

3. Potapova T.A, Nester E.V. Territorial complex as the object of evaluation of energy efficiency. Proceedings of the Bratsk State University: Ser.: Science and engineering - the development of Siberia: in 2 volumes – Bratsk: BSU, 2010-T.2. – 332p.

4. Potapova T.A, Nester E.V. Criteria for evaluation of energy efficiency of urban complex (for example Bratsk). Proceedings of the Bratsk State University: Ser.: Science and engineering - the development of Siberia: in 2 volumes – Bratsk: BSU, 2010. - V.2. P. 125-128.

5. Potapova T.A. Building as an integrated energy system Proceedings of the Bratsk State University: Ser.: Natural and Engineering Sciences - Development of Siberia: in 2 volumes – Bratsk: BSU, 2011. - V.2. P. 102- 105.

6. Potapova T.A. Regional features of rationing energy residential buildings in Eastern Siberia (the Bratsk example). Proceedings of the Bratsk State University: Ser.: Science and engineering - the development of Siberia: in 2 volumes – Bratsk: BSU, 2011. - V.2. – 252p.

УДК 629.73

Центробежное формование изделий сложной формы из дисперсноупрочненных материалов

Н.П. Петров¹, А.С. Янюшкин², В.С. Григорьев¹, Ю.Г. Мразов¹

¹Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, Московский пр-т, 15, Чебоксары, Россия

²Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия. E-mail: yanyushkin@brstu.ru

Статья поступила 29.08.2012, принята 2.11.2012

В статье отражены возможные способы формования сложных изделий из дисперсноупрочненных порошковых материалов методами предварительной прокатки с вертикальной осью вращения матрицы. Установлено, что процесс формования и его результаты зависят от многих параметров: конфигурации получаемого изделия, свойств порошка, вращающейся формы и формующего ролика, частоты вращения формы, толщины формируемого слоя порошка и величины обжатия за проход. Рассмотрены кинематика и динамика движения порошка, которая представляет собой спиралевидную кривую, связанную с абсолютной скоростью движения ролика и образованную круговым вращением матрицы и сложным движением ролика. Определены зависимости главных напряжений от приведенного радиуса кривизны при вертикальной оси вращения матрицы. По результатам проведенных исследований спроектировано устройство и разработана технология изготовления полых деталей типа тел вращения.

Ключевые слова: формование изделий, порошки, центробежная прокатка, напряжения, динамика, кинематика движения, вертикальная ось вращения, матрица, напряжение, новые технологии.

Centrifugal forming of irregular shape articles made of age-hardened materials

N. P. Petrov¹, A.S. Yanyushkin², V.S. Grigoryev¹, Yu.G. Mrazov¹

¹Chuvash State University named after I. N Ulyanov, 15 Moskovsky av., Cheboksary, Russia

²Bratsk State University, 40, Makarenko str., Bratsk, Russia. E-mail: yanyushkin@brstu.ru

The article received 29.08.2012, accepted 2.11.2012

The article reveals the possible ways of forming the irregular shape articles made of age-hardened powder materials by the matrix pivot shaft pre-rolling methods. It has been stated that the forming process and its results depend on various parameters: the end article configuration, powder properties, rotating mould and forming roller, mould rotating speed, the mouldable powder layer thickness and draft per pass value. The kinematics and dynamics of powder motion, which represents a helical curve connected with absolute velocity of roller's motion and formed by the matrix circular rotation and roller's compound motion, have been considered. The principal stresses dependencies on the mismatch radius of curvature at the matrix pivot shaft have been determined. Based on the results of the conducted research, the device has been designed, and the fabrication method for hollow cores similar to a body of revolution has been developed.

Keywords: articles forming, powders, centrifugal rolling, stresses, dynamics, motion kinematics, pivot shaft, matrix, stress, new techniques.

Центробежная прокатка представляет собой способ формования порошкового слоя центробежными силами во вращающейся относительно вертикальной оси матрице с одновременным уплотнением роликом, совершающим движение по определенному закону в зави-

симости от требуемого профиля получаемого изделия. Очевидно, что процесс формования и его результаты зависят от многих параметров: конфигурации получаемого изделия, вращающейся формы и формующего ролика, частоты вращения формы, толщины формиру-

мого слоя порошка и величины обжатия за проход, свойств порошка и другое.

Известны два способа центробежной прокатки: с горизонтальным и вертикальным расположением матрицы [1]. Работы по холодному уплотнению порошка в полые цилиндрические заготовки только центробежными силами или сочетанием центробежных сил и сил воздействия обкатывающего порошок инструмента проводились, но в большей степени для устройств с горизонтальным положением матрицы и в меньшей степени - с вертикальным [2,3].

Формование происходит следующим образом. Во внутреннюю полость вращающейся матрицы загружается порошок. Далее увеличивается частота вращения матрицы и за счет центробежных сил порошок распределяется по стенке матрицы. Условием прокатки является то, что центробежные силы инерции частиц должны преобладать над силами тяжести [4]. Желание заглушить матрицу с любой из сторон при горизонтальном положении (рис.1, а) ведет к появлению так называемой «мертвой зоны» – зоны отсутствия или приближения к нулю центробежной силы инерции частиц. Сила тяжести в данном случае играет отрицательную разрушающую роль. Следовательно, порошок в этой зоне не удерживается, осыпается и может привести к разрушению сформованного слоя. Значит, изделия полые глухие с одной стороны типа тел вращения нельзя получить вышеназванным методом.

С поворотом оси вращения матрицы с горизонтального на вертикальное положение (рис.1, б) сила тяжести уплотняет порошок к днущу внутренней полости, ее действие положительно. Здесь зона, где центробежные силы стремятся к нулю, также присутствует, но порошок удерживается за счет геометрии внутренней поверхности матрицы.

На основе результатов проведенных исследований спроектировано устройство (рис. 1, б), а на его базе разрабатывается технология изготовления полых глухих с одной стороны деталей типа тел вращения. Рассмотрена кинематика и динамика процесса формования

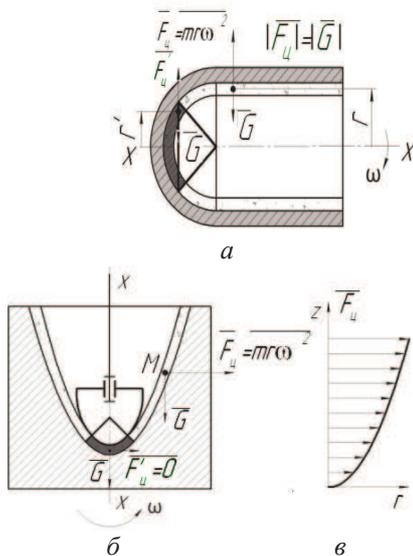


Рис. 1. Горизонтальное (а) и вертикальное (б) расположение матрицы.

На рис. 2,а представлена траектория движения точки А (точка контакта ролика с поверхностью порошкового слоя). Она представляет собой спиралевидную кривую с шагом t , связанную с абсолютной скоростью движения ролика. Эта кривая образована круговым вращением матрицы и сложным движением ролика [5].

На рис. 2, б показана кинематическая схема движения частицы порошка. Скорость точки A_2 , принадлежащей частице порошка, является суммарным вектором переносной скорости вращения матрицы и относительной скорости скольжения частицы вдоль стенки матрицы.

$$\vec{V}_{A_2} = \vec{V}_{A_1}^{пер} + \vec{V}_{A_2A_1}^{отн}$$

Переносная скорость направлена перпендикулярно радиус-вектору r_y в плоскости, перпендикулярной оси вращения матрицы. Относительная скорость – по касательной τ - τ к профилю стенки матрицы.

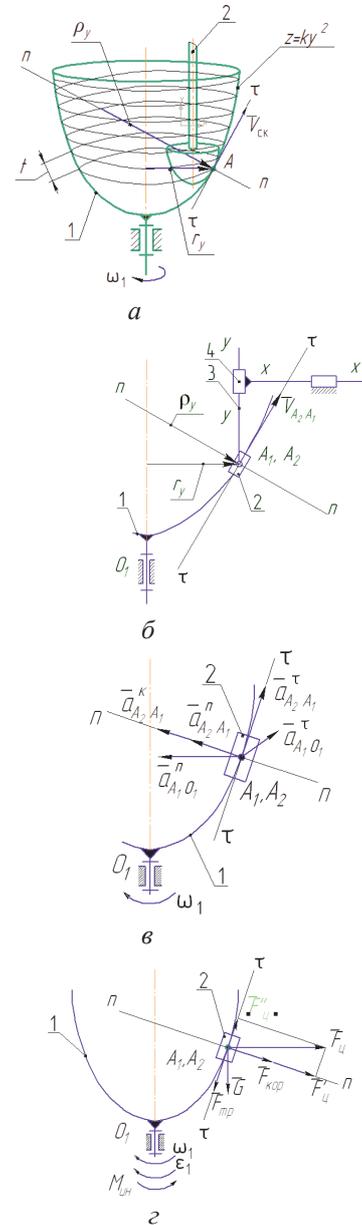


Рис. 2. Кинематические (а, б, в) и динамические (з) параметры точки контакта.

На рис. 2, в представлены ускорения, возникающие при движении той же точки. Аналогично скоростям, частица имеет ускорение переносного движения матрицы, ускорение относительного движения вдоль стенки матрицы и ускорение Кориолиса. В свою очередь переносное и относительное ускорения раскладываются на нормальную и тангенциальную составляющие.

$$\begin{aligned} \overline{a_{A_2}}^{abc} &= \overline{a_{A_1}}^{nep} + \overline{a_{A_2 A_1}}^{omn} + \overline{a_{A_2 A_1}}^{kop} ; \\ \overline{a_{A_2}}^{abc} &= \overline{a_{A_1 O_1}}^{n} + \overline{a_{A_1 O_1}}^{r} + \overline{a_{A_2 A_1}}^{n} + \overline{a_{A_2 A_1}}^{r} + \overline{a_{A_2 A_1}}^{k} . \end{aligned}$$

Определив ускорения частицы порошка и зная ее массу можно определить силы, действующие на нее в процессе формования (рис. 2, г).

На частицу действует сила тяжести G , центробежная сила инерции $F_{ц}$, сила Кориолиса $F_{кор}$. Наибольшей по величине из них будет центробежная сила (рис. 3, а). Раскладываем центробежную силу инерции на две составляющие $F'_{ц}$ и $F''_{ц}$. Сила $F'_{ц}$ будет той силой, которая распределяет порошок по контуру матрицы, а $F'_{ц}$ и $F_{кор}$ будут силами, уплотняющими порошковый слой.

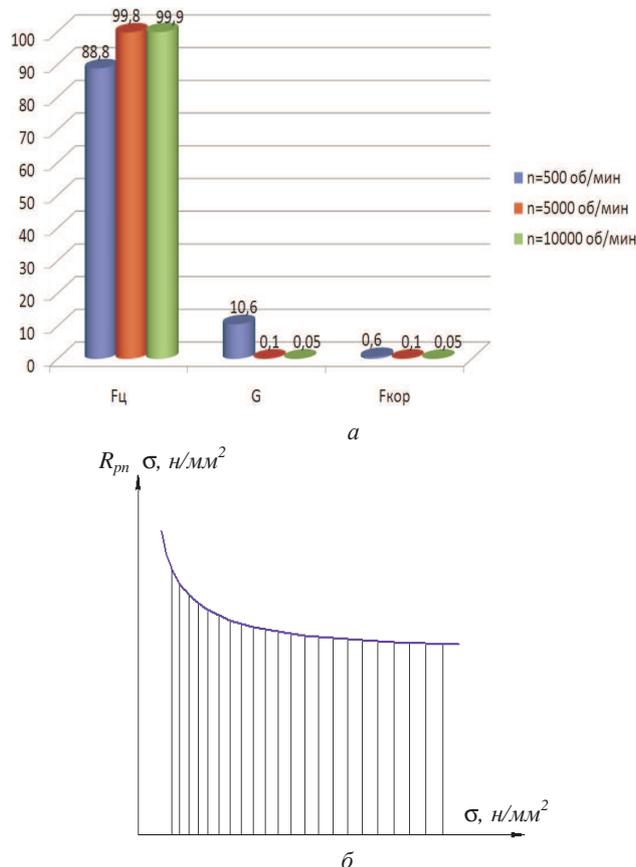


Рис. 3. Соотношение сил (а) и зависимость напряжений от приведенного радиуса (б).

Также действует сила трения $F_{тр}$, определяемая по следующей формуле:

$$F_{тр} = f (F'_{ц} + F_{кор}) ,$$

где f – коэффициент трения порошка о стенку матрицы. Известно, что контактные напряжения в высшей паре определяются по формуле Герца:

$$\sigma = 0,418 \sqrt{\frac{Q}{b} \cdot E \cdot \frac{1}{\rho^{np}}}$$

где Q/b – распределенная нагрузка на контактной поверхности, E – модуль упругости материалов, $1/\rho^{np} = 1/\rho_1 + 1/\rho_2$, где ρ_1 и ρ_2 – радиусы кривизны поверхностей матрицы и ролика.

Зависимость напряжений от приведенного радиуса кривизны при вертикальном расположении матрицы, рабочая поверхность которой выполнена по зависимости $y=1/25 x^2$, представлена на рис. 3, б.

Под действием сил в режиме разгона (рис. 4, а) на элементарный объем, рассмотренный в плоскости, перпендикулярном оси вращения матрицы, возникают главные напряжения σ_1, σ_2 и σ_3 (рис. 4, б). Напряжение σ_1 возникает от действия центробежной силы инерции, напряжение σ_2 – от момента сил инерции, а напряжение σ_3 – от тангенциальной составляющей силы инерции и силы тяжести.

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_{F'_{ц}} + \sigma_{F_{кор}} + \sigma_{G'} ; \quad \sigma_2 = \sigma_{F''_{ц}} ; \\ \sigma_3 &= \sigma_{F'_{ц}} + \sigma_{G'} + \sigma_{F_{мп}} . \end{aligned}$$

где $F'_{ц} = F_{ц} \cdot \cos \alpha$, $F''_{ц} = F_{ц} \cdot \sin \alpha$, $G' = G \cdot \sin \alpha$, $G'' = G \cdot \cos \alpha$

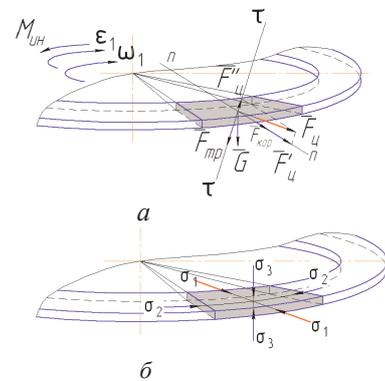


Рис. 4. Схема нагружения (а) и напряженного состояния (б) в режиме разгона.

Так как центробежная сила $F_{ц}$ на порядок превышает остальные силы, то $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ и элементарный объем изменяет свои размеры больше в направлении действия σ_3 .

В режиме установившегося движения порошок находится в покое относительно матрицы. Происходит процесс уплотнения роликом. К силам добавляется реакция со стороны ролика на порошковый слой (рис. 5, а).

Результатом действия этих сил являются напряжения σ_1 и σ_3 (рис. 5, б)

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_{F'_{ц}} + \sigma_{F_{кор}} + \sigma_{G'} + \sigma_{R_{пр}} ; \\ \sigma_3 &= \sigma_{F'_{ц}} + \sigma_{G'} + \sigma_{F_{мп}} . \end{aligned}$$

