшко, студент*

*Сумский государственный университет, г. Сумы*

*Запропонований спосіб шліфування шийок великогабаритних колінчатих валів торцем шліфувального круга, що переміщується тангенціально поверхні шийки наполовину його діаметра. У вихідному положенні осі шийки і шліфувального круга перетинаються. При переміщенні круга до периферії (на рис. 1 знизу) уповільнено і в зворотному напрямку прискорено підвищується точність форми подовжнього перетину .*

*Предложен способ шлифования шеек коленчатых валов торцом шлифовального круга, перемещаемым тангенциально поверхности шейки наполовину его диаметра. В исходном положении оси шейки и шлифовального круга пересекаются. При перемещении круга к периферии (на рис. 1 внизу) замедленно и возврате в исходное положение ускоренно повышается точность формы продольного сечения.*

В процессе эксплуатации двигателей внутреннего сгорания, поршневых компрессорных и других аналогичных машин происходит износ шеек коленчатых валов. Коренные и шатунные шейки изнашиваются с потерей размеров, а также геометрической формы, что значительно затрудняет их ремонт. По данным Ленинградского научно-исследовательского института химического машиностроения, производившего анализ износостойкости шеек коленчатых валов тяжелых компрессорных машин путем учета динамики изменения их размеров в соответствии с записями в ремонтных журналах Черкасского ПО «Азот», Ровенского ПО «Азот», Новополоцкого объединения «Полимер» и др., износ шеек после 25–30 тыс. часов наработки колебался в пределах 0,13–0,48 мм при овальности 0,11–0,22 мм. У компрессоров базы М40 износ шеек перед капитальным ремонтом в некоторых случаях доходил до 0,6 мм.

В настоящее время на различных предприятиях Украины, производственных объединениях и газоперекачивающих станциях эксплуатируется большое количество компрессоров, изготовленных в разное время различными компрессорными заводами. В то же время только 2,5% компрессоров ремонтируется в специализированных условиях. Остальные проходят ремонт в ремонтно-механических цехах (РМЦ) предприятий, эксплуатирующих это оборудование. Сложная конфигурация, неравномерность конструкции и недостаточная жёсткость коленчатых валов создают дополнительные трудности при их механической обработке и ремонте. По существующей в РМЦ

технологии, коренные шейки протачивают на токарных станках с последующим полированием абразивными лентами. Шатунные шейки после замера геометрии подвергают опиловке напильниками, притирке и полированию. Под отремонтированную шейку изготавливают индивидуальные вкладыши подшипника. Очевидно, что существующая технология трудоемкая, требует высокой квалификации рабочих и не обеспечивает необходимого качества ремонта ни по точности формы шеек, ни по взаимному расположению поверхностей, ни по их шероховатости.

На кафедре «Технология машиностроения, станки и инструменты» СумГУ разработана технология ремонта коленчатых валов тяжелых компрессоров, предусматривающая перешлифовку коренных и шатунных шеек с последующим суперфинишированием абразивными брусками [2]. Шлифование производится торцом круга с периодическим перемещением его в тангенциальном по отношению к поперечному сечению шейки направлении на половину диаметра круга (см. рис. 1). Диаметр круга выбирается равным длине шейки.

При многократном перемещении круга подвергается обработке вся поверхность шейки. Шлифование заканчивается при достижении требуемого размера. Восстановление круглости шейки определяется в производственных условиях образованием сплошного потока искр.

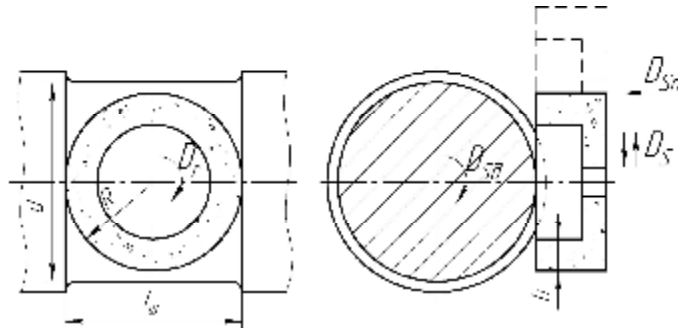


Рисунок 1 – Схема шлифования шейки вала торцом круга

Одной из основных причин возникновения погрешности формы в продольном сечении шейки (отклонение от цилиндричности) является неравномерность времени контакта инструмента с поверхностью шейки вдоль образующей. Распределение времени контакта в долях периода  $t/T$  (где  $t$  – текущее время обработки,  $T$  – период тангенциального перемещения круга) показано на рис. 2. Схема взаимодействия шлифовального круга и обрабатываемой поверхности при равномерном тангенциальном перемещении показана на рис. 3.

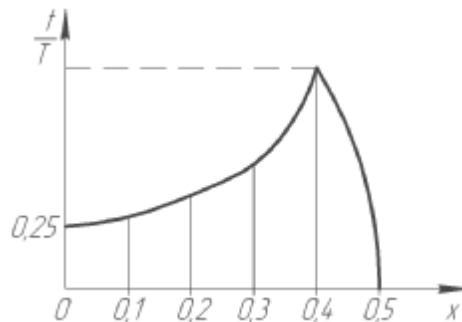


Рисунок 2 – Распределение времени контакта шлифовального круга вдоль оси шейки при равномерном перемещении

Пусть  $y(t)$  — уравнение движения шлифовального круга в четвертой части периода. Время шлифования шейки в сечении  $I-I$  соответствует времени движения круга на пути из точки  $A'$  в точку  $A''$ , этим точкам соответствует величина смещения  $y_1$ ,  $0 \leq y_1 \leq \sqrt{R^2 - x_1^2}$ . Для вычисления времени шлифования  $Z$  цилиндра в сечении  $I-I$  возьмем обратную функцию  $t(y)$ . Тогда  $Z = t(y_{A''}) - t(y_{A'})$ , где значения  $y$  равны крайним значениям в точках  $A'$  и  $A''$ . Эта формула имеет место для  $R - h \leq x \leq R$ . Значениям  $y$  сопоставим точки на внешней и внутренней окружностях  $y = \sqrt{R^2 - x^2}$ ,  $y = \sqrt{(R - h)^2 - x^2}$  и перейдем к вычислению крайних значений  $y_{B'}$  и  $y_{B''}$  на интервалах изменения  $x_0 \leq x_2 \leq R - h$ , где  $x_0$  определяется наибольшим удалением  $y_0$  в периодическом движении шлифовального круга. Время  $Z$  для различных сечений цилиндра определим на интервалах изменения:

$$R - h \leq x_1 \leq R, \quad Z(x) = t(\sqrt{R^2 - x^2}); \quad (1)$$

$$\sqrt{R^2 - y_0^2} \leq x_2 \leq R - h, \quad Z(x) = t(\sqrt{R^2 - x^2}) - t(\sqrt{(R - h)^2 - x^2}); \quad (2)$$

$$0 \leq x_0 \leq \sqrt{R^2 - h^2}, \quad Z(x) = t(y_0) - t(\sqrt{(R - h)^2 - x^2}), \quad (3)$$

где  $t(y_0) = T$  — время перемещения круга в одном направлении до конечного положения.

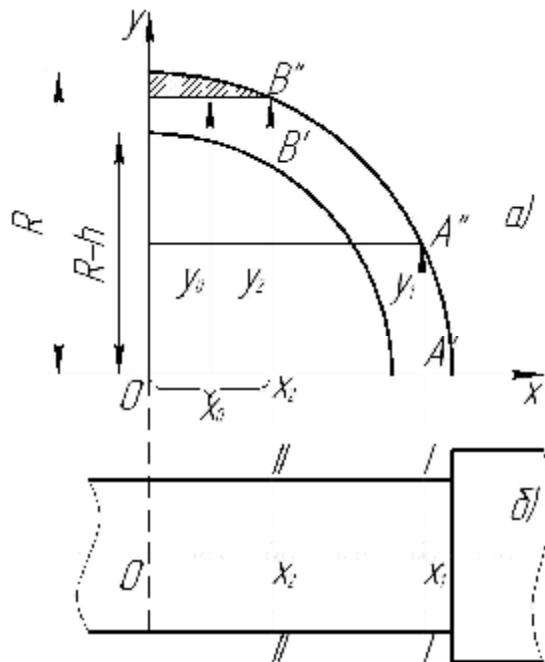


Рисунок 3 – Схема взаимодействия шлифовального круга и детали при тангенциальной подаче

Анализируя полученные зависимости, можно сделать вывод, что уравнения (1) и (2) не могут одновременно удовлетворять условию постоянства времени контакта, т. е. нельзя выбрать функцию  $t(y)$  таким образом, чтобы и в первом, и во втором случаях она удовлетворяла условию  $Z=const$ . Интервал (2) является наиболее протяженным в рассматриваемом случае, поэтому условие  $Z=const$  необходимо в первую очередь выдержать для уравнения  $t(\sqrt{R^2 - x^2}) - t(\sqrt{(R-h)^2 - x^2}) = const$ .

Заменяя  $R^2 - x^2 = \xi$ ,  $2Rh - h^2 = a$ ,  $t(\sqrt{\xi}) = f(\xi)$ , получим  $f(\xi) - f(\xi - a) = const$ . Для монотонных функций  $f(\xi)$  условие  $f(\xi) - f(\xi - a) = const$  возможно лишь в случае линейной зависимости, которая в общем случае имеет вид  $f(\xi) = A\xi + B$  или

$$t = Ay^2 + B. \quad (4)$$

Определяем значения постоянных членов  $A$  и  $B$ , исходя из краевых условий.

Пусть начало координат соответствует положению круга, когда его ось пересекается с осью вращения детали под углом  $90^\circ$ . Тогда краевые условия можно выразить через соотношения:

$$\text{при } t = 0 \quad y = 0,$$

$$\text{при } t = T \quad y = R,$$

здесь  $T$  – время перемещения круга до конечного положения. Подставляя в выражение (4), получим из первого условия  $0 = A \cdot 0 + B$ . Но  $t = 0$  только при условии, что  $B = 0$ . Из второго условия  $T = A \cdot R^2$ , тогда  $A = T/R^2$ . Подставляя  $A$  и  $B$  в уравнение (4), получим:  $t = T/R^2 \cdot y^2$ .

Принимая  $t/T = \tau$ , получим  $\tau = y^2/R^2$ . При этом время контакта торца шлифовального круга с поверхностью шейки вдоль её образующей распределяется по закону, представленному на рис. 4.

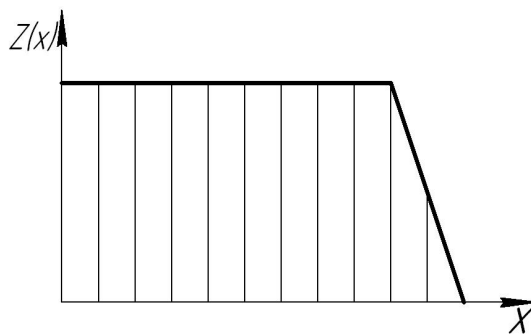


Рисунок 4 – Распределение времени взаимодействия шлифовального круга и детали вдоль образующей шейки

Из графика видно, что для выравнивания слоя снимаемого металла подачу шлифовального круга необходимо производить не менее чем на половину диаметра, т. е. принимать значение  $y_0 \leq R$ . Причем перемещение шлифовального круга от центра к периферии (на рис. 1 вниз) должно осуществляться замедленно по зависимости  $y = R\sqrt{\tau}$ , а возврат в исходное положение ускоренно по симметричной кривой

$y = R\sqrt{2-\tau}$  [1]. Здесь  $\tau = t/T$  – время в долях периода изменяется от 0 до 1 при удалении центра круга от зоны обработки и от 1 до 2 при приближении.

Полученный расчётным путём закон тангенциального перемещения шлифовального круга нелинейный, поэтому он аппроксимировался кусочно-линейной функцией. Изменение скорости тангенциальной подачи круга осуществлялось тремя дросселями, установленными в системе питания гидропривода, два из которых последовательно закрывались при движении шлифовального круга вниз и открывались при движении в обратном направлении.

Шлифовальное и суперфинишное устройства монтируются на раскрываемых скобах, которые имеют роликовые опоры по галтелям обрабатываемой шейки, не подверженным износу в процессе эксплуатации. Устройства устанавливаются на суппорт токарно-винторезного станка.

### ВЫВОДЫ

Закон изменения тангенциальной подачи шлифовального круга обеспечивает заданную точность формы шеек коленчатых валов. Он может быть реализован в условиях ремонтного производства в ремонтно-механических цехах или на станциях технического обслуживания.

### SUMMARY

#### KINEMATICS OF TANGENTIAL GIVING OF THE CIRCLE AT GRINDING OF NECKS OF CRANKED SHAFT

*A.I. Akilov, A.U. Zakharkin, D.A. Kiriushko*  
Sumy State University

*The way of grinding necks of large-sized crank shaft by an end face of a grinding circle is offered. This method is recommended to be used in repair manufacturing. The law of moving a circle by calculating way is proved. To increase the accuracy of the neck's form in longitudinal section, the circle should be moved slowly from the center of neck to the periphery and rapidly in the opposite direction.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авторское свидетельство на изобретение №1399080 В24в1/00 БИ №20 1988.
2. Падалка Р.В., Акилов А.И. Суперфинишная головка с автоматическим управлением амплитудой колебания брусков // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2007. – №7.

*Поступила в редакцию 31 марта 2009 г.*