

УДК 621.924.6.115; 621.833

**Чекалов А. Н., Мосягин Н. А., Стародубов С. Ю., Дрыгула Д. О.**

## **ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ ЗУБЬЕВ КОЛЁС**

В настоящее время основным способом окончательной обработки зубьев высокоточных колёс является зубошлифование [1]. В связи с этим, задача повышения качества, точности и производительности зубошлифования остаётся актуальной.

Анализ исследований и публикаций, посвящённых этой проблеме [2, 3, 4], показывает, что работа по повышению производительности зубошлифования ведётся в различных направлениях. Сокращение времени зубошлифования может быть достигнуто: за счёт обработки эвольвентного профиля периферией круга большого диаметра без его перемещения вдоль оси заготовки; путём рационального отвода шлифовальных кругов из зоны обработки; сокращением времени холостого хода; путём обеспечения равенства припусков на обработку [5, 6, 7, 8]. Основным способом сокращения времени зубошлифования является уменьшение длины хода обкатки. При обработке профиля двумя тарельчатыми кругами для этого были разработаны: угловой, нулевой и «К»-методы. Сокращение длины хода обкатки при шлифовании косозубых зубчатых колёс также можно достигнуть путём смещения зоны обкатки шлифовальных кругов относительно оси изделия [9].

Анализ различных методов зубошлифования и способов повышения их производительности позволяет сделать следующие выводы.

В станках с механизмами винтообразования (типа «MAAG») получение винтовой линии зуба осуществляется за счёт перемещения стойки лент и дополнительного поворота обкатного ролика. При этом изменяется длина ветвей лент, что сказывается на точности, производительности и динамике обработки.

В случае получения винтовой линии за счёт поворота направляющей шлифовальной бабки на угол наклона зуба (станки типа KOLB) – обеспечивается более высокая точность винтовой линии, но, в свою очередь, увеличивается ход обкатки, что ведёт к снижению производительности зубошлифования.

Рассмотренные схемы имеют механизм спиралеобразования, входящий в состав механизма обкатки. Недостатками данных механизмов являются: малая производительность вследствие увеличения хода обкатки из-за дополнительного доворота обкатного барабана для обеспечения винтовой линии, что увеличивает время обкатки, а также внесение механизмами спиралеобразования дополнительных погрешностей в процессе обработки зубчатых колёс.

Целью работы является решение проблемы сокращения времени зубошлифования и повышения точности шлифованных зубчатых колёс, определение степени взаимного влияния конструкции механизмов обкатки и спиралеобразования на эти показатели, а также задачи компенсации возникающих при настройке погрешностей. Необходимость повышения производительности зубошлифования, в том числе и шлифования косозубых колёс, является актуальной задачей и требует исследования путей решения этой проблемы.

С целью уменьшения длины хода обкатки предложены схемы, в которых винтовая линия зуба получается за счёт поворота направляющих, по которым движется шлифовальная бабка, а специальный механизм спиралеобразования отсутствует. В этих станках сокращение хода обкатки возможно как путём дополнительного поворота обкатного ролика со шлифуемым зубчатым колесом (рис. 1, а) [5], так и за счёт поворота шлифовальных кругов вместе с зоной шлифования (рис. 1, б; рис. 2).

На схеме (рис. 1, а) показан механизм сокращения длины хода обкатки путём дополнительного поворота, сообщаемого обрабатываемому зубчатому колесу. При этом каретка 6, зубчатое колесо 4 и механизмы обкатки и дополнительного поворота зубчатого колеса

поворачиваются на угол наклона винтовой линии зуба. Каретке обкатки 3, помимо основного движения, сообщается дополнительное через каретку 5, связанную посредством тяги с поворотным механизмом 9, направляющая которого повернута на угол  $\gamma_\beta = \beta$ .

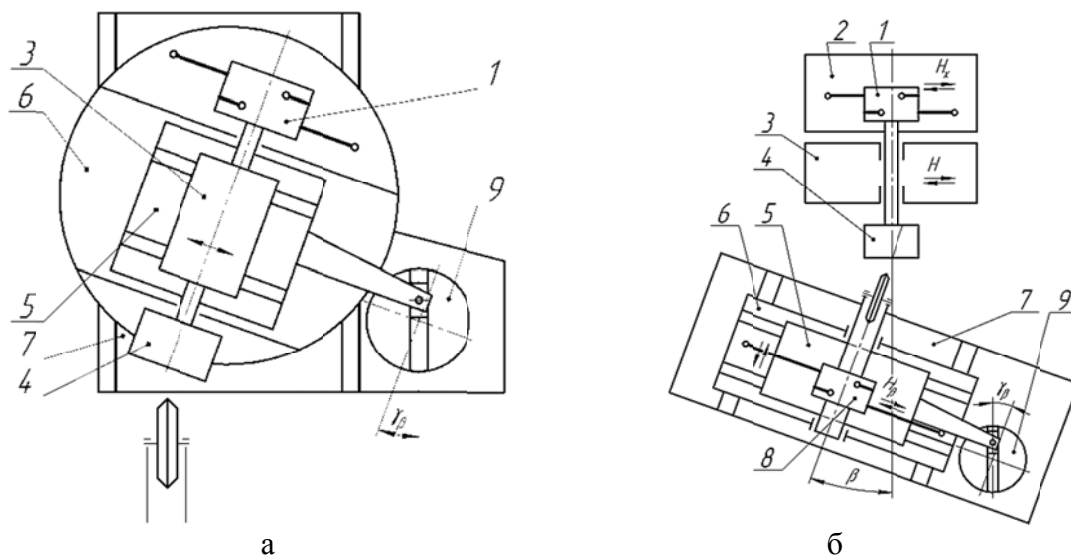


Рис. 1. Схемы сокращения длины хода обкатки при шлифовании зубчатых колёс

Достоинством данного механизма является возможность сокращения длины хода обкатки и короткие кинематические цепи. Недостатком – кинематическая связь механизма обкатки и механизма дополнительного поворота, что снижает точность обработки. В предложенной схеме (рис. 1, б) механизм обкатки и механизм наклона шлифовальной бабки не связаны кинематически. Настройка угла наклона винтовой линии зуба производится путём разворота поворотного стола 7, по направляющим которого перемещается каретка 6, по которой, в свою очередь, перемещается дополнительная каретка 5 с барабаном 8 дополнительного поворота, связанного гибкими лентами с кареткой 6. Дополнительная каретка 5 посредством тяги связана с направляющими поворотного механизма 9.

При обработке зубчатого колеса 4, механизм обкатки, состоящий из обкатного ролика 1 и каретки обкатки 3, обеспечивают рабочее движение обкатки, т.е. поворот заготовки на угол раскатки. В свою очередь, каретка 6 перемещается по направляющим поворотного стола 7 вдоль винтовой линии зуба. При этом ползун тяги дополнительной каретки 5 начинает перемещаться по направляющим поворотного механизма 9, настроенным на угол  $\gamma_\beta$  и через тягу смещает дополнительную каретку (движение  $H_\beta$ ), что вызывает поворот барабана 8 и, соответственно, связанного с ним шлифовального круга (кругов).

Достоинством данного механизма является возможность уменьшения длины хода обкатки и короткие кинематические цепи, что повышает жёсткость станка и, соответственно, точность обработки. Недостатком является необходимость весьма точной его настройки перед работой и ограничение допустимого угла  $\gamma_\beta$ .

С целью расширения диапазона углов наклона винтовой линии  $\beta$  зуба шлифуемых колёс предложены схемы, где это выполняется за счёт установки между дополнительной кареткой и поворотным механизмом масштабного рычага (рис. 2, а, б).

Настройка механизма сокращения длины хода обкатки заключается в нахождении величины необходимого угла поворота шлифовальной бабки относительно шлифуемого зубчатого колеса, при котором обеспечивается максимальное сокращение длины хода обкатки.

Определение параметров настройки механизмов сокращения длины хода обкатки при шлифовании косозубых зубчатых колёс выполняем в соответствии с расчётными схемами, показанными на рис. 2.

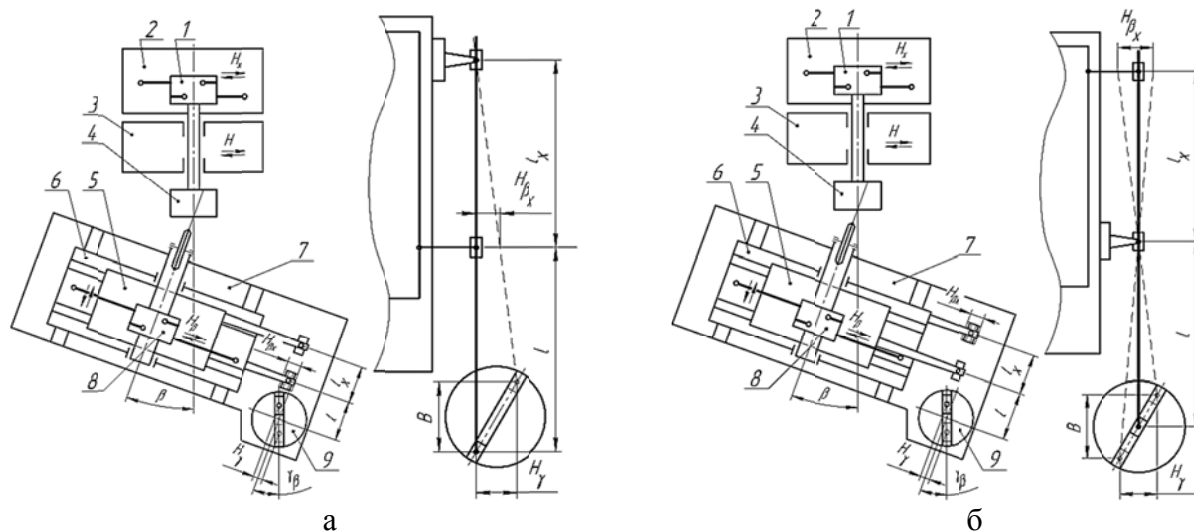


Рис. 2. Схемы механизмов сокращения длины хода обкатки с масштабным рычагом

Смещение  $H_{\beta}$ , необходимое для компенсации увеличения длины хода, приведенное к шлифуемому колесу, будет равно:

$$H_{\beta} = B \cdot \operatorname{tg} \beta_{\text{ш}}, \quad (1)$$

где  $B$  – ширина венца шлифуемого зубчатого колеса.

Для механизма, изображённого на рис. 1, а, угол наклона поворотной направляющей синусного механизма  $\beta_x$  будет равен углу наклона винтовой линии зуба  $\beta_{\text{ш}}$ .

Для механизма, изображённого на рис. 1, б, необходимое смещение будет равно:

$$H_{\beta_x} = \frac{D_{\text{б}}}{d_{\text{ш}}} B \cdot \operatorname{tg} \beta_{\text{ш}}. \quad (2)$$

Угол  $\gamma_{\beta}$  установки поворотной направляющей поворотного механизма находится из условия:

$$H_{\gamma} = \frac{D_{\text{б}}}{d_{\text{ш}}} \cdot \operatorname{tg} \beta_{\text{ш}}. \quad (3)$$

Для схемы с рычагом первого рода (рис. 2, б):

$$\frac{H_{\beta_x}}{H_{\gamma}} = \frac{l_x}{l}, \text{ тогда } H_{\gamma} = \frac{D_{\text{б}} \cdot l \cdot H_{\beta}}{d_{\text{ш}} \cdot l_x}, \quad (4)$$

где  $H_{\gamma}$  – поперечный ход ползуна поворотного механизма.

Для схемы на рис. 2, а угол наклона направляющих поворотного механизма определяется из зависимости:

$$\operatorname{tg} \gamma_{\beta} = \frac{H_{\gamma}}{B} = \frac{D_{\text{б}}}{d_{\text{ш}}} \cdot \frac{l}{l_x} \cdot \operatorname{tg} \beta_{\text{ш}}. \quad (5)$$

Для схемы, приведённой на рис. 2, а:

$$\frac{H_{\beta_x}}{H_\gamma} = \frac{l_x}{l_x + l}$$

Ход  $H_\gamma$  ползуна поворотного механизма будет равен:

$$H_\gamma = \frac{D_6 \cdot H_\beta \cdot (l_x + l)}{d_{ш} \cdot l_x} \quad (6)$$

Для схемы (рис. 2, б) угол поворота направляющих поворотного механизма находится из зависимости:

$$\operatorname{tg} \gamma_\beta = \frac{H_\gamma}{B} = \frac{D_6}{d_{ш}} \cdot \frac{(l_x + l)}{l_x} \cdot \operatorname{tg} \beta_{ш} \quad (7)$$

Для механизма по схеме, представленной на рис. 1, б, зависимость угла  $\gamma_\beta$  установки направляющих поворотного механизма от угла наклона винтовой линии зуба видна из номограммы (рис. 3). Как видно из рис. 3, эта схема целесообразна для случаев, когда диаметр барабана меньше диаметра шлифуемого колеса.

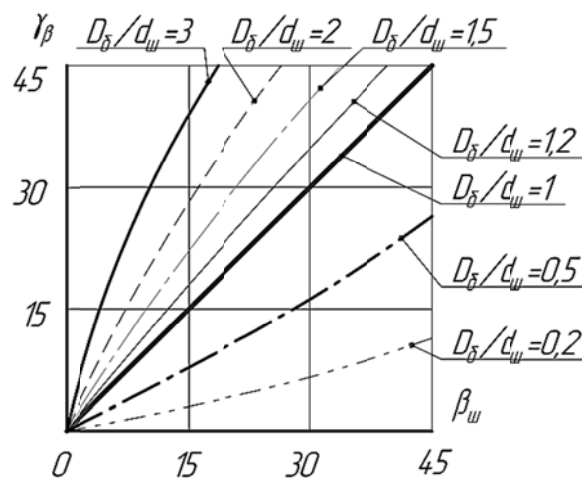


Рис. 3. Зависимость угла установки направляющих поворотного механизма от угла наклона винтовой линии зуба

В рассмотренных схемах на точность угла наклона винтовой линии зуба оказывает влияние точность диаметра производственной окружности  $d_{ш}$  изделия, который отличается от фактически настроенного на некоторую величину  $2f_{шр}$ . Это вызывает равномерное отклонение угла наклона шлифовальных кругов  $\Delta\gamma_\beta$ . Указанная ошибка может быть исправлена за счёт изменения установленного угла  $\gamma_{\beta_x}$  направляющих поворотного механизма на некоторую величину  $f\gamma_{вх}$ , которая для схемы без рычага будет равна:

$$f\gamma_{вх} = \operatorname{arctg} \left( \frac{D_6}{d_{ш} \pm 2f_{шр}} \cdot \operatorname{tg} \beta_{ш} \right) - \gamma_\beta \quad (8)$$

Для схемы с рычагом первого рода (рис. 2, б):

$$f\gamma_{\text{вх}} = \arctg\left(\frac{D_6}{d_{\text{ш}} \pm 2f_{\text{шг}}} \cdot \frac{l}{l_x} \cdot \text{tg } \beta_{\text{ш}}\right) - \gamma_{\beta}. \quad (9)$$

Для схемы с рычагом второго рода (рис. 2, а):

$$f\gamma_{\text{вх}} = \arctg\left(\frac{D_6}{d_{\text{ш}} \pm 2f_{\text{шг}}} \cdot \frac{l_x + l}{l_x} \cdot \text{tg } \beta_{\text{ш}}\right) - \gamma_{\beta}. \quad (10)$$

Для исправления ошибки в случае увеличения диаметра производственной окружности угол  $\gamma_{\beta}$  следует увеличить, а при уменьшении – уменьшить на расчётную величину.

Как видно из зависимостей (3, 5, 7, 8, 9, 10), при одинаковых настройках  $d_{\text{ш}}/D$  и погрешностях  $2f_{\text{шг}}$  требуемая поправка  $f\gamma_{\text{вх}}$  установки направляющих механизма сокращения длины хода обкатки в каждой из рассматриваемых схем будет различной и зависящей от соотношения  $d_{\text{ш}}/D$  для схемы без рычага, а для схем с рычагом и от соотношения плеч рычага.

## ВЫВОДЫ

Полученные уравнения настройки и исправления возможных погрешностей направления винтовой линии зуба позволяют дать анализ причин их возникновения и осуществить исправление путём поднастройки. В дальнейшем необходимо более полное исследование кинематических и динамических характеристик, а также разработка рекомендаций по проектированию и эксплуатации механизмов сокращения хода обкатки при шлифовании зубчатых колёс.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калашников А. С. *Технология изготовления зубчатых колёс* / А. С. Калашников. – М. : Машиностроение, 2004. – 480 с., ил.
2. Макаров В. М. *Обеспечение точности профильного шлифования винтовых зубьев крупномодульных цилиндрических колёс на основе имитационного моделирования* : автореф. дис. на соиск. уч. ст. д-ра техн. наук / В. М. Макаров. – Саратов, 2010. – 35 с.
3. Макаров В. М. *Направленное формирование характеристик точности зубошлифовальных станков* / В. М. Макаров // СТИН. – 2005. – № 10. – С. 3–6.
4. *Расчёт динамических характеристик механизмов обката зубошлифовальных станков* / А. Н. Чекалов, Н. А. Мосягин, С. Ю. Стародубов, А. А. Омельченко // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – 2007. – Вып. 23. – С. 210–216
5. А. с. 454969 СССР, В23P5/08, В23P1/02. *Способ шлифования зубчатых колёс* / Л. П. Карабчиевский, В. К. Ермолаев, Г. М. Фатеев, Л. А. Воскресенский, А. А. Аврамов (СССР). – № 1443308/25-08 ; заявл. 04.06.70; опубл. 30.12.74, Бюл. № 48. – 3 с.
6. А. с. 833381 СССР В 23P5/02. *Способ шлифования зубьев* / Н. Т. Трушакин, Л. П. Карабчиевский, А. А. Аврамов, Г. И. Коруков, Г. М. Фатеев (СССР). – № 2635882/25-08 ; заявл. 30.06.78 ; опубл. 30.05.81, Бюл. № 20. – 2 с.
7. А. с. 1028445 СССР В23P1/02. *Способ зубо- и шлицешлифования* / Э. Н. Перов, З. М. Перова (СССР). – № 3327240/25-08 ; заявл. 29.07.81 ; опубл. 15.07.83, Бюл. № 26. – 2 с.
8. Pat. 2641554 (BDR) *Walzverfahren und Vorrichtung zum Schleifen zylindrischer Zahnradler* / Maag-Zahnradler/Erfinder: Fivian, D.A. Of. 23.03.78.
9. А. с. 1585098 СССР В23P23/00 В 23P5/00. *Механизм обката* / Н. А. Мосягин, А. Н. Чекалов (СССР). – № 4283239/31-08 ; заявл. 13.07.87 ; опубл. 15.08.90, Бюл. № 30. – 3 с.