DOI: 10.12737/article_59a93b0ac85999.41172542

Федоренко М.А., д-р техн. наук, проф.,
Погонин А.А., д-р техн. наук, проф.,
Бондаренко Ю.А., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ИЗНОСА КРУПНОГАБАРИТНЫХ ВРАЩАЮЩИХСЯ ДЕТАЛЕЙ

kdsm2002@mail.ru

В настоящее время все большую актуальность приобретают проблемы повышения надежности и долговечность оборудования и оптимизация существующих технологий производства. Эффективному решению этой проблемы будет способствовать восстановление работоспособности изношенных крупногабаритных узлов и деталей оборудования цементной промышленности на месте их эксплуатации без демонтажа с потерявших надежность агрегатов.

Ключевые слова: *станок, помольные мельницы, восстановление, крупногабаритные детали, износ.*

Введение. Поверхности крупногабаритных узлов, которые обрабатывают на нестационарных станках, имеют различное функциональное назначение в агрегате, поэтому станки должны производить чистовую и черновую обработку при выполнении различных технологических операций.

Особенностью выполнения восстановительных работ нестационарными станками на крупногабаритном оборудовании является то, что станок может устанавливаться на детали, под или рядом с изношенной деталью. Так как обрабатываемые изделия по размерам превосходят размеры станка, то станок может быть установлен под деталью, при использовании для базирования вспомогательной базы. Если станок устанавливается на деталь, то необходимы базы, на которых он базируется относительно обрабатываемой поверхности и базы для его закрепления [1–4].

Следует учитывать то, что обрабатываемая деталь базируется не по тем технологическим базам, которые использовались на заводе-изготовителе, а приходится применять конструкторские базы, определяющие положение восстанавливаемой детали в узле и относительно других деталей. Таким образом, смена баз и использование в технологических размерных цепях новых составляющих звеньев или их уменьшение вызывает изменение размера замыкающего звена.

Формообразование при обработке поверхностей приставными станками имеет свои особенности, основная из которых – неопределённость базирования, что особенно характерно для восстановления валов.

Основная часть. Разработанный станок можно устанавливать на любой удобной для закрепления станка поверхности так, чтобы траектория продольной подачи, была параллельна оси вращения восстанавливаемой детали. Кроме того, необходимо, чтобы ось вращения и траектория движения резца находились в одной плоскости. Конфигурация поверхности обрабатываемого изделия представляет собой поверхность вращения, образующей которой является траектория продольной или поперечной подач, или их сочетание. Поэтому формообразование следует показать как вращение отрезков кривой вокруг оси поверхности, подлежащей обработке. Это дает возможность рассмотреть процесс формообразования различных тел вращения.

Для нахождения угловой погрешности установки станка относительно крупногабаритной детали, надо учитывать, что она может иметь поверхность вращения любой формы. Рассмотрим некоторые варианты.

Однополостной гиперболоид, его поверхность представляет собой дважды линейчатую поверхность, эти линии являются траекторией движения инструмента при восстановлении.

Уравнение однополостного гиперболоида:

$$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}-\frac{z^2}{c^2}=1\ . \qquad (1)$$

После преобразования имеем:

$$\left(\frac{x}{a}+\frac{z}{c}\right)\left(\frac{x}{a}-\frac{z}{c}\right)=\left(1+\frac{y}{b}\right)\left(1-\frac{y}{b}\right)\cdot \qquad (2)$$

Получим системы уравнений:

$$\begin{cases} \dfrac{x}{a}+\dfrac{z}{c}=k_1\left(1+\dfrac{y}{b}\right) \\ \dfrac{x}{a}-\dfrac{z}{c}=\dfrac{1}{k_1}\left(1-\dfrac{y}{b}\right) \end{cases}; \qquad \begin{cases} \dfrac{x}{a}+\dfrac{z}{c}=k_2\left(1-\dfrac{y}{b}\right) \\ \dfrac{x}{a}-\dfrac{z}{c}=\dfrac{1}{k_2}\left(1+\dfrac{y}{b}\right) \end{cases}; \tag{3}$$

где K_1, K_2 – произвольные параметры, изменяя которые получим совокупность прямых на поверхности гиперболоида. Представим уравнение (3):

$$Ax+By+Cz+D=0.$$

Из уравнения (3) найдём

$$\begin{cases} k_1=\dfrac{\dfrac{x}{a}+\dfrac{z}{c}}{1+\dfrac{y}{b}} \\ k_2=\dfrac{\dfrac{x}{a}+\dfrac{z}{c}}{1-\dfrac{y}{b}} \end{cases}. \tag{4}$$

$$\begin{cases} n_1(\dfrac{1}{a};\dfrac{k_1}{b};\dfrac{1}{c}) \\ n_2(\dfrac{1}{a};\dfrac{1}{k_1 b};\dfrac{1}{c}) \end{cases} \qquad \begin{cases} n_3(\dfrac{1}{a};\dfrac{k_2}{b};\dfrac{1}{c}) \\ n_4(\dfrac{1}{a};\dfrac{1}{k_2 b};\dfrac{1}{c}) \end{cases} \tag{5}$$

$$l_1=\overline{n_1}\times\overline{n_2}=\begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ \dfrac{1}{a} & -\dfrac{k_1}{b} & \dfrac{1}{c} \\ \dfrac{1}{a} & \dfrac{1}{k_1 b} & -\dfrac{1}{c} \end{vmatrix} \overline{l_2}=\overline{n_3}\times\overline{n_4}=\begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ \dfrac{1}{a} & \dfrac{k_1}{b} & \dfrac{1}{c} \\ \dfrac{1}{a} & -\dfrac{1}{k_1 b} & -\dfrac{1}{c} \end{vmatrix}. \tag{6}$$

$$\overline{l_1}\times\overline{l_2}=|l_1|\times|l_2|\times\cos\psi . \tag{7}$$

После преобразования получили угол установки станка в вертикальной плоскости:

$$\cos\psi=\frac{\dfrac{1}{b^2c^2}(k_1-\dfrac{1}{k_1})(\dfrac{1}{k_2}-k_2+\dfrac{4}{a^2c^2}-\dfrac{1}{a^2b^2}(k_1+\dfrac{1}{k_1})(k_2+\dfrac{1}{k_2})}{\sqrt{\left[\dfrac{1}{b^2c^2}(k_1-\dfrac{1}{k_1})^2+\dfrac{4}{a^2c^2}+\dfrac{1}{a^2b^2}(k_1+\dfrac{1}{k_1})^2\right]\left[\dfrac{1}{b^2c^2}(\dfrac{1}{k_2}-k_2)+\dfrac{4}{a^2c^2}+\dfrac{1}{a^2b^2}(k_2-\dfrac{1}{k_2})^2\right]}}$$

Окончательно:

$$\cos\psi=\frac{y_0^2+x_0^2-c}{y_0^2+x_0^2+c}=\frac{a^2-c^2}{a^2+c^2}. \tag{9}$$

Угол установки станка в вертикальной плоскости ψ определятся положением пары образующих в плоскости, которая перпендикулярна образованной продольной и поперечной подачами плоскости. Погрешность установки станка будет: $a=\pm\dfrac{\psi}{2}$.

Для определения траектории движения точки по изношенной поверхности детали, имеющей форму катеноида, с целью обеспечения получения цилиндрической формы запишем в векторной форме:

$$\left.\begin{array}{l} y = r\cos\varphi\sin t \\ z = r\cos\varphi\cos t \\ x = r\sin\varphi \end{array}\right\}. \qquad (10)$$

т.е.

$$r = r\left[(\cos\varphi\sin t)\bar{i} + (\cos\varphi\cos t)\bar{j} + (\sin\varphi)\bar{k}\right] \quad (11)$$

Выбираем произвольно y_i и при фиксированных x,θ,α определяем z_i, где x_i, y_i, z_i - координаты точек катеноида. Далее подставляя для каждого фиксированного x_i^* множество значений y_i^*, определяем z_i^*. Для каждого z_i определим y_i^*. Определим параметры кривой, по которой будет перемещаться резец. При угловой скорости $\omega = \omega_0 = const$ в каждый момент времени t фиксируем угол α. Зная координаты z, x определяем y, y^*, и $\Delta y = \left|y - y^*\right|$ для конкретной точки. Скорость движения резца $V = V(t)$, тогда:

$$x = \int_0^{t_0} V(t)dt. \qquad (12)$$

Проведем преобразования и определим:

$$V(t) = \sqrt{\left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dx}{dt}\right)^2}$$

$$\left.\begin{array}{l} S_1 = \sum_{n=1}^{k}\left|y - y^*\right|^2 \\ S_2 = \sum_{n=1}^{k}\left|z - z^*\right|^2 \\ S_3 = \sum_{n=1}^{k}\left|x - x^*\right|^2 \end{array}\right\} \to \min \qquad (13)$$

С учетом:

$$\Delta x = \int_0^{\Delta t} V(t)dt = \int_0^{\alpha/n\omega} V(t)dt,$$

$$\frac{h}{n} = \int_0^{\alpha_0/n\omega} V(t)dt = F\left(\frac{\alpha_0}{n\omega}\right) - F_{(0)} = F\left(\frac{\alpha_0}{n\omega}\right). \qquad (14)$$

Находим:

$$S_3 = \sum_{n=1}^{k}\left|\left(\int_0^t V(t)dt\right) - ht\right|^2 \to \min,$$

$$\frac{\partial S_3}{\partial t} = 2\left(\sum_{n=1}^{k}\left|\left(\int_0^t V(t)dt\right) - ht\right|\right) * \left(V(t) - h\right) = 0,$$

$$S_1 = \sum_{n=1}^{k}\left|y - \left(y\cos\omega t + z\sin\omega t\right)\right|^2 \to \min,$$

$$\frac{\partial S_1}{\partial t} = 2\left(\sum_{n=1}^{k}\left|y - \left(y\cos\omega t + z\sin\omega t\right)\right|\right) * \left(y\omega\sin\omega t - z\omega\cos\omega t\right) = 0,$$

$$y\omega\sin\omega t = z\omega\cos\omega t, \quad \frac{x}{z} = tg\omega t,$$

$$S_2 = \sum_{n=1}^{k}\left|ytg\omega t - \left(-y\sin\omega t + ytg\omega t * \cos\omega t\right) - a - \delta(\omega t) + \Delta_\alpha t\right|^2 = \sum_{n=1}^{k}\left|ytg\omega t - a - \delta(\omega t) + \Delta_\alpha t\right|^2 \to \min$$

$$\frac{\partial S_2}{dt} = 2\left(\sum_{n=1}^{k}\left|ytg\omega t - \left(-y\sin\omega t + ytg\omega t * \cos\omega t\right) - a - \delta(\omega t) + \Delta_\alpha t\right|\right) * \left(\frac{y\omega}{\cos^2\omega t} - \omega\delta'(\omega t) + (\Delta_\alpha t)' = 0\right),$$

$$\frac{y\omega}{\cos^2\omega t} = \omega\delta'(\omega t) - (\Delta_\alpha t)' \qquad (15)$$

Таким образом, найдём угол установки станка $y = \psi(t)$.

Система уравнений позволяет получить траекторию движения резца при обработке катеноида:

$$\begin{array}{l} \Delta y = \left|y_i - y^*\right| \\ \Delta z = \left|z_{ij} - z^*\right| \\ \Delta x = \left|x_{ijk} - x^*\right| \end{array}. \qquad (16)$$

При применении ротационной обработки для восстановления работоспособности деталей, имеющих форму катеноида и конуса, рассмотрим площадь среза.

Общее уравнение конуса имеет вид:

$$\frac{(x-x_0)^2}{a^2}+\frac{(y-y_0)^2}{b^2}+\frac{(z-z_0)^2}{c^2}=0$$

После преобразования уравнение конуса имеет вид

$$\frac{\left[x-r\cdot\cos\varphi-(m\cdot ch\left(\frac{x-l/2}{d}\right)\cdot\cos\omega-t)tg\varphi-r\cdot ctg\gamma\cdot\cos\varphi\right]^2}{r^2}+$$

$$\frac{\left[z+m\cdot ch\left(\frac{x-l/2}{d}\right)\cdot\sin\omega+r\cdot\cos arctgtg\omega/\sin\varphi\right]^2}{r^2}$$

$$-\frac{\left[y+r\cdot\sin\varphi-m\cdot ch\left(\frac{x-l/2}{d}\right)\cdot\cos\omega+t-r\cdot ctg\gamma\cdot\cos\varphi\right]^2}{c^2}=0 \qquad (17)$$

Составляем уравнение обрабатываемой поверхности:

$$y^2+z^2=m^2\cdot ch^2\left(\frac{x-l/2}{d}\right) \qquad (18)$$

Система (17) и (18) устанавливает уравнение кривой пересечения этих тел:

$$\begin{cases}\dfrac{\left[x-r\cdot\cos\varphi-(m\cdot ch\left(\frac{x-l/2}{d}\right)\cdot\cos\omega-t)tg\varphi-r\cdot ctg\gamma\cdot\cos\varphi\right]^2}{r^2}+\\ +\dfrac{\left[z+m\cdot ch\left(\frac{x-l/2}{d}\right)\cdot\sin\omega+\cos arctgtg\omega/\sin\varphi\right]^2}{r^2}-\\ -\dfrac{\left[y+r\cdot\sin\varphi-m\cdot ch\left(\frac{x-l/2}{d}\right)\cdot\cos\omega+t-r\cdot ctg\gamma\cdot\cos\varphi\right]^2}{c^2}=0\\ y^2+z^2=m^2\cdot ch^2\left(\frac{x-l/2}{d}\right)\end{cases}$$

Имеем

$$y=\pm\sqrt{m^{2\cdot}\cdot ch^2\left(\frac{x-l/2}{d}\right)-z^2} \qquad (19)$$

Далее:

$$y=\pm\frac{\sqrt{m^2ch^2\left(\frac{x-l/2}{d}\right)-(y\cdot\sin\alpha+z\cdot\cos\alpha-\delta(\alpha))^2}-z\cdot\sin\alpha}{\cos\alpha} \qquad (20)$$

$$\frac{\left[x-r\cdot\cos\varphi-(m\cdot ch\left(\frac{x-l/2}{d}\right)\cdot\cos\omega-t)tg\varphi-r\cdot ctg\gamma\cdot\sin\varphi\right]^2}{r^2}+$$

$$+\frac{\left[m\cdot ch\left(\frac{x-l/2}{d}\right)\cdot\sin\omega+r\cdot\cos arctg(tg\omega/\sin\varphi)\right]^2}{r^2}-$$

$$-\frac{\left[m\cdot ch\left(\frac{x-l/2}{d}\right)+r\cdot\sin\varphi-m\cdot ch\left(\frac{x-l/2}{d}\right)\cdot\cos\omega+t-r\cdot ctg\gamma\cdot\cos\varphi\right]^2}{c^2}=0$$

Уравнение для нахождения площади среза:

$$z=\left\{r^2\left[y+r\cdot\sin\varphi-R\cdot\cos\omega+t-r\cdot ctg\gamma\cdot\cos\varphi\right]^2-c^2\left[x-r\cos\varphi-(R\cos\omega-t)tg\varphi-rctg\gamma\sin\varphi\right]^2\right\}^{\frac{1}{2}}c^{-1}-H \quad (21)$$

Далее:

$$\frac{\partial z}{\partial y}=c^{-1}\left\{r^2\left[y\cdot\sin\varphi-R\cdot\cos\omega+t-r\cdot ctg\gamma\cdot\cos\varphi\right]^2-c^2\left[x-r\cos\varphi-(R\cos\omega-t)tg\varphi-r\cdot ctg\gamma\cdot\sin\varphi\right]^2\right\}^{\frac{1}{2}}\cdot$$
$$\cdot r^2\left[y+r\sin\varphi-R\cos\omega+t-rctg\gamma\cos\varphi\right]. \quad (22)$$

$$\frac{\partial z}{\partial x}=(cr^2)^{-1}\left\{r^2\left[y\cdot\sin\varphi-\left(\frac{m\cdot ch\left(\frac{x-l/2}{d}\right)\cos\omega-t}{\cos\varphi}+r\cdot ctg\gamma\right)\cdot\cos\varphi\right]^2-\right.$$

$$\left.-c^2\left[x-r\cos\varphi-\left(m\cdot ch\left(\frac{x-l/2}{d}\right)\cos\omega-t\right)tg\varphi-r\cdot ctg\gamma\cdot\sin\varphi\right]^2\right\}^{\frac{1}{2}}\cdot$$

$$\left\{r^2\left[y+r\sin\varphi-\left(m\cdot ch\left(\frac{x-l/2}{d}\right)\cos\omega-t\right)-r\cdot ctg\gamma\cdot\cos\varphi\right]\cdot\left[-\frac{m}{d}sh\left(\frac{x-l/2}{d}\right)\cos\omega\right]-\right.$$

$$\left.c^2\left[x-r\cos\varphi-\left(m\cdot ch\left(\frac{x-l/2}{d}\right)\cos\omega-t\right)tg\varphi-r\cdot ctg\gamma\cdot\sin\varphi\right]\cdot\left[1-\frac{m}{d}sh\left(\frac{x-l/2}{d}\right)\cos\omega\cdot tg\varphi\right]\right\} \quad (23)$$

где

$$R=m\cdot ch\left(\frac{x-l/2}{d}\right) \qquad R'=\frac{m\cdot ch\left(\frac{x-l/2}{d}\right)\cos\omega-t}{\cos\varphi}$$

Тогда:

$$P=\int_{R_1=mch\left(\frac{x-l/2}{d}\right)\cos\omega-t}^{R_Б=mch\left(\frac{x-l/2}{d}\right)\cos\omega}dy\int_0^x\sqrt{1+\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2}\,dx \quad (24)$$

Уравнение конической поверхности восстанавливаемой детали в выбранной системе координат будет иметь вид:

$$\frac{y^2}{R_0^2}+\frac{z^2}{R_0^2}-\frac{(x+L+l)^2}{(L+l)^2}=0. \quad (25)$$

После преобразований:

$$\frac{y^2}{R_0^2}+\frac{z^2}{R_0^2}=\frac{(x+\frac{LR_0}{R_0-r_0})^2}{(\frac{LR_0}{R_0-r_0})^2}. \quad (26)$$

Уравнение ротационного резца:

$$\frac{(x-x_0)^2}{r^2}+\frac{(z-z_0)^2}{r^2}-\frac{(y-y_0)^2}{l_k^2}=0. \quad (27)$$

Далее:

$$\left[x-r\cdot\cos\varphi-\left(\left(R_0-\frac{R_0-r_0}{L}\cdot\xi\right)\cos\omega-t\right)\operatorname{tg}\varphi-r\cdot\operatorname{ctg}\gamma\cdot\sin\varphi\right]^2+\left[z+\left(R_0-\frac{R_0-r_0}{L}\xi\right)\sin\omega+r\cdot\cos\psi\right]^2=$$

$$=\left[y+r\cdot\sin\varphi-\left(R_0-\frac{R_0-r_0}{L}\xi\right)\cos\omega+t-r\cdot\operatorname{ctg}\gamma\cdot\cos\varphi\right]^2\operatorname{tg}^2\gamma=0. \quad (28)$$

После преобразований:

$$\left[x-r\cdot\cos\varphi-\left(\left(R_0-\frac{R_0-r_0}{L}\xi\right)\cos\omega-t\right)\operatorname{tg}\varphi-r\cdot\operatorname{ctg}\varphi\cdot\sin\varphi\right]^2$$

$$+\left[z+\left(R_0-\frac{R_0-r_0}{L}\xi\right)\sin\omega+\frac{r}{\sqrt{1+\frac{\operatorname{tg}^2\omega}{\sin^2\varphi}}}\right]^2=$$

$$=\left[y+r\cdot\sin\varphi-\left(R_0-\frac{R_0-r_0}{L}\xi\right)\cos\omega+t-r\cdot\operatorname{ctg}\gamma\cdot\cos\varphi\right]^2\operatorname{tg}^2\gamma\,. \quad (29)$$

Пересечение поверхностей:

$$\begin{cases}\dfrac{y^2}{R_0^2}+\dfrac{z^2}{R_0^2}=\dfrac{\left(x+\frac{L\cdot R_0}{R_0-r_0}\right)^2}{\left(\frac{L\cdot R_0}{R_0-r_0}\right)^2}; & (30)\\ \left[x-r\cdot\cos\varphi-\left(\left(R_0-\dfrac{R_0-r_0}{L}\xi\right)\cos\omega-t\right)\operatorname{tg}\varphi-r\cdot\operatorname{ctg}\gamma\cdot\sin\varphi\right]^2+ & \\ +\left[z+\left(R_0-\dfrac{R_0-r_0}{L}\xi\right)\sin\omega+\dfrac{r}{\sqrt{1+\frac{\operatorname{tg}^2\omega}{\sin^2\varphi}}}\right]^2= & (31)\\ =\left[y+r\cdot\sin\varphi-\left(R_0-\dfrac{l_0-r_0}{L}\xi\right)\cos\omega+t-r\cdot\operatorname{ctg}\gamma\cdot\cos\varphi\right]^2\operatorname{tg}^2\gamma & \end{cases}$$

После преобразований площадь среза при обработке детали в форме конуса:

$$S=\int_{R_0}^{r_0}dy\int_0^{x_1}\sqrt{1+\frac{B_1(x)+B_2(y)\operatorname{tg}^2\gamma}{B_2(y)-B_1(x)}}dx. \quad (32)$$

Вывод. Внедрение в производство бездемонтажного восстановления деталей с применением переносных станков и оборудования, а также с применением ротационной обработки, которая значительно сокращает объем ремонтных работ и сроки проведения ремонтов, позволит оптимизировать технологию восстановления и обеспечить заданные технологической документацией параметры качества и точности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондаренко Ю.А., Федоренко М.А., Санина Т.М. Применение ротационного резания при восстановлении цилиндричности цапфы. В сборнике: Вопросы современных технических наук: свежий взгляд и новые решения сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. 2017. С. 14-16.

2. Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Санина Т.М. Технологическое направление разработки приставных станков для восстановления геометрической точности деталей // В сборнике: Актуальные проблемы технических наук в России и за рубежом Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. 2016. С. 29–31.

3. Бондаренко Ю.А., Федоренко М.А. Бездемонтажное восстановление цапф трубных мельниц // Строительные материалы. 2003. № 8. С. 16.

4. Федоренко Т.М., Погонин А.А., Федоренко М.А. Анализ потери работоспособности цапф шаровых мельниц // Технология машиностроения. 2009. № 1. С. 30–31.

5. Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Федоренко Т.М. Станок для обработки цапф помольных мельниц. патент на полезную модель RUS 75339 07.02.2008

6. Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Санина Т.М., Маркова О.В. Приставной станок для обработки крупногабаритных внутренних поверхностей цилиндрического типа. Технология машиностроения. 2015. № 11. С. 27–28.

Fedorenko M.A., Bondarenko Y.A., Pogonin A.A.

RESTORE THE CYLINDRICAL SHAPE WITH DIFFERENT TYPES OF WEAR OF LARGE ROTATING PARTS

Currently, it is becoming increasingly urgent problem of improving the reliability and durability of the equipment and optimization of existing production technologies. Effective solution of this problem will contribute to the recovery of large worn units and parts of equipment of cement industry in the place of their operation without dismantling the lost reliability of the units.

Keywords: *machine, grinding mill, recovery, large items, wear.*

Федоренко Михаил Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры технология машиностроения.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: kdsm2002@mail.ru

Бондаренко Юлия Анатольевна, доктор технических наук, профессор кафедры технология машиностроения.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: kdsm2002@mail.ru

Погонин Анатолий Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры технология машиностроения.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: kdsm2002@mail.ru