

Н. В. Сурду, канд. техн. наук,
А. В. Телегин, канд. техн. наук, Харьков, Украина

РАЦИОНАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ БЕСЦЕНТРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

В статті представлені режими різання безцентрового шліфування важкооброблюваних матеріалів з перехресними осями інструмента й деталі, розроблені з урахуванням критеріальних вимог адсорбційно-пластифікуючого ефекту. Нові режими та налагоджувальні параметри представлені у вигляді номограми, зручної для технологів і шліфувальників. Обробка різних груп важкооброблюваних матеріалів на цих режимах забезпечує гарантовану відсутність шліфувальних дефектів та формування зміцненого поверхневого шару.

В статье представлены режимы резания бесцентрового шлифования труднообрабатываемых материалов со скрещивающимися осями инструмента и детали, разработанные с учетом критеріальных условий проявления адсорбционно-пластифицирующего эффекта. Новые режимы резания и наладочные параметры представлены в форме номограммы, удобной для технологів и рабочих. Обработка различных групп труднообрабатываемых материалов на этих режимах обеспечивает гарантированное отсутствие шлифовальных дефектов и формирование упрочненного поверхностного слоя.

The article presents the cutting condition of centreless grinding of hard-to-machining materials with intersect axes of tools and parts tailored to the criteria of manifestation of the adsorption-plasticizing effect. New cutting condition are presented in the form of nomograms, convenient for technologists and workers. The processing hard-to-machining materials different groups in these cutting condition provide guaranteed lack of grinding defects and the formation of the hardened layer.

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 теплонпряженности зоны резания при бесцентровом шлифовании 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.

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, направленного 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.

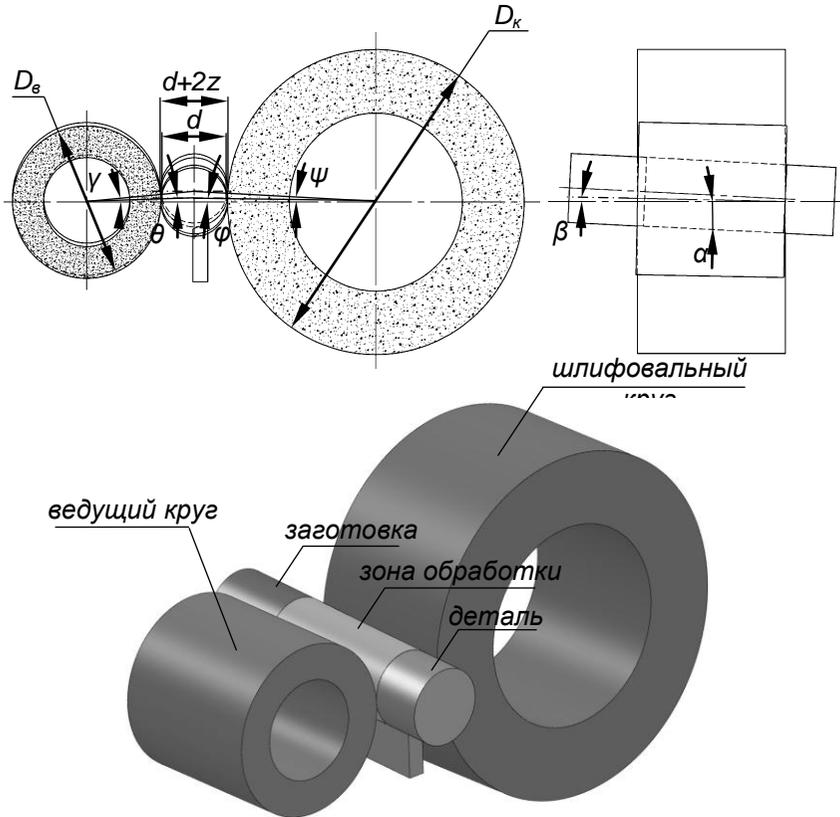


Рисунок 1 – Схема бесцентрового шлифования со скрещивающимися осями инструмента и детали

Таких критериев два:

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

$$\Delta\tau_p/\Delta\tau_x \geq 1. \quad (1)$$

2. Количество атомов (молекул) Ω_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

$$\Omega_k/\Omega_{ад} \geq P, \quad (2)$$

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

В работе [8] было также установлено, что латентный период Δt_x времени развития АПЭ имеет порядок 10^{-2} с. А при традиционных режимах шлифования промежутки времени между последовательными актами съема стружки с одного и того же участка поверхности Δt_x не превышает $10^{-5} \dots 10^{-4}$ с. Этого времени недостаточно для осуществления адсорбционных процессов в достаточной степени не только для проявления АПЭ, но и для образования смазывающего слоя. 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:

$$\frac{(r - l_k) \cdot V_d}{l_k \cdot V_k} \geq 1 \quad (3)$$

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 инструментом, 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 $S_{\text{поп}}$, 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 $S_{\text{поп}}$, то выразим величину l_k следующим образом:

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

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:

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

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 α и угол наклона ведущего круга β). 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_6 кругов.

Выбор характеристик шлифовального круга, определение скорости резания V_k и частоты вращения заготовки n_0 , высота установки опорного ножа h выполняются по традиционным рекомендациям [15 - 17].

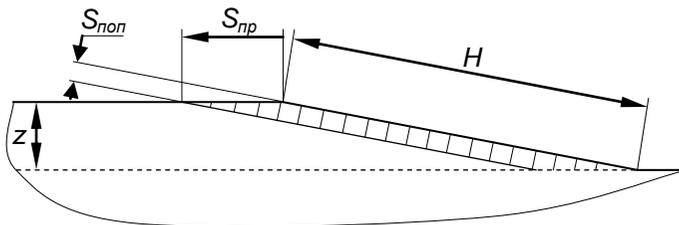


Рисунок 2 – Схема съема припуска при бесцентровом шлифовании со скрещивающимися осями инструмента и детали

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

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

Для определения угла установки опорного ножа α рассмотрим схему формообразования (рис.1) и определим вспомогательные углы ψ , φ .

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

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

Тогда искомый угол найдется по (9):

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

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

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

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

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

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

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 $D_s = 300$ 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.

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

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

Для чего из точки, соответствующей выбранному диаметру шлифования d , восстанавливается вертикаль 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, $n_{\text{вед}} = 40$ об/мин, $S_{\text{пр}} = 250$ 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, $n_{\text{вед}} = 40$ об/мин, $S_{\text{пр}} = 45$ мм/мин

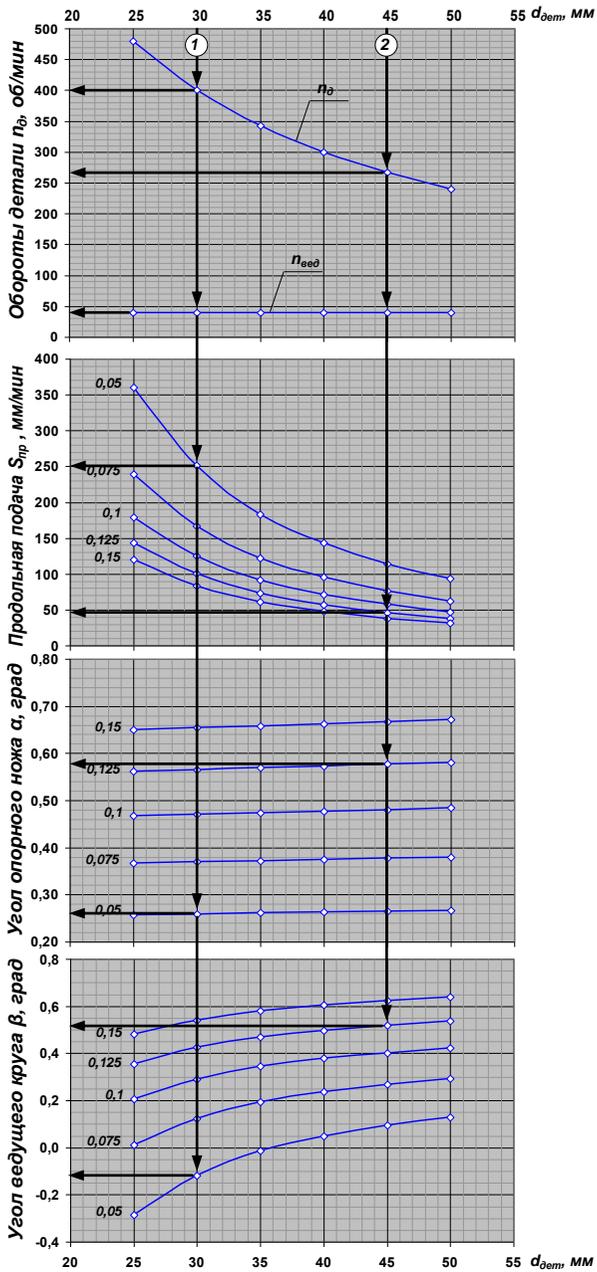


Рисунок 3 – Диаграмма рациональных режимов бесцентрового шлифования ТОМ

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.

Список использованных источников: 1. *Грабченко А.И., Кальченко В.И., Кальченко В.В.* Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали (Монография). - Чернигов: ЧГТУ, 2009- 356 с. 2. *Кальченко В.В.* Научные основы эффективного шлифования со скрещивающимися осями абразивного инструмента и обрабатываемой детали // Диссертация докт. техн. наук. - Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. - 329. 3. *Кальченко В.В.* Безцентрове поздовжнє шліфування циліндричних поверхонь зі стабілізацією положення вісі обертання деталей. // Вісник Тернопільського держ. технічн. ун-ту. Науковий журнал. Тернопіль - 2003, Том 8, №3, с. 83 - 90. 4. *Кальченко В.Л., Кальченко В.В., Шам М.К.* Деклараційний патент України на винахід (корисну модель) № 14242 В24В5/04 "Спосіб безцентрового поздовжнього шліфування циліндричних поверхонь", опубл. 15.05.2006р. Бюл. № 5. 5. *Н.В. Сурду.* Микромеханизм влияния сред на пластическое деформирование и разрушение металлов. Часть 1. О наличии полости вдоль оси дислокации // Вопросы проектирования и производства летательных аппаратов. - Харьков: НАКУ "ХАИ", 2000. - Вып. 23 (6) . - С.116-123. 6. *Н.В. Сурду.* Микромеханизм влияния сред на пластическое деформирование и разрушение металлов. Часть 2. Модель микромеханизма // Вопросы проектирования и производства летательных аппаратов. - Харьков: НАКУ "ХАИ", 2001. - Вып. 24 (1) . - С.139-147. 7. *Н.В. Сурду.* Адсорбционное влияние сред при шлифовании металлов // Пробл. машиностроения.- 1999, Т 2, №1-2, с.106-113. 8. *Н.В. Сурду.* Повышение эффективности шлифования путем совершенствования кинематики процесса // Оборудование и инструмент для профессионалов. - Харьков. -2004. - №2 (49). - С.32-36. 9. *Н.В. Сурду.* Планетарно-сопряженное шлифование плоских поверхностей изделий. 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. *Н.В. Сурду, А.В. Телегін* Торцевое планетарное шлифование // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн.-техн. сборник. - Харьков. - 2005.- Вып.69.- С.293 - 300. 12. *Н.В. Сурду, А.В. Телегін* Рациональные режимы круглого шлифования труднообрабатываемых материалов // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2010. - № 3/2 (45). - С. 51 - 54. 13. *Ребиндер П.А.* Поверхностные явления в дисперсионных системах: Избр. тр. // Физико-химическая механика. - М.: Наука, 1979. - 381 с. 14. *Шукин Е.Д.* Понижение поверхностной энергии и изменение механических свойств твердых тел под влиянием окружающей среды // 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.

Поступила в редколлегию 25.06.2010