

*Представлені прогресивні режими круглого шліфування важкооброблюваних матеріалів, які розроблені з урахуванням критеріїв прояву адсорбційно-пластифікувального ефекту. Обробка різних груп ВОМ забезпечує підвищення продуктивності, відсутність шліфувальних дефектів та формування зміцненого шару*

*Ключові слова: режими різання, безцентрове шліфування*

*Представлены прогрессивные режимы бесцентрового шлифования труднообрабатываемых материалов, разработанные с учетом критериев проявления адсорбционно-пластифицирующего эффекта. Обработка различных групп ТОМ обеспечивает повышение производительности, отсутствие шлифовочных дефектов и формирование упрочненного слоя*

*Ключевые слова: режимы резания, бесцентровое шлифование*

*The article presents the cutting condition of cylindrical grinding of hard-to-machining materials tailored to the criteria of manifestation of the adsorption-plasticizing effect. The processing different groups of hard-to-machining materials provide improved performance, guaranteed lack of grinding defects and the formation of the hardened layer*

*Key words: cutting condition, centreless grinding*

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЕСЦЕНТРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ ТРУДНО- ОБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Н. В. Сурду**

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник\*

Контактный тел.: (057) 394-47-64

E-mail: surdu@ipmach.kharkov.ua

**А. В. Телегин**

Кандидат технических наук, научный сотрудник\*

Контактный тел.: (057) 394-47-64

E-mail: telegin@ipmach.kharkov.ua

\*Отдел общетехнических исследований в энергетике

Институт проблем машиностроения им. А.Н.

Подгорного НАН Украины

ул. Дм. Пожарского, 2/10, г. Харьков, Украина, 61046

Благодаря высокой производительности, бесцентровые круглошлифовальные станки используют в разнообразных отраслях промышленности. При бесцентровом шлифовании базирование выполняется по обрабатываемой поверхности детали. В существующих станках, в процессе снятия припуска, при продольном шлифовании цилиндрических поверхностей, деталь, которая перемещается в осевом направлении, вращается в рабочем пространстве. Ее обработка ведется со скрещивающимися осями ведущего и шлифовального кругов.

При обработке данным способом шлифовальный круг имеет рабочую коническую и калибрующую цилиндрическую части. Так как положение оси заготовки отличается от положения оси детали на калибрующем участке, то деталь получает дополнительное смещение к шлифовальному кругу. В результате деталь получает погрешность обработки в виде седлообразности.

Кроме того, бесцентровое шлифование деталей, изготавливаемых из высокопрочных, жаропрочных и жаростойких сталей и сплавов, относящихся к группе труднообрабатываемых материалов (ТОМ), существенно затруднено из-за высокой теплонапряженности зоны резания при бесцентровом шлифо-

вании и технологических особенностей данных материалов. К таким особенностям следует отнести, прежде всего, их высокую склонность к возникновению шлифовальных прижогов и трещин. Также обработка материалов на хромоникелевой и титановой основе корундовыми абразивными инструментами осложнена высокой засаливаемостью режущей поверхности со всеми недостатками, свойственными этому явлению.

Поэтому к шлифованию деталей из указанных материалов предъявляются повышенные требования, прежде всего к надежности методов обеспечения качества обработки.

С другой стороны существует широкая номенклатура быстроизнашивающихся деталей металлургического оборудования для производства труб, обработка которых способом круглого наружного шлифования малоэффективна.

Так при производстве прошивных игл, изготавливаемых из жаростойких сталей необходимо обрабатывать детали малой жесткости длиной 900...1400 мм диаметром от 25 мм. При этом на обработанной поверхности недопустимы шлифовальные дефекты, вызванные тепловым фактором, которые существенно снижают ресурс изделия.

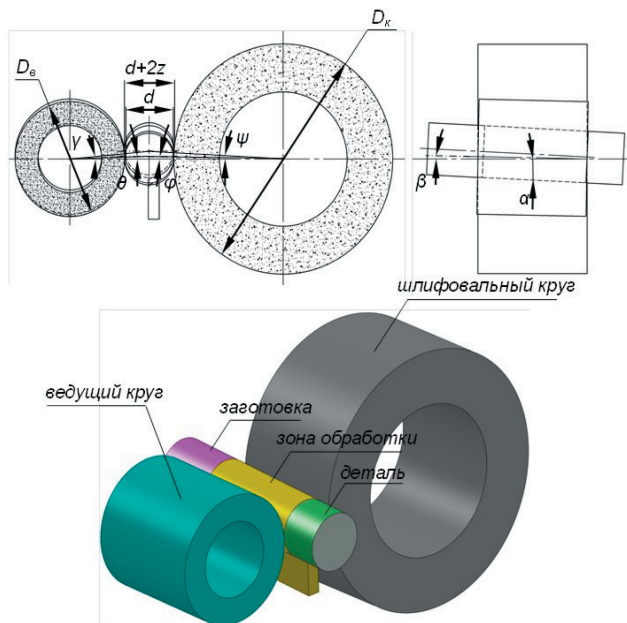


Рис. 1. Схема бесцентрового шлифования со скрещивающимися осями инструмента и детали

Для предотвращения геометрической погрешности обработки был разработан способ бесцентрового шлифования цилиндрических деталей [1 - 4] при котором ось заготовки перемещается вдоль прямой, которая совпадает с номинальным положением детали на калибрующем участке.

Дополнительные смещения детали к шлифовальному кругу отсутствуют, что исключает возникновение подреза профиля детали.

Усовершенствование процесса формообразования происходит за счет изменения схемы обработки таким образом, что инструментальные поверхности шлифовального и ведущего кругов и опорного ножа образуются профилем комбинированной поверхности вращения, которая охватывает параметры заготовки и детали.

Реализация данного способа возможна на станках с поворотным ведущим кругом при скрещивании осей шлифовального круга, детали и ведущего круга (рис. 1) и позволяет вести обработку с величиной припуска значительно большей, чем при традиционной схеме бесцентрового круглого шлифования.

Для повышения эффективности и надежного обеспечения качества абразивной обработки деталей из ТОМ в ИПМаш НАН Украины разработаны научные основы и способы усовершенствования кинематики процессов формообразования, направленные на обеспечения условий для снижения энергоемкости процесса стружкообразования за счет проявления адсорбционно-пластифицирующего эффекта (АПЭ) [5-12].

АПЭ проявляется практически повсеместно и оказывает значительное влияние на энергетические и силовые параметры процесса деформирования и разрушения металлов [13, 14].

В работе [7] были разработаны критериальные зависимости, выполнение которых однозначно и надежно обеспечивает условия проявления АПЭ при любом механическом процессе, основанном на пластическом

деформировании и разрушении металлов. Таких критериев два:

1. Промежуток времени  $\Delta\tau_p$  между последовательным съемом стружки с одного и того же участка обрабатываемой поверхности не должен быть меньше, чем латентный период  $\Delta\tau_x$  времени развития АПЭ, т.е.

$$\Delta\tau_p / \Delta\tau_x \geq 1. \tag{1}$$

2. Количество атомов (молекул)  $\Omega_k$  среды, которая подводится в контактную зону к ювенильным участкам поверхности, должно быть достаточным для того, чтобы осуществилась полномасштабная адсорбция и образовался адсорбционный слой со степенью покрытия  $\theta = 1$ . Аналитически этот критерий можно представить в виде

$$\Omega_k / \Omega_{ад} \geq P, \tag{2}$$

где  $\Omega_{ад}$  – количество атомов (молекул) в адсорбционном слое,  $P \gg 1$ .

В работе [8] было также установлено, что латентный период  $\Delta\tau_x$  времени развития АПЭ имеет порядок  $10^{-2}$  с. При традиционных режимах шлифования промежуток времени между последовательными актами съема стружки с одного и того же участка поверхности  $\Delta\tau_x$  не превышает  $10^{-5} \dots 10^{-4}$  с. Этого времени недостаточно для осуществления адсорбционных процессов в достаточной степени для образования смазывающего слоя и проявления АПЭ. Таким образом, при известных режимах шлифования критериальные требования (1) и (2) чаще всего не выполняются.

Из анализа кинематики процесса абразивного резания материалов следует, что, для увеличения промежутка времени  $(\Delta\tau_p)_i$  взаимодействия компонентов СОТС с ювенильной поверхностью, вскрываемой режущим зерном, необходимо установить такое соотношение между скоростью круга  $V_k$  и скоростью вращения изделия  $V_d$ , при котором выполняется условие:

$$\frac{(l_p - l_k) \cdot V_d}{l_k \cdot V_k} \geq 1 \tag{3}$$

где  $l_p$  – расстояние между режущими зёрнами;  $l_k$  – длина дуги контакта;  $V_d$  – скорость вращения детали;  $V_k$  – скорость вращения круга.

Выполнение этого условия означает, что линейная скорость вращения обрабатываемой поверхности изделия устанавливается такой, что, за промежуток времени  $(\Delta\tau_p)_i$ , между выходом из зоны контакта режущего зерна и входом в зону следующего режущего зерна, находящегося в той же плоскости вращения, обрабатываемая поверхность изделия переместится и станет в такое положение, при котором точка выхода из зоны контакта режущего зерна станет точкой входа в зону контакта следующего режущего зерна.

В этом случае, ювенильная поверхность, образованная в результате снятия стружки режущим зерном уходит из зоны контакта с абразивным ин-

струментом, и снова войдет в контактную зону только после полного оборота обрабатываемого изделия. Тем самым, промежуток времени  $(\Delta\tau_p)_i$  между двумя последовательными актами съема стружки с одного и того же участка обрабатываемой поверхности увеличивается до величины равной времени одного оборота детали. В результате этого с одной стороны, увеличивается время взаимодействия вскрываемой ювенильной поверхности с компонентами СОТС, а с другой стороны, облегчается их доступ к этой поверхности.

Из вышесказанного следует, что, при прочих равных условиях, каждому конкретному значению скорости круга  $V_k$  и поперечной подаче  $S_{поп}$ , соответствует конкретное (оптимальное) значение линейной скорости  $V_d$  вращения обрабатываемой поверхности изделия, при котором  $\Delta\tau_p$  максимально.

Аналитическое определение оптимального значения скорости вращения изделия сводится к решению уравнения (3) относительно  $V_d$ .

Поскольку в этом уравнении параметр  $l_k$  зависит от  $V_d$  и  $S_{поп}$ , то выразим величину  $l_k$  следующим образом:

$$l_k = 2 \cdot \sqrt{\frac{D_k \cdot d_d \cdot t}{D_k + d_d}} = \sqrt{\frac{4A \cdot D_k \cdot d_d^2 \cdot S_{поп}}{(D_k + d_d) \cdot V_d}} \quad (4)$$

где  $d_d$  – диаметр обрабатываемого изделия;  $D_k$  – диаметр абразивного круга;  $t$  – глубина шлифования.

После подстановки (4) в уравнение (3) и соответствующих преобразований получим кубическое уравнение вида:

$$\frac{l_p^2 (D_k + d_d)}{4\pi \cdot D_k \cdot d_d^2 \cdot S_{поп}} \cdot V_d^3 - V_d^2 - 2V_k \cdot V_d - V_k^2 = 0 \quad (5)$$

Решение этого уравнения однозначно определяет режимы бесцентрового наружного шлифования.

Таким образом, необходимо разработать режимы резания для бесцентрового шлифования со скрещивающимися осями инструмента и детали, которые обеспечивали бы выполнение критериальных условий (1), (2) для гарантированного отсутствия шлифовальных дефектов - прижогов и микротрещин.

Для этого необходимо определить режимы резания и наладочные параметры (угол установки опорного ножа  $\alpha$  и угол наклона ведущего круга  $\beta$ ). Именно решению этой задачи и посвящена настоящая работа.

Исходными данными для нахождения режимов обработки являются: обрабатываемый материал, его твердость, требуемая точность и шероховатость, диаметр шлифования  $d$ , припуск на обработку  $z$ , ширина  $H$  и диаметры шлифовального  $D_k$  и ведущего  $D_v$  кругов.

Выбор характеристик шлифовального круга, определение скорости резания  $V_k$  и частоты вращения заготовки  $n_d$ , высота установки опорного ножа  $h$  выполняются по традиционным рекомендациям [15 - 17].

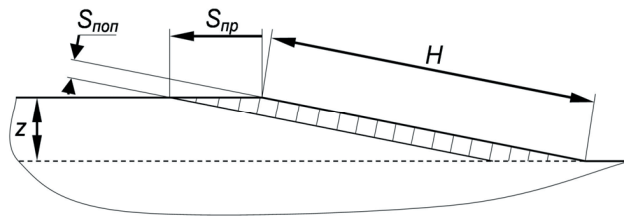


Рис. 2. Схема съема припуска при бесцентровом шлифовании со скрещивающимися осями инструмента и детали

Далее из уравнения (5) определяется значение поперечной подачи  $S_{поп}$ . Рассмотрев схему съема припуска рис. 2, можем рассчитать продольную подачу  $S_{пр}$  по формуле (6):

$$S_{пр} = 2H \cdot S_{поп} / z \quad (6)$$

Для определения угла установки опорного ножа  $\alpha$  рассмотрим схему формообразования (рис.1) и определим вспомогательные углы  $\psi, \varphi$ .

$$\sin \varphi = \frac{2h}{D_k + d} \quad (7)$$

$$\cos \psi = \frac{(D_k + d) \cos \varphi}{D_k + d + z} \quad (8)$$

Тогда искомый угол найдется по (9):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{(D_k + d + z) \sin \psi - z}{2H} \quad (9)$$

При этом величина продольной подачи будет определяться углом установки ведущего круга  $\beta$  и найдется по (10):

$$S_{пр} = V_d \cdot \operatorname{tg}(\alpha - \beta) \quad (10)$$

Таким образом, величина угла  $\beta$  назначается такой, чтобы обеспечить рассчитанную по (6) величину продольной подачи  $S_{пр}$ .

При данной схеме обработки нагрузка на зерно определяется из (11).

$$a_z = \frac{S_{пр} \cdot z}{2H \cdot n_d} \quad (11)$$

По приведенным формулам были определены режимы резания и наладочные параметры обработки деталей диаметром 25...50 мм на станках с диаметром шлифовального круга  $D_k = 600$  мм, диаметром ведущего круга  $D_v = 300$  мм шириной  $H = 300$  мм, припуска на проход  $2z = 0,05...0,15$  мм при высоте установки опорного ножа над линией центров  $h = 5$  мм. Результаты представлены на диаграмме рис. 3.

Порядок назначения режимов резания и наладочных параметров.

1. В зависимости от обрабатываемого материала, его твердости по традиционным рекомендациям [15 - 17] назначается абразивный круг.

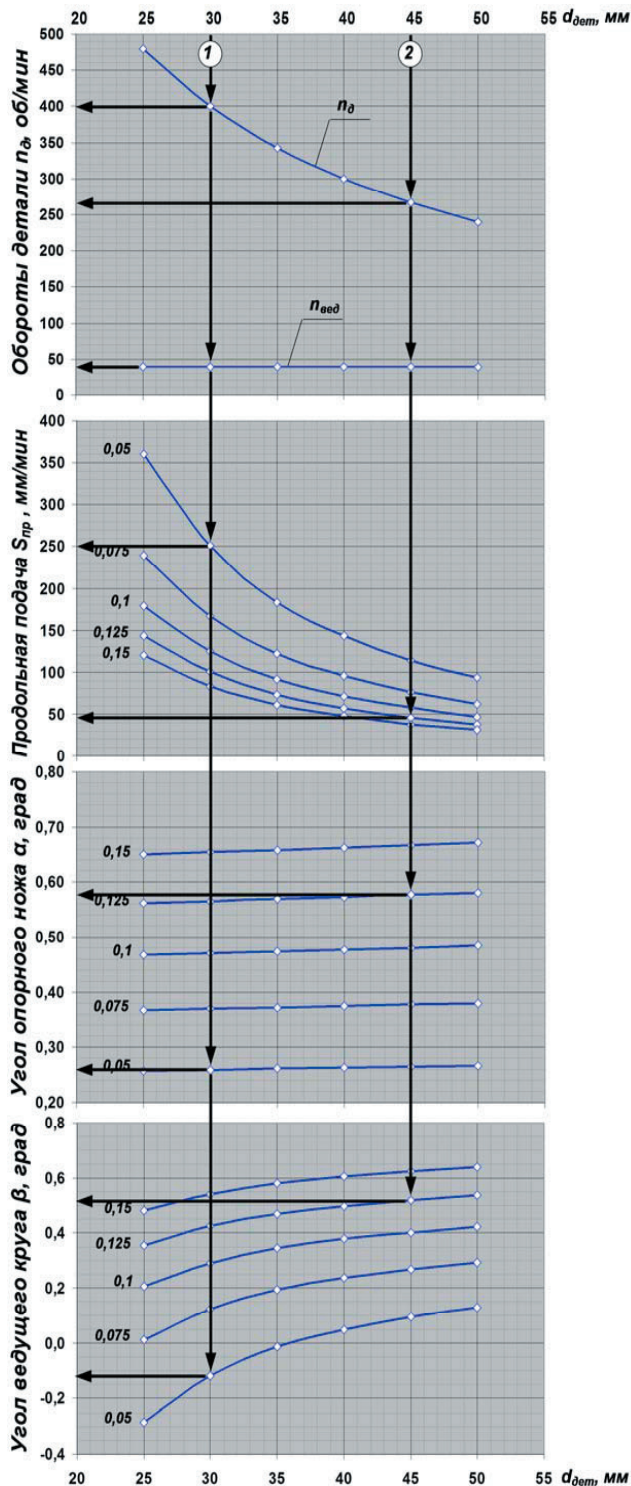


Рис. 3. Диаграмма рациональных режимов бесцентрового шлифования ТОМ

2. В зависимости от диаметра шлифования  $d$  по диаграмме определяется частота вращения детали  $n_d$  и ведущего круга  $n_{вед}$ .

3. По диаграмме определяется величина продольной подачи  $S_{пр}$ , угол установки опорного ножа  $\alpha$  и угол наклона ведущего круга  $\beta$  для требуемого припуска  $z$  и диаметра шлифования  $d$ .

Для чего из точки, соответствующей выбранному диаметру шлифования  $d$ , восстанавливается верти-

каль до пересечения с кривой  $z$  -  $var$  на соответствующих полях диаграммы.

Примеры назначения режимов резания и наладочных параметров.

1:  $d = 30$  мм,  $z = 0,05$  мм:

$n_d = 400$  об/мин,  $n_{вед} = 40$  об/мин,  $S_{пр} = 250$  мм/мин

угол установки опорного ножа  $\alpha = 0,26^\circ$

угол установки ведущего круга  $\beta = -0,1^\circ$

2:  $d = 45$  мм,  $z = 0,125$  мм:

$n_d = 265$  об/мин,  $n_{вед} = 40$  об/мин,  $S_{пр} = 45$  мм/мин

угол установки опорного ножа  $\alpha = 0,58^\circ$

угол установки ведущего круга  $\beta = 0,52^\circ$ .

Для приведенных режимов круглого продольного бесцентрового шлифования припуск на зерно не превышает 1 мкм, что позволяет применять данные режимы для окончательного шлифования шлифовальными кругами зернистостью 16...25.

### Выводы

1. Разработаны наладочные параметры бесцентрового круглого наружного шлифования со скрещивающимися осями круга и детали, которые позволяют вести бездефектную обработку различных труднообрабатываемых материалов.

2. Разработанные режимы и наладочные параметры предназначены для использования на серийных бесцентрово-шлифовальных станках с поворотным ведущим кругом.

Они представлены в виде номограммы, удобной для технологов и шлифовщиков.

### Литература

1. Грабченко А.И. Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали (Монография) / Грабченко А.И., Кальченко В.И., Кальченко В.В. – Чернигов: ЧГТУ, 2009 – 356 с.
2. Кальченко В.В. Научные основы эффективного шлифования со скрещивающимися осями абразивного инструмента и обрабатываемой детали: дис. докт. техн. наук / Кальченко В.В. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 329 с.
3. Кальченко В.В. Безцентрове поздовжнє шліфування циліндричних поверхонь зі стабілізацією положення вісі обертання деталей / Кальченко В.В. // Вісник Тернопільського держ. технічн. ун-ту. Науковий журнал. Тернопіль – 2003, Том 8, №3, С. 83 - 90.
4. Кальченко В.І., Кальченко В.В., Шам М.К. Декларативний патент України на винахід (корисну модель) № 14242 В24В5/04 «Спосіб безцентрового поздовжнього шліфування циліндричних поверхонь», опубл. 15.05.2006р. Бюл. № 5.
5. Сурду Н.В. Микромеханизм влияния сред на пластическое деформирование и разрушение металлов. Часть 1. О наличии полости вдоль оси дислокации / Сурду Н.В. // Вопросы проектирования и производства летательных аппаратов. – Харьков: НАКУ "ХАИ", 2000. – Вып. 23 (6) . – С.116-123.
6. Сурду Н.В. Микромеханизм влияния сред на пластическое деформирование и разрушение металлов. Часть

2. Модель микромеханизма / Сурду Н.В. // Вопросы проектирования и производства летательных аппаратов. – Харьков: НАКУ "ХАИ", 2001. – Вып. 24 (1) . – С.139-147.
7. Сурду Н.В. Адсорбционное влияние сред при шлифовании металлов / Сурду Н.В. // Пробл. машиностроения. – 1999, Т 2, №1-2, С. 106-113.
8. Сурду Н.В. Повышение эффективности шлифования путем совершенствования кинематики процесса / Сурду Н.В. // Оборудование и инструмент для профессионалов. – Харьков. –2004. – №2 (49). – С.32-36.
9. Сурду Н.В. Планетарно-сопряженное шлифование плоских поверхностей изделий / Сурду Н.В. – Сб. науч. труд. ХГПУ, Вып.7, часть 2, Харьков. – 1999 г.
10. Патент UA №79543 Спосіб шліфування плоских поверхонь і пристрій для його здійснення / Сурду М.В., Телегін О.В подання заявки 16.09.2005 дата публ. патенту 25.06.2007 бюл. №9.
11. Сурду Н.В. Торцевое планетарное шлифование / Н.В. Сурду, А.В. Телегин // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн.-техн. сборник. – Харьков. – 2005. – Вып.69. – С.293 - 300.
12. Сурду Н.В. Рациональные режимы круглого шлифования труднообрабатываемых материалов / Н.В. Сурду, А.В. Телегин // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2010. – № 3/2 (45). – С. 51 – 54.
13. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсионных системах: Избр. тр. / П.А. Ребиндер – Физико-химическая механика. – М.: Наука, 1979. – 381 с.
14. Щукин Е.Д. Понижение поверхностной энергии и изменение механических свойств твердых тел под влиянием окружающей среды / Е.Д.Щукин // Физ.-хим. механика материалов. – 1976. – № 1. – С. 3–20.
15. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: Справочник / Гуревич Я.Л., Горохов М.В., Захаров В.И. и др. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. 240 с., ил.
16. Справочник шлифовщика / Кожуро Л.М., Панов А.А., Ремизовский Э.И., Чистосердов П.С.; Под общ. ред. Чистосердова П.С. – Мн.: Высш. школа, 1981.– 287 с., ил.
17. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания. Справочник / Баранников В.И., Жариков А.В., Юдина Н.Д. и др.; Под общ. ред. Баранникова В.И. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с., ил.