



Процко Виолетта  
Юрьевна

фиолитта юривна протско  
аспирантка УО «ГГТУ  
им. П.О. Сухого»  
طالبة دكتوراه بحامعة سخوي الحكومية  
التقنية



Стасенко Дмитрий  
Леонидович

دیمتری لیونیدوفیتش ستاسینکو  
ک.ت.ن.، دوцент، зав. каф.  
«Технология  
машиностроения»  
ГГТУ им. П.О. Сухого  
أستاذ مشارك، رئيس قسم تكنولوجيا  
الهندسة الميكانيكية بحامعة سخوي  
الحكومية التقنية

**Аннотация:** Уст ановлено, что максимальная прочность адгезии составила 36 МПа при температуре основы  $\approx 450$  °K, при дальнейшем же разогреве подложки до 700 °K и выше происходит спад прочности до 22 МПа. Наибольшая твердость покрытия составила 750 HV, но при нагреве основы свыше 560 °K резко падает до 450 HV. Данное обстоятельство может быть объяснено полной кристаллизацией аморфной составляющей и потерей материала его начальных свойств.

**Ключевые слова:** высокоскоростного газопламенного, покрытия, поверхность вращающейся заготовки.

**الخلاصة:** لقد وجد أن قوة الالتصاق القصوى كانت 36 ميغا باسكال عند درجة حرارة أساسية تبلغ  $\approx 450$  درجة كلفن؛ مع زيادة تسخين الركيزة إلى 700 درجة كلفن وما فوق، تنخفض القوة إلى 22 ميغا باسكال. كانت أعلى صلابة للطلاء هي 750 فولت، ولكن عندما تم تسخين القاعدة فوق 560 درجة كلفن، انخفضت بشكل حاد إلى 450 فولت. يمكن تفسير هذا الظرف من خلال التبلور الكامل للمكون غير المتبلور وفقدان الخصائص الأولية للمادة.  
**الكلمات المفتاحية:** طلاء لهب الغاز عالي السرعة، سطح قطعة العمل الدوارة

## Введение

Технология газотермического напыления относится к категории энергосберегающих, т.к. масса нанесенного покрытия редко превышает десятые доли процента от общей массы изделия. По этой причине оборудование для газотермического напыления является непременным атрибутом современного металлообрабатывающего предприятия или ремонтных цехов крупных промышленных объектов. Сущность газотермического напыления покрытий заключается в использовании порошка, проволоки или прутков подаваемых в высокотемпературную зону, где происходит нагрев выше температуры плавления. Параллельно в камеру под высоким давлением поступает газ – энергоноситель функция которого заключается в диспергировании основного материала на предварительно подготовленную поверхность.

## Результаты и обсуждение

В качестве базового компонента порошкового материала был взят самофлюсующийся сплав на основе никеля ПГ-10Н-01, в который в качестве упрочняющей добавки вводились высокотвердые частицы дискретного волокна фракции 5-50 мкм из аморфного сплава  $Fe_{73,9}Cr_{4,5}Ni_{1,8}Al_{0,3}Cu_{5,5}B_{4,5}Si_{7,6}V_{0,9}C_{1,0}$  (% масс.), закаленных из расплава со скоростью  $\Delta T/\Delta \tau = 4,0 \cdot 10^5$  °K/c и подвергнутых атриторной обработке в течении 4 часов. Дискретное волокно имело степень аморфизации 95% и следующие параметры кристаллизации: температура начала кристаллизации сплава  $T_{ви} = 818$  °K/c, энергия активации  $E_a = 520,7$  кДж/моль, показатель Д-М-А  $n=2,96$ .

В случае напыления шихты, один из компонентов которой имеет метастабильную аморфную структуру, рост температуры поверхности основы неизбежно влечет за собой кристаллизацию аморфной составляющей с последующим падением механических свойств. В этой связи нагрев поверхности основы до и в процессе напыления должен рассматриваться как фактор, в определенный момент способный снизить эксплуатационные характеристики покрытия. Оценено влияние разогрева поверхности основы на прочность адгезии и твердость получаемых покрытий. Газопламенным напылением наносили порошок с размером частиц  $d_p = 40 - 50$  мкм, производительность  $Q_p = 4$  кг/ч, расход горючей смеси в газопламенной струе  $2,8$  м<sup>3</sup>/ч, дистанция напыления 75 мм

## Закключение

Исследования показали, что по мере возрастания в напыляемом порошке содержания высокотвердых частиц аморфного сплава до 40-50 % происходит последовательное возрастание прочности адгезии с основой и твердости покрытия, которые стабилизируются на уровне соответственно 60-75 МПа и HRC 64-68. Повышение механических свойств сопровождается снижением пористости покрытия вплоть до 2-4 % для разработанной композиции при ощутимом улучшении его триботехнических свойств: износ на уровне 1,6-1,7 мкм/10<sup>3</sup> м, коэффициент сухого трения по стали 0,19-0,20 износ поверхности – равномерный.

## المقدمة

تنتمي تقنية الرش الحراري إلى فئة توفير الطاقة، لأنها... نادراً ما تتجاوز كتلة الطلاء المطبق أعشار النسبة المئوية للكتلة الإجمالية للمنتج. ولهذا السبب، تعد معدات الرش الحراري سمة لا غنى عنها لمؤسسة تشغيل المعادن الحديثة أو ورش إصلاح المنشآت الصناعية الكبيرة. جوهر الرش الحراري للطلاءات هو استخدام المسحوق أو الأسلاك أو القضبان التي يتم تغذيتها في منطقة ذات درجة حرارة عالية حيث يحدث التسخين فوق نقطة الانصهار. في الوقت نفسه، يدخل الغاز إلى الغرفة تحت ضغط مرتفع - حامل طاقة تتمثل وظيفته في تشتيت المادة الأساسية على سطح مُجهز مسبقاً..

## النتائج والمناقشة

تم استخدام سبيكة النيكل ذاتية التدفق كمواد أساسي لمادة المسحوق (ПГ-10Н-01) حيث تم إدخال جزيئات عالية الصلابة من الألياف المنفصلة بجزء من 5 إلى 50 ميكرون من سبيكة غير متبلورة كمواد مضافة معززة ( $Fe_{73,9}Cr_{4,5}Ni_{1,8}Al_{0,3}Cu_{5,5}B_{4,5}Si_{7,6}V_{0,9}C_{1,0}$  (بالوزن%)) تذوب تصلب بسرعة ( $\Delta T/\Delta \tau = 4,0 \cdot 10^5$  °K/c) ويخضع لعلاج المثبط لمدة 4 ساعات. تحتوي الألياف المنفصلة على درجة تحول تبلغ 95% ومعلمات التبلور التالية: درجة حرارة بداية تبلور السبيكة ( $T_{ви} = 818$  °K/c) طاقة التنشيط ( $E_a = 520,7$ ) كيلو جول/مول، مؤشر D-M-A  $n=2,96$ .

في حالة رش شحنة، أحد مكوناتها له بنية غير متبلورة متبدلة الاستقرار، فإن الزيادة في درجة حرارة سطح القاعدة تستلزم حتماً تبلور المكون غير المتبلور مع انخفاض لاحق في الخواص الميكانيكية. وفي هذا الصدد، ينبغي اعتبار تسخين سطح القاعدة قبل وأثناء عملية الرش عاملاً يمكن أن يقلل في مرحلة ما من خصائص أداء الطلاء. تم تقييم تأثير تسخين سطح القاعدة على قوة الالتصاق وصلابة الطلاءات الناتجة. تم تطبيق المساحيق ذات حجم الجسيمات ( $d_p = 40 - 50$ ) ميكرومتر عن طريق رش لهب الغاز، وكانت الإنتاجية ( $Q_p = 4$ ) كجم / ساعة، وكان استهلاك الخليط القابل للاحتراق في نفاث لهب الغاز 2.8 م<sup>3</sup> / ساعة، وكانت مسافة الرش 75 مم.

## الخاتمة

أظهرت الأبحاث أنه مع زيادة محتوى جزيئات السبائك غير المتبلورة عالية الصلابة في المسحوق المرشوش إلى 40-50%، هناك زيادة ثابتة في قوة الالتصاق بالقاعدة وصلابة الطلاء، والتي تستقر عند المستوى من 60-75 ميغا باسكال و HRC 64-68، على التوالي. الزيادة في الخواص الميكانيكية مصحوبة بانخفاض في مسامية الطلاء بنسبة تصل إلى 2-4% للتكرية المطورة مع تحسن ملحوظ في خصائصها الاحتكاكية: التآكل عند مستوى 1.6-1.7 ميكرومتر/10<sup>3</sup> م، الاحتكاك الجاف معامل للصلب 0.19-0.20 تآكل السطح موحد.

## المراجع والمصادر References

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. Сборник научных статей 6-ой международной научно-практической конференции - Гомель: Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», 2022. С. 50-53.
3. XXIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 27–28 апр. 2023 г. / 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.