

УДК 621.762

МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПОКРЫТИЯ НА ДЛИННОМЕРНОЕ ИЗДЕЛИЕ В ПРОЦЕССЕ ВОЛОЧЕНИЯ

Н. В. Иноземцева, А. Т. Бельский

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого, Республика Беларусь»

Формирование покрытия на длинномерное изделие может осуществляться различными методами: шликерный метод, метод погружения в расплав, метод натирания и др.

В последнее время большое внимание уделяется разработке процессов нанесения покрытия с формированием слоя из порошка металла методами обработки металлов давлением [1]. Процесс формирования порошкового покрытия с помощью указанных методов заключается в совместной пластической деформации основы и металлического порошка деформирующим инструментом. Совместная пластическая деформация позволяет не только сформировать порошковое покрытие, но и закрепить его на длинномерном изделии.

В настоящее время наиболее полно исследовано напряженное состояние при формировании порошкового покрытия на длинномерном изделии в процессе прокатки [2]. Для теоретического определения контактных напряжений по данному методу очаг уплотнения деформации порошка условно был разделен на два участка. На первом участке происходит уплотнение и деформация порошка без пластической деформации подложки, а на втором – порошковый слой деформируется на пластически деформируемой подложке.

Данная работа посвящена определению действующих напряжений в очаге деформации при формировании покрытия в процессе волочения. Необходимым условием формирования порошкового покрытия в процессе волочения является достижение состояния плотности утряски у входа в рабочий конус волоки.

Исследуя напряженное состояние при формировании покрытия из металлического порошка на длинномерное изделие в процессе волочения, очаг уплотнения (рабочий конус волоки) условно разделяется на три участка (рис. 1).

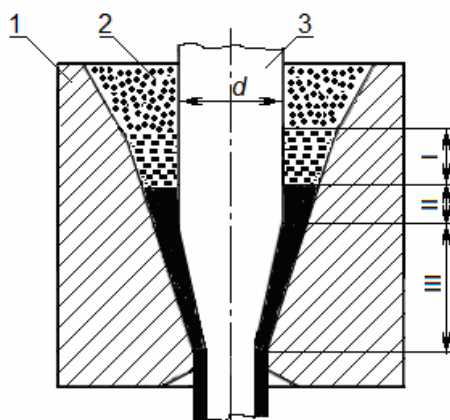


Рис. 1. Схема формирования покрытия из порошка металла при волочении:

1 – волока; 2 – порошок; 3 – проволока

На первом участке рабочего конуса волокна происходит увеличение плотности порошка металла от состояния утряски до состояния компактного металла. Уплотнение металлического порошка на первом участке осуществляется в основном за счет пластической деформации его частиц, что приводит к схватыванию отдельных частиц друг с другом.

При рассмотрении напряженного состояния на этом участке [3] были сделаны допущения, что пористость равномерно распределена по объему порошка металла, плотность по ширине деформируемого покрытия одинаковая и уплотняемый материал является средой с однородной структурой. Такие допущения позволили применить к порошку металла общие законы механики деформируемого тела.

На втором участке происходит деформация формируемого покрытия. В конце второго участка напряжение в сердечнике достигает предела текучести. Определенное напряженное состояние в покрытии и сердечнике и исследуется в этой работе.

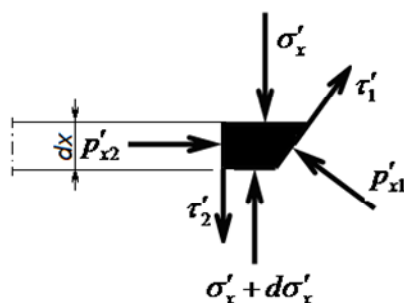


Рис. 2. Кольцевой элемент второго участка

Уравнение равновесия всех сил, действующих на кольцевой элемент покрытия толщиной dx на втором участке (рис. 2), можно получить в следующем виде:

$$\sigma'_x dA_x - d\sigma'_x A_x + \tau'_2 dx \pi d - \tau'_1 \pi D_x dx - p'_{x1} \pi D_x dx \operatorname{tg} \alpha = 0.$$

Фактическое сопротивление пластической деформации порошка на этом участке формирования покрытия при волочении представим в виде

$$\sigma'_\phi = n_t n_v \left(\sigma_{\text{тк}} + m_1 \frac{A_k}{A_x} - m_1 \right),$$

где d – диаметр сердечника; D_x – диаметр рабочего конуса волокна в сечении x ; α – рабочий угол волокна; A_x – площадь покрытия в сечении x ; A_k – площадь покрытия в конце второго участка; n_t – коэффициент, учитывающий влияние температуры; n_v – коэффициент, учитывающий влияние скорости волочения; $\sigma_{\text{тк}}$ – предел текучести материала покрытия в начале второго участка; m_1 – модуль упрочнения на втором участке.

Принимая $\tau'_1 = f_1 p'_{x1}$ и $\tau'_2 = 0,5 \sigma'_\phi$, а также условие пластичности течения осесимметричных тел в виде

$$p'_x = n_\beta \sigma'_\phi + \sigma'_x,$$

получим дифференциальное уравнение в следующем виде:

$$\frac{dp'_x}{dD_x} - A_2 p'_x \frac{2D_x}{D_x^2 - d^2} = -B_2 \frac{2D_x}{(D_x^2 - d^2)^2} - B_3 \frac{2D_x}{D_x^2 - d^2},$$

где n_β – коэффициент Лоде; A_2, B_2, B_3 – коэффициенты.

Постоянные коэффициенты, входящие в данное дифференциальное уравнение, определяют по выражениям:

$$A_2 = 1 + \frac{f_1 + \operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}\alpha(1 - f_1 \operatorname{tg}\alpha)}; \quad B_2 = 8n_\tau n_\nu n_\beta m_1 \frac{A_k}{\pi} + \frac{M_2}{2D_{cp}}; \quad B_3 = n_\tau n_\nu n_\beta (\sigma_{\text{тк}} - m_1) + \frac{M_1}{2D_{cp}}.$$

Данное дифференциальное уравнение представляет собой линейное неоднородное уравнение первого порядка и относится к виду

$$\frac{dy}{dx} + \Phi_x y = Q_x,$$

и имеет интегрирующий множитель:

$$z = e^{\int \Phi_x dx}.$$

Общий интеграл дифференциального уравнения представляет собой следующее выражение:

$$y = e^{\pm \int \Phi_x dx} \left(C + \int Q_x e^{\mp \int \Phi_x dx} dx \right).$$

После интегрирование получим зависимость распределения нормального контактного давления вдоль очага деформации на втором участке формирования покрытия в следующем виде:

$$p'_x = \left[p_1 - \frac{B_3}{A_2} - \frac{B_2}{(A_2 + 1)(D_x^2 - d^2)} \right] \frac{(D_x^2 - d^2)^{A_2}}{(D_x^2 - d^2)^{A_2}} + \frac{B_2}{(A_2 + 1)(D_x^2 - d^2)} + \frac{B_3}{A_2}.$$

На основании теоретических исследований были получены зависимости для определения нормального напряжения p_x в слое покрытия в сердечнике на втором участке формирования покрытия в процессе волочения.

Литература

1. Бобарикин, Ю. Л. Технологическое условие образования соединения между металлической основой и порошковым покрытием на стадии их совместной пластической деформации в технологиях плакирования / Ю. Л. Бобарикин, Н. В. Иноземцева // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2006. – № 3. – С. 15–21.
2. Бобарикин, Ю. Л. Теоретическое определение контактных напряжений при плакировании полос порошковыми материалами / Ю. Л. Бобарикин, Н. И. Стрикель, А. М. Урбанович // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2000. – № 2. – С. 15–24.
3. Бельский, А.Т. Теоретическое исследование напряженного состояния в очаге деформации при формировании покрытия в процессе волочения / А. Т. Бельский, Н. В. Иноземцева // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2020. – № 1. – С. 23–31.