

личности, разумная инновационная политика белорусского государства выступают в качестве гаранта решения актуальных проблем страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семашко В. Стратегия инновационного развития / В. Семашко // Республика – Экономическая среда. – 2006. – 4 октября – с. 2.
2. Асцатуров Ю.Г. Электрохимические основы и разработка технологических решений эффективной обработки коррозионной стали: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.17.03 / Ю.Г. Асцатуров; Южно-Российский гос. технич. ун-т (Новочеркасский политехнический ин-т). – Новочеркасск, 2005. – 18 с.
3. Корсаков В.С. Точность механической обработки. – М.: Машиностроение, 1961. – 377 с.
4. Артамонов Б.А. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Учеб. пособие (в 2-х томах) Т. II. Обработка материалов с использованием высококонцентрированных источников энергии / Б.А. Артамонов, Ю.С. Волков, В.И. Дрожалова и др.; под ред. В.П. Смоленцева. – М.: Высш. шк., 1983. – 208 с.
5. Де Барр А.Е. Электрохимическая обработка (перевод с англ.) / А.Е. Де Барр, Д.А. Оливер. – М.: Машиностроение, 1973. – 184 с.
6. Байсунов И.А. Электрохимическая обработка металлов: Учеб. пособие для СПТУ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1988. – 184 с.
7. Яхова Е.А. Анодное растворение железа и малоуглеродистой стали в растворах нитратов и хлоратов при импульсной анодно-катодной обработке: автореф. дис. канд. хим. наук: 05.17.03 / Е.А. Яхова; Приднестр. гос. ун-т им. Т.Г. Шевченко. – М., 2002. – 15 с.
8. Головкина Е.Я. Метод электроимпульсного полирования металлов / Е.Я. Головкина, С.Н. Терехов, Ю.В. Синькевич, О.И. Авсеевич // Машиностроение. – Минск, 1988. – Вып. 13. – С. 40 – 43.
9. Синькевич Ю.В. Электроимпульсное полирование прецизионных отверстий / Ю.В. Синькевич, Г.Я. Беляев, И.Н. Янковский, Н.А. Киселева // Машиностроение: сб. научн. трудов. Вып. 22. – Мн.: БНТУ, 2006. – С. 44 – 48.

УДК 621.79

Беляева Г.И., Беляев Г.Я., Крушевский А.Е., Присевок А.Ф.

РАСЧЕТ ФОРМЫ ПИТАТЕЛЯ ПЛАЗМОТРОНА

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

При газопламенном и плазменном напылении порошковых материалов, особенно с малыми значениями удельного веса (порошки на основе пластических материалов и др.), часто наблюдаются случаи прекращения подачи порошка из питателя. Это объясняется тем, что в питателе образуется, несмотря на наличие избыточного давления, купол из порошка, который и держит на себе всю массу порошковой смеси. В связи с этим представляется важным найти математические зависимости, связывающие размерные характеристики формы питателя, физико-механические свойства порошков и параметры процесса напыления.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О СВОДООБРАЗОВАНИИ

Запишем дифференциальные уравнения сыпучей среды для плоского элемента (плоская задача) в полярных координатах:

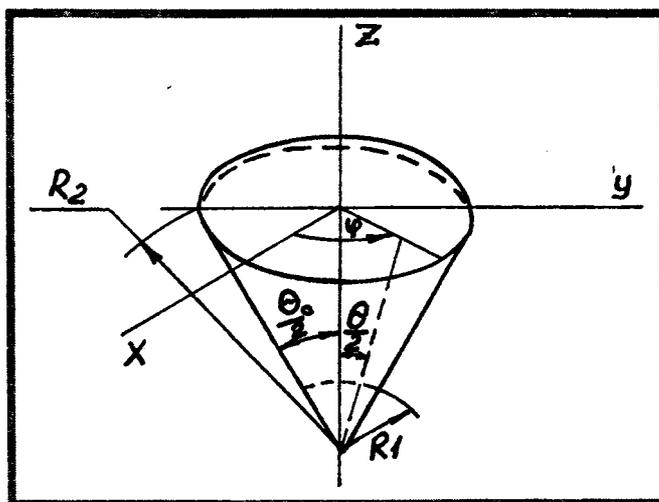


Рисунок 1 – К решению задачи о сводообразовании

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{r} + \frac{\partial \tau}{r \cdot \partial \varphi} = \gamma; \quad (1)$$

$$\frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial(r^2 \cdot \tau)}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_\varphi}{\partial \varphi} = 0. \quad (2)$$

Так как растягивающие напряжения для сыпучей среды не существуют, то в расчет принимаются только напряжения сжатия и касательные напряжения. В уравнениях σ_r и σ_φ - нормальные напряжения сжатия; τ - касательные напряжения; γ - насыпная плотность (удельный вес) порошкового материала.

В качестве третьего уравнения используем равенство, учитывающее физико-механические свойства порошка.

$$\sigma_\varphi = \lambda \cdot \sigma_r = -\lambda \cdot p; \text{ причем, } \lambda > 0; \quad (3)$$

где λ - коэффициент бокового распора; p - радиальное давление внутри порошка.

Уравнения (1...3) справедливы для тех областей, в которых силы сцепления между частицами меньше сил трения, т.е.:

$$\tau < \tau_0 + f \cdot p, \quad (4)$$

где τ_0 - начальное сопротивление сдвигу; f - коэффициент трения.

Если равенство (4) нарушается, то это означает, что частицы порошка движутся друг относительно друга. Таким образом, задача сводится к тому, чтобы отыскать в питателе (бункере) область, где соблюдается предельный случай равновесия

$$\tau = \tau_0 + f \cdot p.$$

Учитывая зависимость (3), приведем уравнения (1,2) к виду

$$-\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial(r \cdot p)}{\partial r} + \frac{\lambda \cdot p}{r} + \frac{\partial \tau}{r \partial \varphi} = \gamma; \quad (5)$$

$$\frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial(r^2 \cdot \tau)}{\partial r} - \frac{\lambda \partial p}{r \partial \varphi} = 0. \quad (6)$$

Если теперь умножить уравнение (5) на r^3 и продифференцировать его по r , а уравнение (6) умножить на r^2 и продифференцировать по φ , затем вычтуть одно уравнение из другого, можно исключить τ и получить одно уравнение относительно искомого давления

$$-\frac{\partial}{\partial r} \left[r^2 \cdot \frac{\partial(r \cdot p)}{\partial r} \right] + \lambda \cdot \left[\frac{\partial(r^2 p)}{\partial r} + r \cdot \frac{\partial^2 p}{\partial \varphi^2} \right] = 3\gamma \cdot r^2,$$

или после упрощения

$$r^2 \cdot \frac{\partial^2 p}{\partial r^2} + r \cdot (4 - \lambda) \cdot \frac{\partial p}{\partial r} + 2(1 - \lambda) \cdot p - \lambda \cdot \frac{\partial^2 p}{\partial \varphi^2} + 3\gamma \cdot r = 0. \quad (7)$$

Общее решение неоднородного уравнения (7) состоит из суммы общего решения однородного уравнения и частного решения неоднородного:

$$p = \bar{p} + p^*$$

Частное решение неоднородного уравнения p^* ищем в виде:

$$p^* = A \cdot r; \quad A(4 - \lambda) + 2(1 - \lambda) \cdot A = -3\gamma;$$

$$A = -\frac{3\gamma}{6 - 3\lambda} = -\frac{\gamma}{2 - \lambda}; \quad \text{тогда } p^* = -\frac{\gamma \cdot r}{2 - \lambda}.$$

Общее решение однородного уравнения

$$r^2 \cdot \frac{\partial^2 \bar{p}}{\partial r^2} + (4 - \lambda) \cdot r \cdot \frac{\partial \bar{p}}{\partial r} + 2(1 - \lambda) \cdot \bar{p} - \lambda \frac{\partial^2 \bar{p}}{\partial \varphi^2} = 0;$$

ищем в виде

$$\bar{p} = B(r) \cdot \cos \frac{2\pi \cdot n \cdot \varphi}{\varphi_0},$$

где $B(r)$ определяется из обыкновенного дифференциального уравнения Эйлера:

$$r^2 \cdot \frac{d^2 B}{dr^2} + (4 - \lambda) \cdot r \cdot \frac{dB}{dr} + 2(1 - \lambda) \cdot B + \lambda \frac{4\pi^2 n^2 B}{\varphi_0^2} = 0. \quad (8)$$

Решение уравнения (8) запишется в виде:

$$B(r) = r^m,$$

где m определяется из характеристического уравнения

$$m \cdot (m - 1) + (4 - \lambda) \cdot m + 2(1 - \lambda) + \lambda \frac{4\pi^2 n^2}{\varphi_0^2} = 0.$$

Откуда

$$m_{1,2} = \frac{-(3 - \lambda) \pm \sqrt{(1 - \lambda)^2 - \frac{16\pi^2 \cdot n^2 \cdot \lambda}{\varphi_0^2}}}{2}.$$

Тогда общим решением уравнения (7) будет:

$$p(r, \varphi) = \sum_{n=0}^{\infty} (C_{1n} \cdot r^{m_1} + C_{2n} \cdot r^{m_2}) \cos \frac{2\pi n \varphi}{\varphi_0} - \frac{\gamma \cdot r}{2 - \lambda}.$$

Произвольные постоянные C_{1n} и C_{2n} определяются из краевых условий при $r=R_1$ и $r=R_2$.

$$p = p_0 + \sum_{n=0}^{\infty} p_n \cos \frac{2\pi n \varphi}{\varphi_0}.$$

$$\text{При } r=R_1 \quad p=0; \quad \text{при } r=R_2 \quad C_{10} R_1^{-2} + C_{20} R_1^{-(1-\lambda)} = \frac{\gamma \cdot R_1}{2 - \lambda}; \quad (9)$$

$$C_{10} R_2^{-2} + C_{20} R_2^{-(1-\lambda)} = p_0 + \frac{\gamma R_2}{2 - \lambda};$$

$$\left. \begin{aligned} C_{1n} \cdot R_1^{m_1} + C_{2n} \cdot R_1^{m_2} &= 0 \\ C_{1n} \cdot R_2^{m_1} + C_{2n} \cdot R_2^{m_2} &= p_n \end{aligned} \right\} \quad n=1,2,3\dots \quad (10)$$

Решение уравнений (9) и (10) дает следующие выражения для коэффициентов C^b, C^d, C^h, C^z :

$$C_{10} = - \frac{p_0 \cdot R_1^{(1+\lambda)} \cdot \left[R_2^2 + \frac{\gamma(R_2^3 - R_1^3)}{p_0 \cdot (2 - \lambda)} \right]}{R_2^{1+\lambda} - R_1^{1+\lambda}} + \frac{\gamma \cdot R_1}{2 - \lambda};$$

$$C_{20} = \frac{p_0 \cdot R_2^2 + \frac{\gamma}{2 - \lambda} \cdot (R_2^3 - R_1^3)}{R_2^{1+\lambda} - R_1^{1+\lambda}};$$

$$C_{1n} = - \frac{p_n \cdot R_1^{m_2 - m_1}}{R_2^{m_1} \cdot (R_2^{m_2 - m_1} - R_1^{m_2 - m_1})};$$

$$C_{2n} = \frac{p_n}{R_1^{m_2} (R_2^{m_2 - m_1} - R_1^{m_2 - m_1})}.$$

Окончательно для давления p с учетом краевых условий имеем:

$$p(r, \varphi) = \frac{\left[R_2^2 \cdot p_0 + \frac{\gamma}{2-\lambda} \cdot (R_2^3 - R_1^3) \right] \cdot \left[r^{-(1-\lambda)} - R_1^{1+\lambda} \cdot r^{-2} \right]}{R_2^{1+\lambda} - R_1^{1+\lambda}} + \frac{\gamma}{2-\lambda} \left(\frac{R_1^3}{r^2} - r \right) + \sum_{n=1}^{\infty} p_n \cdot \frac{\left(r^{m_2} - R_1^{m_2-m_1} \cdot r^{m_1} \right)}{R_2^{m_1} \cdot \left(R_2^{m_2-m_1} - R_1^{m_2-m_1} \right)} \cdot \cos \frac{2\pi \cdot n \cdot \varphi}{\varphi_0}. \quad (11)$$

Полагая, что $r|\varphi = \pm \frac{\varphi_0}{2} = 0$, для касательных напряжений соответственно получим

$$\tau = \left(\varphi \pm \frac{\varphi_0}{2} \right) \cdot \left\{ \gamma \cdot r + \frac{\left[p_0 \cdot R_2^2 + \frac{\gamma}{2-\lambda} \cdot (R_2^3 - R_1^3) \right] \cdot (1+\lambda) \cdot R_1^{1+\lambda} \cdot r^{-2}}{R_2^{1+\lambda} - R_1^{1+\lambda}} - \frac{\gamma}{2-\lambda} \left[(2-\lambda) \cdot r + \frac{(1+\lambda) \cdot R_1^3}{r^2} \right] \right\} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{p_n \cdot \varphi_0 \cdot \sin \frac{2\pi n \varphi}{\varphi_0} \cdot \left[r^{m_2} (1-\lambda+m_2) - R_1^{m_2-m_1} \cdot r^{m_1} \cdot (1-\lambda+m_1) \right]}{2\pi n R_2^{m_1} \cdot \left(R_2^{m_2-m_1} - R_1^{m_2-m_1} \right)}. \quad (12)$$

Для составления уравнения линии сводаобразования используем зависимость

$$\tau = \tau_0 + f \cdot p,$$

где τ_0 - начальное сопротивление сдвигу.

$$\left(\varphi \pm \frac{\varphi_0}{2} \right) \cdot \left\{ \gamma \cdot r + \frac{(1+\lambda) \cdot R_1^{1+\lambda} \cdot \left[p_0 \cdot R_2^2 + \frac{\gamma \cdot f \cdot (R_2^3 - R_1^3)}{2-\lambda} \right]}{r^2 \cdot \left(R_2^{1+\lambda} - R_1^{1+\lambda} \right)} - \frac{\gamma}{2-\lambda} \left[(2-\lambda) \cdot r + \frac{(1+\lambda) \cdot R_1^3}{r^2} \right] \right\} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{p_n \varphi_0 \cdot \sin \frac{2\pi n \varphi}{\varphi_0} \cdot \left[(1-\lambda+m_2) \cdot r^{m_2} - (1-\lambda+m_1) \cdot r^{m_1} \right]}{2\pi n R_2^{m_1} \cdot \left(R_2^{m_2-m_1} - R_1^{m_2-m_1} \right)} = \\ = \tau_0 + f \cdot \left\{ \frac{p_0 \cdot R_2^2 + \frac{\gamma}{2-\lambda} \cdot (R_2^3 - R_1^3)}{R_2^{1+\lambda} - R_1^{1+\lambda}} \cdot \left[r^{-(1-\lambda)} - R_1^{1+\lambda} \cdot r^{-2} \right] + \frac{\gamma}{2-\lambda} \cdot \left(\frac{R_1^3}{r^2} - r \right) \right\} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{r^{m_2} - R_1^{m_2-m_1} \cdot r^{m_1}}{R_2^{m_1} \cdot \left(R_2^{m_2-m_1} - R_1^{m_2-m_1} \right)} \cdot \cos \frac{2\pi n \varphi}{\varphi_0}.$$

При равномерном давлении $p_n=0$, тогда

$$\left(\varphi \pm \frac{\varphi_0}{2} \right) \cdot \left\{ \gamma \cdot r + \frac{(1+\lambda) \cdot R_1^{1+\lambda} \cdot \left[p_0 R_2^2 + \frac{\gamma}{2-\lambda} \cdot (R_2^3 - R_1^3) \right]}{r^2 \cdot \left(R_2^{1+\lambda} - R_1^{1+\lambda} \right)} - \frac{\gamma}{2-\lambda} \cdot \left[(2-\lambda) \cdot r + \frac{(1+\lambda) \cdot R_1^3}{r^2} \right] \right\} = \\ = \tau_0 + f \cdot \left\{ \frac{p_0 \cdot R_2^2 + \frac{\gamma}{2-\lambda} \cdot (R_2^3 - R_1^3)}{R_2^{1+\lambda} - R_1^{1+\lambda}} \cdot \left[r^{-(1-\lambda)} - R_1^{1+\lambda} \cdot r^{-2} \right] + \frac{\gamma}{2-\lambda} \cdot \left(\frac{R_1^3}{r^2} - r \right) \right\}.$$

Используя две последние аналитические зависимости радиуса r от угла φ и параметров питателя R_1, R_2, φ_0 , а также от физико-механических свойств порошка γ, λ, τ и давления p_0 и p_n при образовании свода, можно осуществить выбор рациональной конструкции питателя, обеспечивающего равномерное истечение порошка.

Выводы

Полученные при решении плоской задачи зависимости размерных параметров питателя от физико-механических свойств порошковой массы и избыточного давления внутри питателя вполне пригодны для определения размеров питателя с малыми углами воронки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудинов В.В., Бобров Г.В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. – М.: Металлургия, 1992. – 429 с. 2. Г. Корн, Е. Корн. Справочник по математике. Для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1978. – 832 с. с илл.

The determination of the rational form of a feeder

When powdered mixes are sprayed with gas – flame, especially with low value of relative density (powders on plastic material base and enc.) often there are cases of powder supply termination from the feeder. This is caused by the fact of the powder dome formation in the feeder, even if pressure is excessive, which holds the entire powder mix mass.

That is why it is important to find mathematical dependencies which connect the feeder form characteristics, physical and mechanical properties of powders and parameters of spraying process.

УДК 621.785.53, 621.793.4

Шматов А. А., Федотов Ф. О.

МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ ДИФфуЗИОННЫЕ КАРБИДНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ЧУГУНАХ

*Белорусский национальный технический Университет
Минск, Беларусь*

В целях экономии некоторые производители погружных насосов для нефтедобычи изготавливают их рабочие органы (направляющие аппараты и рабочие колеса) из модифицированных серых чугунов. Но такие насосы имеют недостаточно высокий ресурс работы, поскольку чугунные детали долго не выдерживают абразивного изнашивания твердых частиц и коррозионного воздействия сернистых соединений, входящих в состав пластовой жидкости, которую выкачивают из скважины. Поэтому нанесение коррозионно-стойких и износостойких покрытий на поверхность чугунных деталей является обязательным условием продления срока службы погружных насосов для нефтедобычи. Этим требованиям в наибольшей степени отвечают многокомпонентные покрытия на основе карбидов, которые могут обладать комплексом высоких физико-химических, механических и технологических свойств [1,2].

Однако процессы нанесения многокомпонентных карбидных покрытий на чугуны пока мало изучены. С другой стороны, известные методы поверхностного упрочнения не всегда могут сформировать карбидные покрытия, одновременно легированные несколькими тугоплавкими металлами. К лучшим зарубежным способам поверхностного упрочнения относятся PVD и CVD процессы для осаждения тугоплавких соединений, в т. ч. карбидов, на поверхность изделий. Эти методы позволяют получать многослойные и многокомпонентные покрытия, причем каждый слой состоит преимущественно из соединений, в т.ч. карбидов, одного и редко двух легирующих металлов. Данный процесс крайне трудоемок, энергоемок, требует применения дорогостоящего вакуумного оборудования и большого расхода дорогих компонентов [3].