

# **ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СПЛОШНОСТИ ПОКРЫТИЯ ПРИ ПЛАКИРОВАНИИ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЩЕТКОЙ**

**А.А. Лукашик, аспирант; М.А. Леванцевич, канд. техн. наук**

*Институт механики и надежности машин*

(г. Минск, Республика Беларусь)

## **Technological maintenance of the surface continuousness during the rotary metal brash cladding**

There is a functional dependence for the determination of the optimal relation between design parameters of a brash and technological regimes of the surfacing process. According to the formula it is possible to obtain a continuous coating per one brash pass along the work surface.

Восстановление изношенных поверхностей деталей машин является задачей, требующей эффективных, и в то же время недорогих технологических приемов. Современное машиностроение располагает достаточным арсеналом средств и методов нанесения покрытий. Вместе с тем применение большинства из них не всегда возможно. Во многих случаях это связано с вопросами экономической целесообразности использования известных методов.

В последние годы получила распространение технология нанесения покрытия на металлическую поверхность с помощью гибкого инструмента, в качестве которого применяется вращающаяся металлическая щетка. Предпосылкой к распространению этого метода послужила его простота в реализации и уникальные свойства получаемого покрытия. В результате механического воздействия щетки на поверхность последняя значительно упрочняется (явление наплена), а сам материал покрытия переходит в особое состояние, характеризующееся повышенной микротвердостью.

Однако простая на первый взгляд технология потребовала точного подбора многих технологических параметров. В различной степени на стабильность процесса нанесения равномерного сплошного покрытия оказывают влияние следующие факторы: термодинамические параметры процесса (температура в зоне контакта ворса с поверхностью, температура материала покрытия и обрабатываемой детали и т.д.); конструктивные параметры щетки (ширина щетки, диаметр щетки и ворса, длина вылета и плотность набивки

ворса и т.д.); технологические параметры процесса (частота вращения щетки, относительная скорость перемещения ворса и обрабатываемого изделия, натяг и т.д.).

Существует большое число рекомендаций к выбору параметров процесса нанесения покрытия [1 – 4], однако в каждой из них приводятся режимы, пригодные лишь для конкретных геометрических параметров щетки, натяга и т.д. Кроме того, сами рекомендации основаны исключительно на опытных данных, поэтому они не являются наиболее оптимальными.

Между тем, есть возможность вычислить оптимальное отношение между конструктивными параметрами щетки и технологическими параметрами процесса нанесения покрытия. Условием оптимальности будем считать образование сплошного покрытия за один проход щетки.

Для выведения математической зависимости рассмотрим металлическую щетку с равномерно распределенным по периметру ворсом, обрабатывающую плоскую металлическую поверхность, которая перемещается со направлённо скорости движения ворса на участке контактирования его с поверхностью.

Обозначим геометрические параметры щетки (рис. 1):  $r$  – радиус щетки,  $b$  – торцевая ширина щетки,  $d_v$  – диаметр ворса,  $n_v$  – число ворсинок щетки.

Параметры процесса:  $\omega$  – угловая скорость вращения щетки,  $v$  – скорость перемещения поверхности изделия (далее поверхность),  $N_u$  – натяг между щеткой и поверхностью,  $l_u$  – длина ворса щетки.

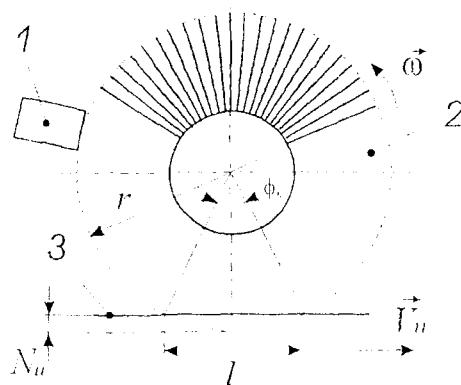


Рис. 1. Расчетная схема процесса нанесения покрытия

Оптимальную скорость скольжения ворса по поверхности (относительную скорость) можно определить из того условия, что каждая последующая ворсинка, идущая за контактирующей в данный момент, не должна снимать только что нанесенный материал покрытия.

Будем считать, что в результате пластического контакта ворсинка не отскакивает от обрабатываемой поверхности в момент удара, и на всем пути скольжения ворсинки происходит перенос материала покрытия на поверхность. Учитывая, что  $N_u \ll l_s$ , время контакта ворсинки с поверхностью можно определить по формуле

$$t_k = \frac{\varphi_k}{\omega}. \quad (1)$$

Из геометрических соображений угол контакта ворса можно определить как

$$\varphi_k = 2 \cdot \arccos \left( 1 - \frac{N_u}{r} \right). \quad (2)$$

При условии неподвижности обрабатываемой поверхности путь скольжения ворсинки по поверхности будет равен

$$l = 2 \cdot \sqrt{2 \cdot r \cdot N_u + N_u^2}. \quad (3)$$

Определим период  $\tau$ , за который входят в контакт ворсинки, находящиеся на одной линии атаки по отношению к обрабатываемой поверхности. За время  $\tau$  свободный конец ворсинки проходит путь  $a$ , равный расстоянию между центрами кончиков соседних ворсинок.

Площадь торцовой поверхности щетки, на которую в среднем приходится один кончик ворсинки, приблизительно равна

$$S_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot b}{n_s}.$$

Представив площадь  $S_1$  в виде квадрата, приближенно определим расстояние  $a$

$$a = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot b}{n_s}}. \quad (4)$$

Зная частоту вращения щетки и принимая во внимание, что  $a \ll r$ , находим

$$\tau = \frac{a}{\omega \cdot r}. \quad (5)$$

Подставляя (4) в (5), после сокращений получаем

$$\tau = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot b}{n_a \cdot r}}. \quad (6)$$

Составим уравнение оптимальной скорости изделия. Следующая за первой ворсинкой, выходя из контакта с поверхностью, одновременно должна «догнать» точку соударения первой ворсинки перемещающуюся поверхность. Принимая за начало времени момент вхождения первой ворсинки в контакт, запишем

$$t_k + \tau = \frac{l}{V_u}.$$

Отсюда находим искомую скорость перемещения изделия

$$V_u = \frac{l}{t_k + \tau}. \quad (7)$$

Подставляя (1), (2), (3) и (6) в (7), окончательно получаем

$$V_u = \frac{\omega \cdot \sqrt{2 \cdot r \cdot N_u + N_v^2}}{\arccos\left(1 - \frac{N_u}{r}\right) + \sqrt{\frac{\pi \cdot b}{2 \cdot n_a \cdot r}}}. \quad (8)$$

Исследуем, как зависит оптимальная скорость скольжения от величины натяга  $N_u$ .

Из графика на рисунке 2 видно, что при небольших натягах (менее 0,2 мм) поддержка требуемой скорости  $V_u$  затруднительна даже без учета неточности изготовления щетки и биений.

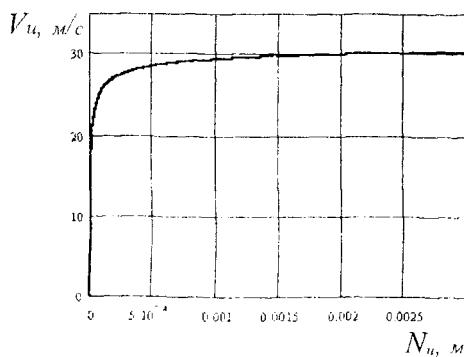


Рис. 2. Зависимость оптимальной скорости изделия от величины натяга для параметров:  $r = 200\text{мм}$ ,  $b = 20\text{мм}$ ,  $n_a = 3000$ ,  $\omega = 1500\text{об / мин}$

Действительный путь  $l_c$  скольжения ворса определим через длину дуги радиуса  $r$ , охватывающую участок скольжения (рис. 3)

$$\tilde{l}_c = \varphi_k \cdot (\omega \cdot r - V_u). \quad (9)$$

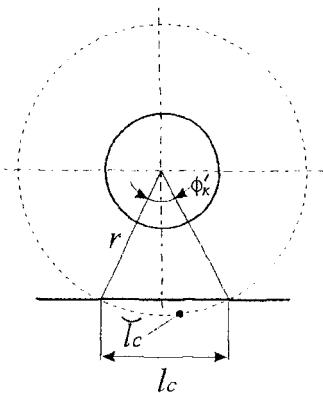


Рис. 3. Схема к расчету пути скольжения ворса

С другой стороны, дуга окружности, охватывающая хорду  $l_c$

$$\tilde{l}_c = \varphi'_k \cdot r, \quad (10)$$

где  $\varphi'_k$  – расчетный угол контакта.

Приравнивая (9) и (10), находим

$$\varphi'_k = \varphi_k \cdot \left( 1 - \frac{V_u}{\omega \cdot r} \right). \quad (11)$$

Согласно рисунку 2, путь скольжения равен

$$l_c = 2 \cdot r \cdot \sin\left(\frac{\varphi'_k}{2}\right). \quad (12)$$

Подставляя (2) и (6) в (7), окончательно получим

$$l_c = 2 \cdot r \cdot \sin\left(\arccos\left(1 - \frac{N_u}{r}\right) \left(1 - \frac{V_u}{\omega \cdot r}\right)\right). \quad (13)$$

Следует отметить, что реальный путь скольжения будет меньше расчетного в результате изгиба ворса в процессе контактирования с поверхностью. Однако расчет [5] показывает, что при наиболее часто используемых высоких частотах вращения щетки  $\omega$  (попрядка  $20 - 40 \text{ rad/s}$ ) и малых натягах  $N_u$  (менее  $3 \text{ мм}$ ) в результате дополнительного растягивающего действия центробежных сил величина прогиба незначительна. Тем не менее, прогиб ворса приводит

к уменьшению пути скольжения  $l_c$ , что может потребовать корректировки скорости  $V_u$  в меньшую сторону.

Таким образом, для получения сплошного покрытия рационально использовать щетку с максимально равномерной плотностью набивки ворса. Для поддержания требуемой скорости  $V_u$  целесообразно отдавать предпочтение величине натяга, соответствующей небольшому значению производной  $\frac{d}{dN_u}(V_u)$ . Это уменьшит отрицательное влияние конструкционных и кинематических неточностей технологического оборудования на процесс формирования покрытия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Белевский Л.С., Анцупов В.П., Досманов В.А. Повышение износостойкости нанесением медьсодержащих покрытий проволочными щетками // Трение и износ. – 1989. – №1.
2. Анцупов В.П., Белов В.К., Савельев В.Б. Исследование параметров поверхностного слоя при деформационном плакировании гибким инструментом // Трение и износ. – 1995. – №5.
3. Анцупов В.П., Савельев В.Б., Савельева Р.Н. Применение деформационного плакирования гибким инструментом для повышения износостойкости деталей пар трения // Трение и износ. – 1996. – №2.
4. Белевский Л.С. Комбинированный способ упрочнения поверхности // Физика и химия обработки материалов. – 1988.
5. Кургузов Ю.И., Папшев Д.Д. Технологическое обеспечение качества поверхности при упрочнении механическими щетками // Вестн. машиностроения. -- 1986. – №4.