

зазора $\beta = 1/(S_3 + S_{кр})$, где S_3 — эффективное значение термического сопротивления газовой прослойки, $S_{кр}$ — термическое сопротивление краски. Вследствие низкой теплопроводности газовой прослойки ее роль в тепловом балансе отливка — форма значительна и возрастает с увеличением толщины прослойки. При малых значениях толщины газовой прослойки ($\delta < 2,5 \cdot 10^{-5}$ м) основное влияние на термическую проводимость зазора оказывает краска. На процесс окончательного затвердевания наибольшее влияние оказывают низкотеплопроводные краски. Так, уменьшение термической проводимости от 2000 до 500 Вт/(м² · К) приводит к увеличению времени полного затвердевания отливки в 1,5–2 раза.

По результатам опытных данных и численного эксперимента на ЭВМ [1] была построена номограмма (рис. 1), которая позволяет определить оптимальное время изготовления монолитных крупногабаритных тонкостенных отливок. Исходными параметрами являются начальная температура расплава T_{10} , начальная температура металлической формы T_{20} , приведенная толщина отливки, термическая проводимость зазора между отливкой и формой λ/δ , полученная в результате решения задачи математической оптимизации термической проводимости зазора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Е с ь м а н Р.И., Ж м а к и н Н.П., Ш у б Л.И. Расчеты процессов литья. — М., 1977.

УДК 621.793

Ю.В. СОКОЛОВ, канд. техн. наук,
В.И. ПРОКОПОВ (БПИ)

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ ЧАСТИЦ В ПОТОКЕ ПРИ НАПЫЛЕНИИ

Анализ условий теплообмена частиц порошка с плазменным потоком является важным этапом расчета тепловых процессов нанесения покрытий напылением.

В работе [1] с помощью приближенных методов определены особенности теплового взаимодействия частиц порошка с плазменной струей при изменении температуры по длине потока от среза сопла плазмотрона до подложки. Установлены зависимости температурного поля напыляемых частиц от физических свойств материала и режимов напыления на стадиях нагрева, плавления и охлаждения частиц.

С учетом того, что температура плазменного потока снижается по мере удаления от сопла плазмотрона, а распределение температуры вдоль оси потока соответствует параболической закономерности, получены выражения, позволяющие определить температуру частицы при ее движении в плазменном потоке в любой момент времени.

Нагрев частицы определяется следующим образом:

$$T_1 = T_{0c} - (T_{0c} - T_{п.с.}) \left(\frac{x}{X_{п.с.}} \right)^n - (T_{0c} - T_{01}) e^{-\frac{3\alpha_1 x}{w_q X_q \gamma_1 c_1}}, \quad (1)$$

где T_1 — температура частицы в процессе нагрева; T_{0c} — начальная температура плазменной струи; $T_{п.с.}$ — температура плазменной струи на подложке; T_{01} — начальная температура частицы; $X_{п.с.}$ — расстояние от сопла плазмотрона до подложки; x — расстояние от подложки до сечения, в котором определяется температура частицы; α_1 — коэффициент теплоотдачи плазменного потока к поверхности частицы; w_q — скорость частицы; X_q — радиус частицы; γ_1 и c_1 — плотность и удельная теплоемкость частицы; n — показатель параболического распределения температуры в плазменной струе.

Максимальную температуру частица имеет на расстоянии от сопла плазмотрона

$$x_{ч.с.} = \frac{X_{п.с.}}{2a} (\sqrt{b^2 - 4ac} - b), \quad (2)$$

где $a = \frac{3\alpha_1 X_{п.с.}}{w_q X_q \gamma_1 c_1}$;

$$b = \ln \frac{(T_{0c} - T_{п.с.}) n w_q X_q \gamma_1 c_1}{(T_{0c} - T_{01}) 3\alpha_1 X_{п.с.}} + \frac{3\alpha_1 X_{п.с.}}{w_q X_q \gamma_1 c_1} + 2(n-1);$$

$$c = \ln \frac{(T_{0c} - T_{п.с.}) n w_q X_q \gamma_1 c_1}{(T_{0c} - T_{01}) 3\alpha_1 X_{п.с.}} - 2(n-1).$$

Температура частицы в зоне охлаждения

$$T'_1 = T_{0c} - (T_{0c} - T_{п.с.}) \left(\frac{x}{X_{п.с.}} \right)^n - [(T_{0c} - T_{ч.с.}) - (T_{0c} - T_{п.с.}) \times \frac{3\alpha_1 (x - x_{ч.с.})}{w_q X_q \gamma_1 c_1}] e^{-\frac{3\alpha_1 (x - x_{ч.с.})}{w_q X_q \gamma_1 c_1}} \quad (3)$$

где $T'_{ч.с.}$ — максимально достигнутая температура расплавленной частицы; γ'_1 и c'_1 — плотность и удельная теплоемкость расплавленной частицы.

Практическая реализация расчета осуществлялась посредством ПЭВМ ДВК-3М с программным обеспечением, позволяющим определять температуру частицы при любых значениях показателя степени n параболичности кривой. Путем изменения n добивались максимальной сопоставимости расчетных и экспериментальных значений температуры струи. Определив таким образом значение n и подставив его в уравнения (1)–(3), можно получить характер

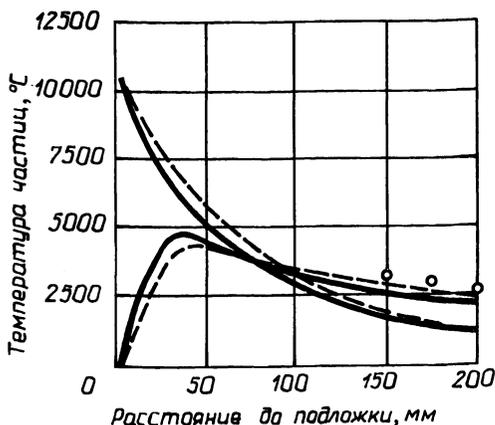


Рис. 1. Зависимость температуры частицы от расстояния до среза сопла плазмотрона

изменения температуры частицы в зависимости от расстояния до среза сопла плазмотрона.

Адекватность полученной модели (1)–(3) реальным условиям процесса проверяли сопоставлением с экспериментальными данными для случая напыления порошка вольфрама в дуге плазмы аргона [2]. Полученные результаты представлены на рис. 1.

Сплошные линии на графике соответствуют данным работы [2], пунктирные — расчетным значениям температуры частиц, полученным с помощью уравнений (1)–(3). Точками на графике обозначены температуры частиц, измеренные методом калориметрирования на расстояниях, соответствующих реальным условиям процесса газотермического напыления в режиме формообразования. При сопоставлении расчетных и экспериментальных данных наблюдается удовлетворительная сходимость результатов, расхождение составляет 4...9%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокопов В.И., Соколов Ю.В. Тепловые процессы в двухфазном потоке при напылении // *Металлургия*. — Мн., 1989. — Вып. 23.
2. Прогрев порошковых материалов в плазменных струях азота и аргона / В.Г. Саксельцев и др. // *Изв. вузов. Машиностроение*. — 1972. — № 1.

УДК 621.746

В.И. ТУТОВ, д-р техн. наук, Е.Б. ДЕМЧЕНКО, канд. техн. наук,
Г.И. СТОЛЯРОВА, А.Н. КРУТИЛИН, В.А. ГРИНБЕРГ,
кандидаты техн. наук (БПИ)

АНАЛИТИЧЕСКИЙ УЧЕТ ВЛИЯНИЯ КОНВЕКЦИИ НА КИНЕТИКУ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ НЕПРЕРЫВНО-ЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ

Исследование кинетики затвердевания полый цилиндрической отливки в процессе вертикального непрерывного литья с открытым уровнем и боковой подачей металла в кристаллизатор показало значительное несовпадение результатов расчета с экспериментальными. Объяснение этому было получено путем