

## К ВОПРОСУ О НАПЫЛЕНИИ ПРОВОЛОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Первышин А.Н., Лапшин С.А.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Одним из путей повышения эффективности процесса напыления проволочных материалов является, в первую очередь, увеличение скорости частиц относительно подложки. Для реализации этого направления в СГАУ было разработано устройство для напыления проволочных материалов на базе малоразмерной ракетной камеры, где проволока подается под срез сопла в высокотемпературную струю продуктов сгорания. Основной частью установки является газогенератор сверхзвуковых струй (ГСС), топливом для которого является пропано-бутановая смесь (ПБС) и кислород. Также в качестве горючего может использоваться водород, метан и другие виды топлива. Горение компонентов топлива происходит внутри специальной камеры сгорания, чем обеспечивается эффективное преобразование топлива и критический перепад давлений на ограниченном минимальном сечении сопле. Высокие значения скорости (1,5 км/с) и температуры (3000 К) продуктов сгорания дают возможность получить плотности тепловых потоков в струе, сравнимые с плазмотронами (2,0...3,0)  $10^6$  кВт/м<sup>2</sup>, то есть осуществить напыление высокотеплопроводных материалов, таких как медные и алюминиевые сплавы. Предлагаемый способ напыления наиболее близок к газопламенному напылению, но по энергетическим и мощностным характеристикам превосходит его в несколько раз.

Наиболее широко известно использование ГСС резки материалов. Эффективность использования сверхзвуковой струи для нанесения покрытий оценивалась только теоретически [1]. Ниже приведены результаты экспериментальной оценки этого метода. Схема эксперимента приведена на рис. 1.

В качестве напыляемого материала использовалась проволока диаметром  $d_{пр}=2$  мм из алюминиевого сплава ВсВАМЦ-Н. Подача проволоки осуществляется механизмом подачи, который состоит из электромотора постоянного тока, источника питания, пульта управления и направляющей фильеры. Проволока подавалась в диаметральной плоскости сопла на расстоянии  $h=2$  мм от среза и под углом  $\gamma = 10^\circ$  к перпендикуляру оси ГСС. Механизм обеспечивал подачу проволоки в диапазоне скоростей  $V_{пр} = 10 \dots 80$  мм/с. Дистанция напыления составила  $L_H = 300$  мм, так как струя продуктов сгорания ГСС обладает высокой дальностью и уменьшение расстояния до

образца может привести к его короблению и перегреву. Образцы перед напылением подвергались дробеструйной обработке.

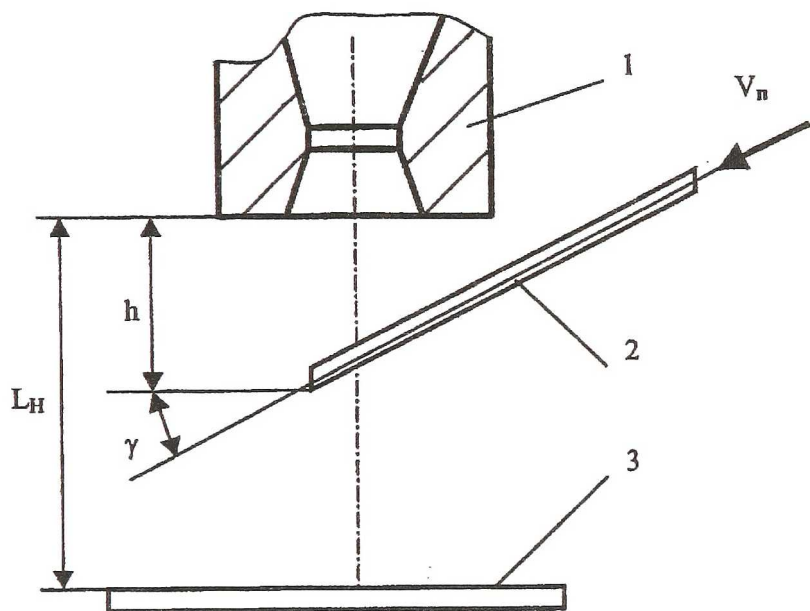


Рис.1 Схема эксперимента:

1 - сопло газогенератора; 2 - подаваемая проволока; 3 - подложка

На данной установке проводились исследования по отладке совместной работы газогенератора и системы подачи проволоки. В качестве компонентов топлива использовалась ПБС и кислород, суммарный расход которых составил  $m_T = 3.5$  г/с, коэффициент избытка окислителя  $\alpha = 0.8$ , давление в камере сгорания  $P_k = 1.7 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>. Проволока, подаваемая со скоростью (10...20) мм/с, начинает оплаиваться сразу же, только достигнув границ струи. С увеличением скорости подачи (30...50) мм/с, оплавление проволоки происходит в центре струи продуктов сгорания. Предельная скорость подачи проволоки оказалась равной 70 мм/с. При дальнейшем увеличении скорости подачи проволока проходит сквозь струю или оплаивается твердыми фрагментами в виде больших капель или кусков проволоки длиной (20...30) мм. Также, важно отметить, что проволока должна

подаваться под срез сопла в пределах ( $d_{\text{пр}} / 2$ ) от оси газогенератора, так как её смещение приводит к тому, что даже на малых скоростных режимах подачи проволоки проходит сквозь струю, как при превышении предельной скорости подачи проволоки.

В дальнейшем исследовалось напыление на подготовленные образцы. Целью этих исследований было получение качественных характеристик самого процесса напыления и полученного покрытия, таких как коэффициент использования материала (КИМ) и пористость покрытия. Эксперименты проводились на различных скоростных режимах подачи проволоки.

КИМ определялся по формуле

$$\text{КИМ} = [ ( m_1 - m_0 ) / m_2 ] 100 \%,$$

где  $m_1$  - масса образца с покрытием;

$m_0$  - масса образца до напыления;

$m_2$  - масса израсходованной проволоки.

Проведенные исследования показали, что коэффициент использования материала (КИМ) составил в среднем 70% , причем его зависимость от скоростных режимов подачи проволоки не выявлена. Полученные данные по КИМ согласуются с данными, приводимыми в литературе (60...70%) для напыления проволочных материалов.

Определение открытой пористости покрытия проводилось по методике ГОСТ 9.304-87 для газотермических покрытий из цинка, алюминия и их сплавов, предназначенных для защиты от коррозии стали и чугуна. Метод основан на измерении массы на воздухе и в воде. Проведенные исследования показали, что пористость существенно зависит от скорости подачи проволоки. При скорости подачи 12 мм/с значение пористости получилось 0,3%, что является очень хорошим показателем качества полученного покрытия, а при увеличении скорости подачи до 45 мм/с значение пористости выросло до 6,5%, что также является хорошим результатом по сравнению с данными, приводимыми в литературе (6...8%) для напыления проволочных материалов из алюминия и его сплавов.

Скорость нанесения покрытия определялась прямым замером толщины полученного покрытия, отнесенной к времени напыления на данном скоростном режиме подачи проволоки. Зависимости открытой пористости и скорости нанесения покрытия от скорости подачи проволоки представлены на рис.2.

На данном этапе можно сказать, что предлагаемый способ напыления может конкурировать с уже существующими способами напыления проволочных материалов. Энергетические возможности струи очень высоки и это может породить гамму новых научных

исследований, которые откроют новое направление в технологии нанесения износ- и коррозионностойких покрытий путем их напыления.

В настоящее время предлагаемый способ напыления проволочных материалов проходит апробацию в НПФ "ПЛАЗТЕХ".

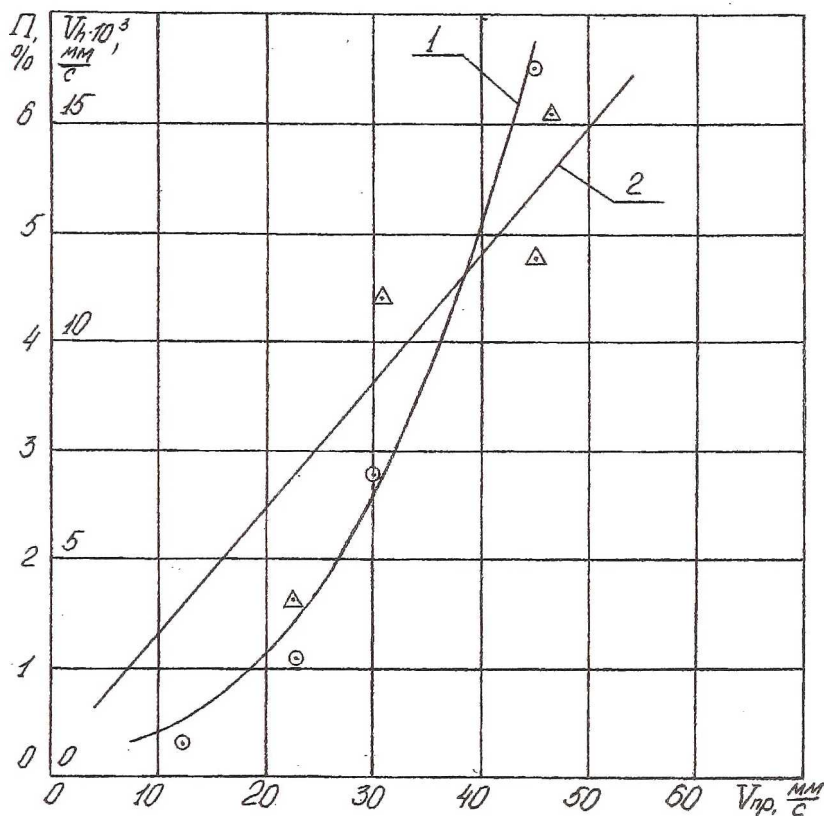


Рис. 2 Зависимость пористости и скорости нанесения покрытия от скорости подачи проволоки:

1 - пористость; 2 - скорость нанесения покрытия

#### Список литературы

1. Первышин А.Н., Егорычев В.С., Царьков В.Н. Плавление цилиндрического стержня сверхзвуковой струей продуктов сгорания/ В Сб.: Труды 3-й Всероссийской НТК 'Теплофизика процессов горения и охрана окружающей среды', М., 1990г., с.71-74.