

УДК 621.923

В.А. Титков, ст. преподаватель*Севастопольский национальный технический университет**ул. Гоголя 14, г. Севастополь, Россия, 299053**vlad-titkov@yandex.ru***ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА ЗА СЧЕТ СОЗДАНИЯ «БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ» НА ЕГО РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ***Разработана методика эксплуатации шлифовального круга с учетом управления процессом износа рабочей поверхности режущего инструмента на операциях шлифования****Ключевые слова:** Рабочая поверхность шлифовального круга (РПШК), правка, износ, управление, дисперсия, бегущая волна.*

Введение. Основной задачей современного производства является выпуск конкурентно способной продукции. Конкурентность, в свою очередь, достигается соотношением себестоимости изделия к его качественным показателям. Формирование же качественных показателей, как правило, происходит на финишных операциях технологического процесса изготовления изделия – на операциях шлифования. Себестоимость данной операции, так же, существенно отражается на себестоимости готового изделия, и в большинстве случаев зависит от стойкости режущего инструмента, его способности сохранять необходимые режущие характеристики в процессе обработки для обеспечения изготовления деталей с заданными параметрами точности.

Неотъемлемой частью процесса шлифования является правка шлифовального круга. По данным [1] расход шлифовальных кругов на правку составляет 90 - 95 % от общего их расхода, а затраты на правку достигают 70 % от себестоимости операций. При этом прослеживается взаимосвязь затрат на правку с шлифуемостью материала заготовки: чем труднее обрабатывается материал заготовки, тем большую долю составляют затраты на правку в себестоимости операции. Учитывая, что в современном машиностроении труднообрабатываемые материалы (коррозионностойкие и жаростойкие стали, титановые и жаропрочные никелевые сплавы и др.) все шире используются для изготовления деталей машин, вопрос сокращения доли операции правки в процессе шлифования становятся все более актуальным.

Основной причиной для проведения процесса правки шлифовального круга является неравномерный износ его рабочей поверхности в процессе обработки деталей, появление недопустимой волнистости на его периферии, сокращение его режущих характеристик и, как следствие, снижение качества обработанной поверхности - появление волнистости, отклонения формы, прижогов и т.д.

Целью данной статьи является повышения эффективности работы режущего инструмента с учетом снижения доли затрат на проведения операции правки шлифовального круга за счет разработки методики управления процессом износа РПШК.

Основное содержание работы. На рисунке 1 представлена экспериментальная установка обработки деталей на операциях круглого наружного шлифования. Принцип работы установки приводится в [2], отличительной особенностью от уже рассмотренной установки является наличие устройства правки ШК 9.

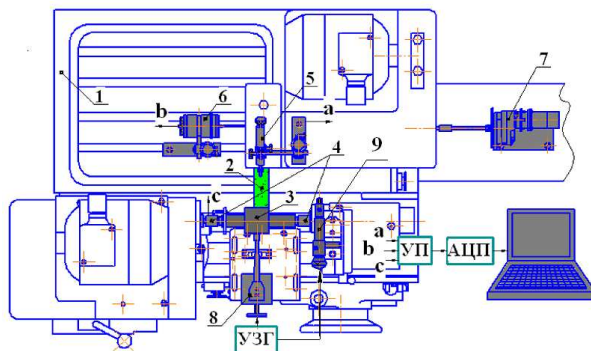


Рисунок 1 – Экспериментальная установка (вид сверху)

1 - кругло шлифовальный полуавтомат модели ВИА-16, 2 – шлифовальный круг (ШК), 3 – заготовка, 4 – тензодатчик, 5 – устройство профилографирования ШК, 6 - датчик угла поворота - бесконтактный вращающийся трансформатор модели 5БВТ-Д, 7 – привод ШК для профилографирования,

8 – магнестрикционный преобразователь, 9 – устройство для правки ШК.

УЗГ – ультра-звуковой генератор модели УЗГ 3 0.4, УП – усилитель – преобразователь сигналов (тензостанция) модели ТС-6К, АЦП – аналого – цифровой преобразователь модели ЛА-50USB

На рисунке 2 представлена Блок-схема работы экспериментальной установки (рисунок 1)

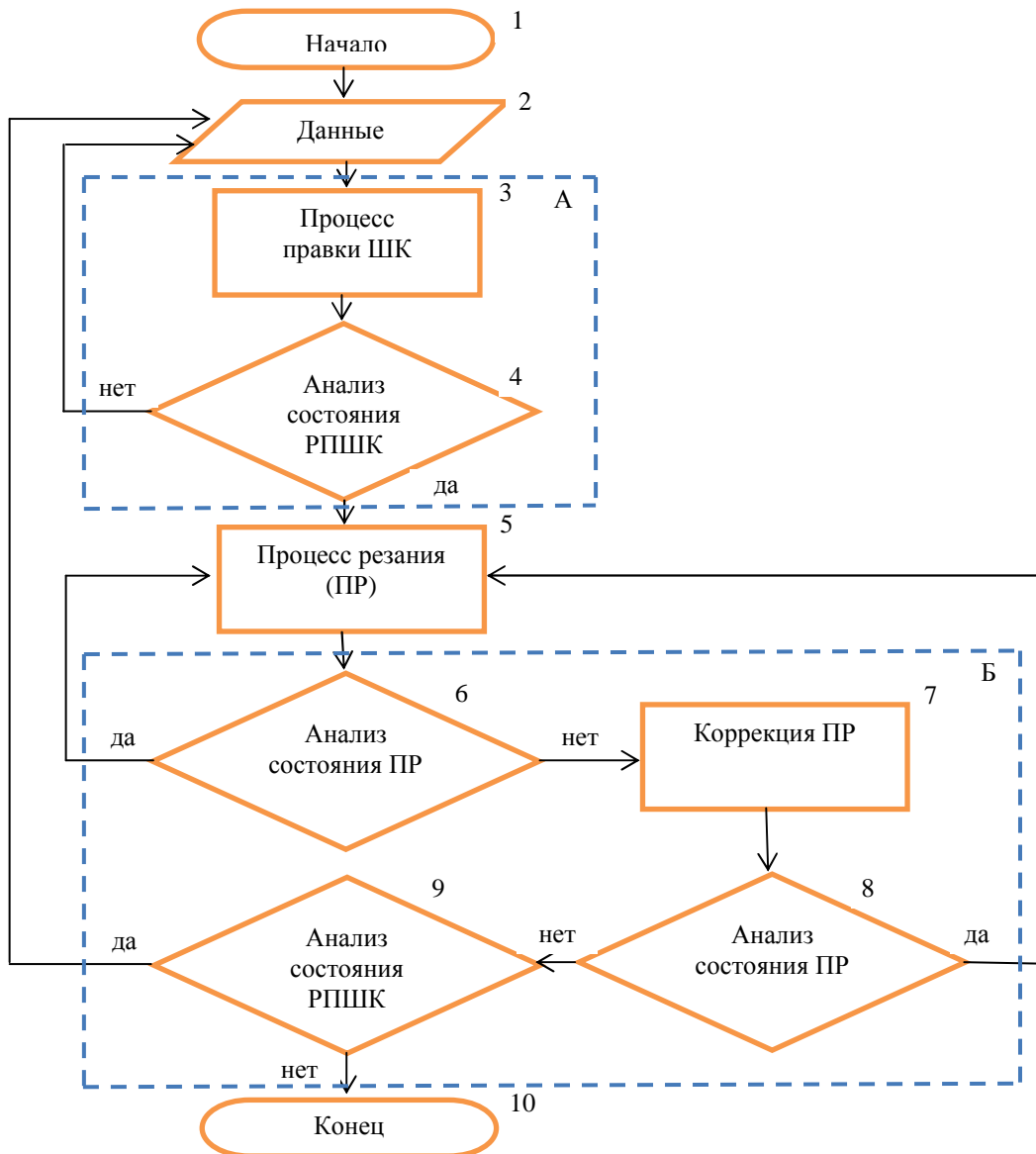


Рисунок 2 – Блок-схема работы экспериментальной установки

Общая концепция работы экспериментальной установки описывается следующим алгоритмом:

1. Формирование начальных характеристик РПШК происходит в процессе правки ШК:

$$R(\varphi, x) = \overline{R_0(x)} + \sum_{k=1}^m A_k(x) \times \cos(k\varphi + \gamma_k(x)), \tag{1}$$

где $\overline{R_0(x)}$ - среднее значение радиуса ШК, $A_k(x)$ - амплитуда и $\gamma_k(x)$ - фаза k -й гармоники в плоскости проведенной на расстоянии x от базовой плоскости.

Так как формирование начальной РПШК в процессе правки большей степени зависит от жестко - демпфирующих характеристик приводов станка [1], то актуально производить «управляемый» процесс правки, на котором производится формирование РПШК с заданной геометрией $A_k(x)$ и $(k\varphi + \gamma_k(x))$ (рисунок 2, блок А).

На «управляемом» процессе правки при помощи магните - стрикционного привода (рисунок 1, п.9) на правящий инструмент подаётся вибрационный сигнал заданного закона, вследствие чего на

РПШК формується профіль з заданими параметрами волнистості $D[R]_0 = A_k^2(x)/2$ – початкова дисперсія волнистості РПШК.

Аналіз геометрії РПШК здійснюється шляхом профілографування (рисунок 1, п.5), результатом даної операції є побудова круглограмів і визначення закону розподілення волнистості на РПШК. По отриманим даним формуються дані для корекції параметрів процесу різання [2].

2. Ізнос РПШК відбувається в процесі різання від обороту i до обороту $i+1$ і кореляційно пов'язаний з початковою формою РПШК (1):

$$\Delta R_i(\varphi, x) = \overline{\Delta R_i(\varphi, x)} + A_{\Delta R_j}(x) \times \cos(j\varphi + \gamma_j(x)), \quad (2)$$

де $\overline{\Delta R_i(\varphi, x)}$ – середнє значення износу ШК, $A_{\Delta R_j}(x)$ – амплітуда і $\gamma_j(x)$ – фаза j -ї гармоніки в площині проведеної на відстані x від базової площини.

В умови установившогося процесу ізнос є постійним ($\overline{\Delta R_i(\varphi, x)} = \overline{\Delta R_{i+1}(\varphi, x)}$), але не рівномірним по РПШК через зсув фази износу $\gamma_j(x)$ за рахунок жорстко – демпфуючих характеристик процесу різання [...].

Контроль стану процесу різання здійснюється шляхом аналізу силових параметрів процесу за допомогою тензоцентрів заготовки (рисунок 1, п. 4).

При досягненні «критичних» силових параметрів процесу різання, коли $D[R_i] \cong D[R]_{\max}$, проводиться корекція – зсув фази волнистості РПШК на кут $\alpha_i = \arccos \left[\frac{A_{\Delta R_j}}{2A_k} \right]$ для досягнення

ефекту самоперерезання хвиль, шляхом введення додаткового вібраційного сигналу з боку заготовки за допомогою магнітно – стрікційного приводу (рисунок 1, п.8) або зміною жорстко – демпфуючих характеристик процесу (різна масова оправка) (рисунок 3, блок Б).

3. В разі, коли корекція параметрів процесу різання не призводить до стабілізації (ізнос РПШК вище допустимого рівня – $D[R_i] > D[R]_{\max}$), проводиться процес правки.

4. Якщо ШК претерпів критичний ізнос (ШК вироблений до недопустимого діаметра або отримав механічний скол на РПШК) процес припиняється, проводиться переналадка обладнання.

На рисунку 3 представлений формалізований графік, що відображає циклічність процесу експлуатації ШК з урахуванням проведення операцій корекції в процесі обробки деталі.

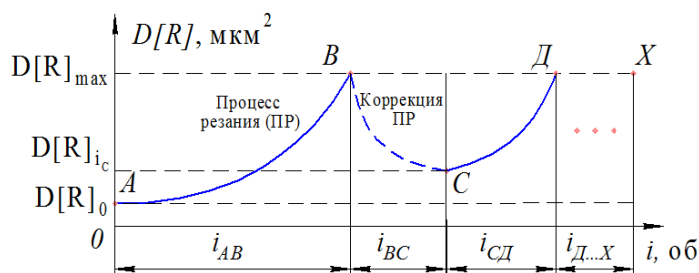


Рисунок 3 – Графік експлуатації ШК

На початковому етапі, точка А, проводиться операція правки ШК, на якій формується початковий профіль РПШК з дисперсією $D[R]_0$. Крива АВ характеризує процес різання, в ході якого відбувається зростання величини дисперсії до рівня $D[R]_{\max}$ після чого проводиться корекція, крива ВС, результатом якої є зниження величини дисперсії до рівня $D[R]_{ic}$. Величина $D[R]_{ic} > D[R]_0$ це пов'язано з особливостями процесу износу РПШК при обробці деталі – зниження режущих здібностей ШК за рахунок утворення площадок на режущих гранях з'єрн, засаливання між зернових пор продуктами з'єму матеріалу і т.д. Далі відновлюється без корекційний процес різання, крива СД.

Принципи функціонування циклів АВ-ВС-СД повторюються до тих пор (точка Х), коли процес корекції стає неможливим через недопустиме зниження режущої здібності РПШК. Для відновлення режущої здібності необхідно провести процес правки ШК.

Необходимо отметить, что время эксплуатации ШК, по предложенной методике, можно увеличить используя эффект самозатачивания РПШК в процессе резания, но реализация «самозатачивания РПШК» затруднено вследствие изменения режимных параметров процесса резания, так как процесс имеет большие инерционные характеристики, а их изменения могут привести к дестабилизации работы процесса резания в целом, и как следствие, к появлению брака – прижогов на обрабатываемой поверхности заготовки.

Методика эксплуатации ШК, рисунок 3, представляет собой эффект «Бегущей волны» [4], вернее его частного случая «Частично бегущей волны» широко применяемый в разделах физики, описывающие волновые процессы, в радио-электронике и пневмо и гидро динамики, теории упругости и т.д.

Эффект «Частично бегущей волны» представляет собой волновое движение, при котором поверхность равных фаз (фазовые волновые фронты) перемещается с конечной скоростью (постоянной для однородной среды), но с разными амплитудами. С бегущей волной, групповая скорость которой отлична от нуля, связан перенос энергии, импульса или других характеристик процесса.

Реализация эффекта «Частично бегущей волны» на РПШК в процессе резания (рисунок 3) возможно только при наличии системы управления (рисунок 2), ядром которой, является математическая модель износа РПШК. Рассмотрим основные положения модели:

1. Исходя из основных характеристик эффекта [4] для его реализации необходимо, что бы значения амплитуд на участках (рисунок 3) были постоянны, т.е. $A_k(x) = const$, следовательно, дисперсия износа $D[\Delta R] = const$.

2. Так как процесс является дискретным (от i к $i+1$), то исходя из уравнения (1) с учетом износа (2) получим:

$$A_k(x)_1 \times \cos(k\varphi + \gamma_k(x)_1) = A_k(x)_0 \times \cos(k\varphi + 0) - A_{\Delta R j}(x)_1 \times \cos(j\varphi + \gamma_j(x)_1). \quad (3)$$

3. Исходя из выше изложенного, введем ряд допущений:

- изменение амплитуды волнистости за один оборот ШК значительно меньше амплитуды исходной волнистости $A_{\Delta R j}(x) \gg A_k(x)_0$;

- для установившегося процесса $A_{\Delta R j}(x) = C \times A_k(x)_0$

Тогда при $A_k(x)_1 = A_k(x)_0$, уравнение (3) запишется в виде:

для первого контакта $\cos(k\varphi + \gamma_k(x)_1) = \cos(k\varphi + 0) - C \times \cos(j\varphi + \gamma_j(x)_1)$,

для второго контакта $\cos(k\varphi + \gamma_k(x)_1 + \gamma_k(x)_2) = \cos(k\varphi + \gamma_k(x)_1) - C \times \cos(j\varphi + \gamma_j(x)_1 + \gamma_j(x)_2)$.

4. С учетом многопроходности процесса шлифования, уравнение (3) будет иметь вид:

$$\cos(k\varphi + \gamma_k(x)_i) = \cos(k\varphi + \gamma_k(x)_{i+1}) - C \times \cos(j\varphi + \gamma_j(x)_i) \quad (4)$$

5. Величина сдвига фазы исходной волнистости за счет износа РПШК в процессе резания определяется как разность между последующими контактами:

$$\gamma_k(x)_i = \gamma_k(x)_{i+1} - \gamma_j(x)_i, \quad (5)$$

где $\gamma_k(x)_i$ и $\gamma_k(x)_{i+1}$ - фазы профиля шлифовального круга на i и $i+1$ обороте, $\gamma_j(x)_i$ - фаза износа шлифовального круга на i обороте.

6. Изменение профиля шлифовального круга во времени является процессом случайным. Корреляционная функция, характеризующая изменение отклонений профиля, уравнение (3), описывается известной зависимостью [5]:

$$K(\gamma_1, \gamma_2) = \left[\frac{A_k^2}{2} + \frac{A_{\Delta R}^2}{2} - A_k \cdot A_{\Delta R} \cdot \cos \alpha \right] \cos k(\gamma_2 - \gamma_1) \quad (6)$$

7. Дисперсия профиля $D[\Delta R]$ определяется по корреляционной функции (6) $K(\gamma_1, \gamma_2)$ из условия равенства углов $\gamma_1 = \gamma_2$:

$$D[\Delta R] = \frac{A_{k0}^2}{2} + \frac{A_{\Delta R}^2}{2} - A_{k0} \cdot A_{\Delta R} \cos \alpha \quad (7)$$

8. Из анализа уравнения (7) следует, что дисперсия профиля $D[\Delta R]$ остается неизменной в том случае, если сумма второго и третьего слагаемых уравнения (7) равняется нулю:

$$\frac{A_{\Delta R}^2}{2} + A_{k0} \cdot A_{\Delta R} \cos \alpha = 0 \quad (8)$$

Откуда: $D[\Delta R] = \frac{A_{k0}^2}{2}$ - const – постоянная величина, обозначим как D_{II} .

9. Значение угла α - характеризующего смещение между амплитудой начальной волнистости A_{k0} шлифовального круга и амплитудой износа $A_{\Delta R}$ (рисунок 4, а), определяется из уравнения (8)

$$\cos \alpha = \frac{A_{\Delta R}}{2A_{k0}} = \frac{C}{2} \quad (9)$$

Коэффициент C (9) характеризует природу износа шлифовального круга в процессе обработки и зависит от характеристик режущего инструмента и процесса резания в целом.

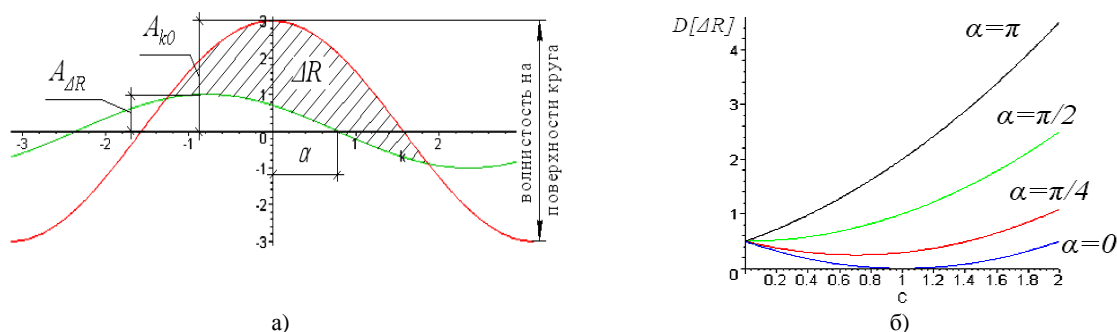


Рисунок 4 – а) - Смещение амплитуды износа относительно амплитуды начальной волнистости шлифовального круга; б) - Изменение дисперсии $D[\Delta R]$ с учетом сдвига фаз α и коэффициента C . (при $A_{\Delta R} = 1$ мкм).

Анализ зависимости (7) показывает, что дисперсия рабочего профиля шлифовального круга изменяется за период его стойкости, что существенно отражается на показателях процесса обработки. Возможно управление дисперсией рабочего профиля инструмента за счет изменения сдвига фаз α и коэффициента C (рисунок 4, б) так:

при $\alpha = 0$ - наблюдается максимальный износ на вершине волнистости ($\cos \alpha = \frac{A_{\Delta R}}{2A_{k0}} = \frac{C}{2} = 1$, $C = 1/2$);

при $\alpha = \pi$ - максимальный износ во впадине волны ($\cos \alpha = \frac{A_{\Delta R}}{2A_{k0}} = \frac{C}{2} = -1$).

Выводы. Представленная методика позволяет увеличить время эксплуатации режущего инструмента, сократить расход шлифовального круга на операциях правки и тем самым снизить себестоимость процесса обработки.

Перспективы дальнейших исследований в данной области. Разработка автоматизированной системы функционирования установки, как замкнутой системы, с элементами САК и ЧПУ. Переход от макро к микро уровням в описании РПШК, с учетом изменения шероховатости ШК за счет износа режущих зерен, процесса выкрашивания и т.д.

Библиографический список использованной литературы

1. Киселев Е.С. Теплофизика правки шлифовальных кругов с применением сож. / Е.С. Киселев. — Ульяновск: УлГТУ, 2001. — 171 с.
2. Титков В.А. Экспериментальная установка вибрационной обработки деталей на операциях круглого наружного шлифования / В.А. Титков // Вісник СевНТУ. Серія: Машиноприладобудування та транспорт: зб. наук. пр. — Севастополь, 2013. — Вип. 140/2013. — С. 184–189.
3. Титков В.А. Формирование рабочего профиля шлифовального круга в процессе правки / В.А. Титков, Ю.К. Новосёлов, Д.А. Каинов // Вісник СевНТУ. Серія: Машиноприладобудування та транспорт: зб. наук. пр. — Севастополь, 2012. — Вип. 128/2012. — С. 242–248.
4. Прохоров А.М. Физический энциклопедический словарь / А.М. Прохоров. — М.: Советская энциклопедия, 1983. — 453 с.

5. Новосёлов Ю.К. Обеспечение стабильности точности деталей при шлифовании / Ю.К. Новосёлов, Е.Ю. Татаркин. — Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1988. — 128 с.

Поступила в редакцию 03.01.2014 г.

Тітков В.А. Підвищення ефективності роботи шліфувального круга за рахунок створення «біжучої хвилі» на його робочій поверхні

Розроблена методика експлуатації шліфувального круга з урахуванням управління процесом зносу робочої поверхні ріжучого інструменту на операціях шліфування

Ключові слова: Робоча поверхню шліфувального круга (РПШК), правка, знос, корування, дисперсія, бігуча хвиля.

Titkov V.A. Improving the efficiency of operation of the grinding wheel by creating a «traveling wave» on its surface

The developed method of operation the grinding wheel with the account management process of deterioration of a working surface of a cutting tool grinding operations.

Keywords: working surface of grinding wheel (WSGW), edit, wear, control, dispersion, traveling wave.