

# ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЯ ПРИ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОМ НАПЫЛЕНИИ

## مميزات تشكيل الطلاء أثناء الرش الحراري للغاز



Процко Виолетта Юрьевна

فيوليتا يوريفنا بروتسكو

аспирантка УО «ГГТУ им. П.О. Сухого»

طالبة دكتوراه بحامعة سخوي الحكومية التقنية



Стасенко Дмитрий Леонидович

ديمترى ليونيدوفيتش ستاسينكو

к.т.н., доцент, зав. каф.

«Технология машиностроения»

ГГТУ им. П.О. Сухого

أستاذ مشارك، رئيس قسم تكنولوجيا

الهندسة الميكانيكية بحامعة سخوي

الحكومية التقنية

**Аннотация:** Процесс газотермического напыления покрытий основан на взаимодействии с поверхностью обрабатываемого изделия части расплава, которая растекаясь, деформируется и заполняет все поры и неровности поверхности, что позволяет сформировать защитный слой. Процесс растекания капли расплава по твердой поверхности состоит из трех последовательных стадий – образование из капли пленки, утончение пленки при растекании, затвердевание.

**Ключевые слова:** толщины, толщины пленки, покрытия, поверхность вращающейся заготовки.

**الخلاصة:** تعتمد عملية رش الطلاء الحراري بالغاز على تفاعل جزيئات الذوبان مع سطح قطعة العمل، والتي تنتشر وتتشوه وتملأ جميع المسام والمخالفات في قطعة العمل، مما يسمح بتكوين طبقة واقية. تتكون عملية انتشار القطرة المنصهرة على سطح صلب من ثلاث مراحل متتالية: تكوين فيلم من القطرة، وترقق الفيلم أثناء الانتشار، والتصلب.

**الكلمات المفتاحية:** سُمك، سُمك الفيلم، طلاء، سطح الشغل الدوارة

### Введение

Сущность газотермического напыления покрытий заключается в использовании порошка подаваемого в высокотемпературную зону, где происходит нагрев газом и диспергирование на поверхность.

### Результаты и обсуждение

Процесс растекания капли расплава включает два этапа: кинематический и диффузионный. При кинематическом этапе происходит перемещение периметра смачивания под действием тянущего усилия  $\Delta\sigma_{ж}$ , а второй этап характеризует доставку массы жидкости к периметру смачивания за счет объемных сил. При изотермическом процессе термодинамическая сила  $\Delta\eta_l$  определяет тянущее усилие  $\Delta\sigma_{ж}$  на периметре смачивания:

$$\Delta\eta_l = \Delta\sigma_{ж} = \sigma_T - \sigma_{T-ж} - \sigma_{ж} \cdot \cos\theta$$

Скорость перемещения жидкого металла с учетом выражения (1) описывается следующим уравнением:

$$V_{ж} = k \cdot \Delta\sigma_{ж}$$

Кинетическая энергия капли металла, летящей со скоростью  $V_r$  в направлении закалочной поверхности можно рассчитать по следующей формуле:

$$E = 0,5\rho_l V_l \cdot V_r^2$$

где  $V_l$ ,  $\rho_l$  - объем и плотность капли расплава.

Кинетическую энергию, необходимую для перевода сферической капли в тонкую пленку на поверхности можно найти из следующего выражения:

$$E = \frac{1}{2}\rho_l V_k \left(0,5 \frac{dh_k}{dt}\right)^2$$

Совместное решение уравнений (3, 4) позволяет получить выражение для нахождения толщины покрытия, т.е. пленки затвердевшего металла:

$$h_k = 0,406 \left(\frac{\vartheta}{\rho_l V_0}\right)^{0,178} \cdot h_{k0}^{0,822}$$

### Заклучение

Из уравнения 5 можно видеть, что с увеличением исходных размеров капли  $d_c = h_{k0}$  увеличивается высота растекшейся капли  $h_k$ , а с увеличением скорости полета капли  $V_0$  высота растекшейся капли  $h_k$  уменьшается. Из этого же можно сделать вывод, что для того чтобы получить наименьшую, по высоте пленку покрытия необходимо, чтобы исходный размер капли, имел минимальные размеры, а скорость ее полета должна быть максимальной.

### المقدمة

جوهر الرش الحراري للطلاءات هو استخدام المسحوق الذي يتم إمداده بمنطقة ذات درجة حرارة عالية، حيث يتم تسخينه بالغاز وتوزيعه على السطح.

### النتائج والمناقشة

تتضمن عملية نشر قطرة الذوبان مرحلتين: الحركية والانتشار. خلال المرحلة الحركية، يتحرك محيط الترطيب تحت تأثير قوة السحب  $\Delta\sigma_{ж}$  وتتميز المرحلة الثانية بإيصال الكتلة السائلة إلى محيط الترطيب بسبب القوى الحجمية. في عملية متساوية الحرارة، تحدد القوة الديناميكية الحرارية  $\Delta\eta_l$  قوة السحب  $\Delta\sigma_{ж}$  على محيط الترطيب:

$$\Delta\eta_l = \Delta\sigma_{ж} = \sigma_T - \sigma_{T-ж} - \sigma_{ж} \cdot \cos\theta$$

وتوصف سرعة حركة المعدن السائل مع مراعاة التعبير (1) بالمعادلة التالية:

$$V_{ж} = k \cdot \Delta\sigma_{ж} \quad (2)$$

يمكن حساب الطاقة الحركية لقطرة معدنية تحلق بسرعة  $V_r$  في اتجاه السطح المتصلب

باستخدام الصيغة التالية:

$$E = 0,5\rho_l V_l \cdot V_r^2 \quad (3)$$

حيث  $V_l$ ,  $\rho_l$  - هما حجم وكثافة قطرة الذوبان.

يمكن إيجاد الطاقة الحركية اللازمة لتحويل قطرة كروية إلى طبقة رقيقة على السطح من

التعبير التالي:

$$E = \frac{1}{2}\rho_l V_k \left(0,5 \frac{dh_k}{dt}\right)^2 \quad (4)$$

يتيح لنا الحل المشترك للمعادلتين (3, 4) الحصول على تعبير لإيجاد سمك الطلاء، أي. أفلام

من المعدن المقسى:

$$h_k = 0,406 \left(\frac{\vartheta}{\rho_l V_0}\right)^{0,178} \cdot h_{k0}^{0,822} \quad (5)$$

### الخاتمة

من المعادلة 5 يمكن ملاحظة أنه مع زيادة الأبعاد الأولية للهبوط  $d_c = h_{k0}$  يزداد ارتفاع

انخفاض الانتشار  $h_k$  ومع زيادة سرعة طيران الهبوط  $V_0$  يتناقص ارتفاع انخفاض الانتشار  $h_k$ .

من هذا يمكننا أن نستنتج أنه من أجل الحصول على أصغر ارتفاع لفيلم الطلاء، من الضروري أن

يكون الحجم الأولي للقطرة هو الحد الأدنى للحجم، ويجب أن تكون سرعة الطيران هي الحد الأقصى.

### References المصادر

1. Процесс получения сферических порошков и дискретных волокон методом высокоскоростной закалки расплава / Д. Л. Стасенко, М. Н. Верещагин // Ред. Журн. Известия НАН Беларуси. Серия физ.-тех. Наук. – Деп. В ВИНТИ, 2003. - №10. – 63 с.
2. Определение толщины пленки покрытия единичной капли при газотермическом напылении на поверхность / В. Ю. Процко ; науч. рук. Д. Л. Стасенко // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 27–28 апр. 2023 г. : в 2 ч. Ч. 1 / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – С. 69-72.