

с выдержкой 30 минут приводит к интенсивному выделению из пересыщенного аустенита мелкодисперсных вторичных карбидов M_7C_3 , которые равномерно распределяются во объеме модифицированных зон. При этом происходит аустенитно-мартенситное превращение. Повышается абразивная износостойкость и твердость покрытий.

Список литературы

1. Цыпин И.И. Белые износостойкие чугуны. Структура и свойства.- М: «Металлургия» - 1983. С.110.
2. Гнусов С.Ф., Дураков В.Г. Электронный луч в формировании неравновесных структур: монография / Томский политехнический университет. -Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 115 с.
3. Дампилон Б.В., Дураков В.Г., Зиганшин А.И. Патент РФ. RU 2494154 С1 «Способ обработки изделий из высокоуглеродистых легированных сплавов». Опубликовано: 27.09.2013 Бюл. № 27.
4. Сильман Г.И. Белые легированные чугуны с композиционной структурой // Металловедение и термическая обработка металлов. 200.- № 7. С. 94 – 100.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ НА УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

А.Е. ЕНЧИНОВА, Б.С. ЗЕНИН

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
E-mail: milashka_4b92@mail.ru

A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE IMPACT OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF MATERIALS ON CONDITIONS OF FORMATION OF THERMAL COATINGS

A.E. ENCHINOVA, B.S. ZENIN

Tomsk Polytechnic University
E-mail: milashka_4b92@mail.ru

Abstract. One of the main characteristics of the coating is adhesion. The magnitude of coating adhesion is determined primarily by the characteristics of the thermal cycle in contact. In this paper examines the impact of thermal characteristics of the material sprayed particles on the temperature conditions of formation of thermal spray coatings. The thermal conditions of the formation of coatings for model materials with a wide range thermo-physical characteristics was calculated.

Введение. Для многих отраслей машиностроения одним из наиболее прогрессивных технологических процессов, позволяющих повысить надежность, долговечность и качество выпускаемых машин, является газотермическое напыление (ГТН) покрытий [1]. Газотермическое напыление - наиболее перспективная и интенсивно разрабатываемая в настоящее время технология, обеспечивающая нанесение на рабочие поверхности деталей покрытий с заданными физико-механическими свойствами и дающая возможность использования для их изготовления взамен дорогостоящих менее дефицитные конструкционные материалы.

При формировании ГТН покрытий важная роль принадлежит тепловым условиям. Эти условия определяют структуру материала покрытия, структурное соотно-

шение поверхностного слоя подложки с процессами, которые имеют место на границе раздела «покрытие – подложка» [2]. Одной из главных характеристик покрытия является величина адгезии, определяющая завершение процесса образования химической связи между атомами частицы и основы [3].

Как показано в литературе [2, 4], ключевыми параметрами, определяющими характеристики получаемого покрытия, являются теплофизические условия взаимодействия на уровне частица – подложка. При этом величина адгезии покрытия определяется в первую очередь характеристиками термического цикла в контакте, а именно, временем полной кристаллизации частицы (сплэта) и температурой в контакте на границе частица – подложка. Температура в контакте определяет энергетические условия, а время кристаллизации длительность процесса взаимодействия атомов на границе частица – подложка [3].

В работе была поставлена следующая задача – рассмотреть влияние теплофизических характеристик материала частицы на температурные условия взаимодействия напыленного сплэта с подложкой.

Материалы и методы исследования. В качестве исходного материала подложки и материала частиц был выбран модельный материал. Модельный материал – некоторый условный металлический материал, включающий в себя усредненные характеристики таких металлов, как Al, Cu, Ti, Mo, W, Fe, Ni, Co. В таблице 1 представлены теплофизические характеристики такого модельного материала.

Таблица 1- Теплофизические характеристики модельного материала

Модельный материал	$T_{пл}$, К	ρ_0 , кг/м ³	λ , Вт/м·К	C , Дж/кг·К	L , 10 ³ , Дж/кг	α , 10 ⁻⁶ м ² /с
	2016	8910	113	414	273	3,06

С помощью компьютерной программы TEMPOINT проводились численные эксперименты по определению параметров термического цикла для различного сочетания модельного материала подложки и материалов частицы с разными теплофизическими характеристиками. Расчеты проводились при стандартных параметрах: скорость и размер частиц равны $V = 100$ м/с, $d = 100$ мкм соответственно. Теплофизические характеристики материалов частицы варьировали в широких пределах. В таблице 2 приведены результаты расчетов параметров термического цикла (T_k - температура в контакте, t - время кристаллизации) и толщины получаемого сплэта X_0 . Здесь же показаны характеристики материала напыляемой частицы, которые задавались следующим образом. За основу принимался модельный материал (Таблица 1), у которого последовательно в заданных пределах изменяли температуру плавления $T_{пл}$, оставляя другие характеристики неизменными. Таким же образом варьировали скрытую теплоту плавления L , плотность ρ , удельную теплоемкость C , коэффициент теплопроводности λ .

Анализ влияния теплофизических характеристик материала частицы

Главной задачей при получении покрытий является создание на границе частицы с подложкой как можно больше межатомных связей, иными словами, получение высокой адгезии покрытия. Температура в контакте и время кристаллизации - самые главные параметры термического цикла. Они оказывают прямое влияние на адгезию покрытия. Наиболее благоприятным условием для высокой адгезии является рост этих параметров.

Таблица 2 Теплофизические характеристики напыляемой частицы и параметры термического цикла

Теплофизические характеристики	Параметры	Тк, К	t, 10 ⁻⁶ с	X ₀ , мкм
		ч	ч	ч
Температура плавления T _{пл.} , К	1000	854	3,8	3,7
	1500	1171	5,1	4,3
	2000	1462	5,9	4,6
	2500	1741	6,4	4,8
	3000	2011	6,8	5
Скрытая теплота плавления L, Дж/кг	100	1307	7,8	5,4
	150	1364	7,1	5,1
	200	1412	6,6	4,9
	250	1454	6,4	4,7
	300	1490	5,7-	4,6
Плотность ρ, кг/м ³	5000	1321	7,6	5,3
	10000	1500	5,6	4,5
	15000	1598	4,5	4
	20000	1661	3,8	3,7
	25000	1707	3,4	3,5
Удельная теплоемкость С, Дж/кг · К	500	1482	5,8	4,6
	1000	1532	5,2	4,3
	1500	1568	4,8	4,2
	2000	1596	4,5	4,1
	2500	1618	4,3	3,9
Коэффициент теплопроводности λ, Вт/м · К	100	1440	6,2	4,8
	200	1689	1,3	3,1
	300	1766	0,7	2,2
	400	1813	0,3	1,5
	500	1845	0,1	0,9

По данным таблицы 2 построены графики зависимости температуры в контакте (Рис.3) и времени кристаллизации (Рис.4) от теплофизических параметров материала частицы.

Как показывает анализ представленных результатов, благоприятным условием для получения высокой адгезии покрытий однозначно может служить высокая температура плавления материала частицы, которой соответствуют повышенные значения температуры в контакте и времени кристаллизации. Влияние других теплофизических характеристик на величину адгезии покрытия носит неоднозначный характер. Так с ростом плотности, теплоемкости, удельной теплопроводности температура в контакте повышается, в то время как время кристаллизации (т.е. время, в течение которого в контакте сохраняется высокая температура) уменьшается. Такая неоднозначность затрудняет выбор материала напыляемого порошка, который должен обеспечить высокий уровень адгезии покрытия.

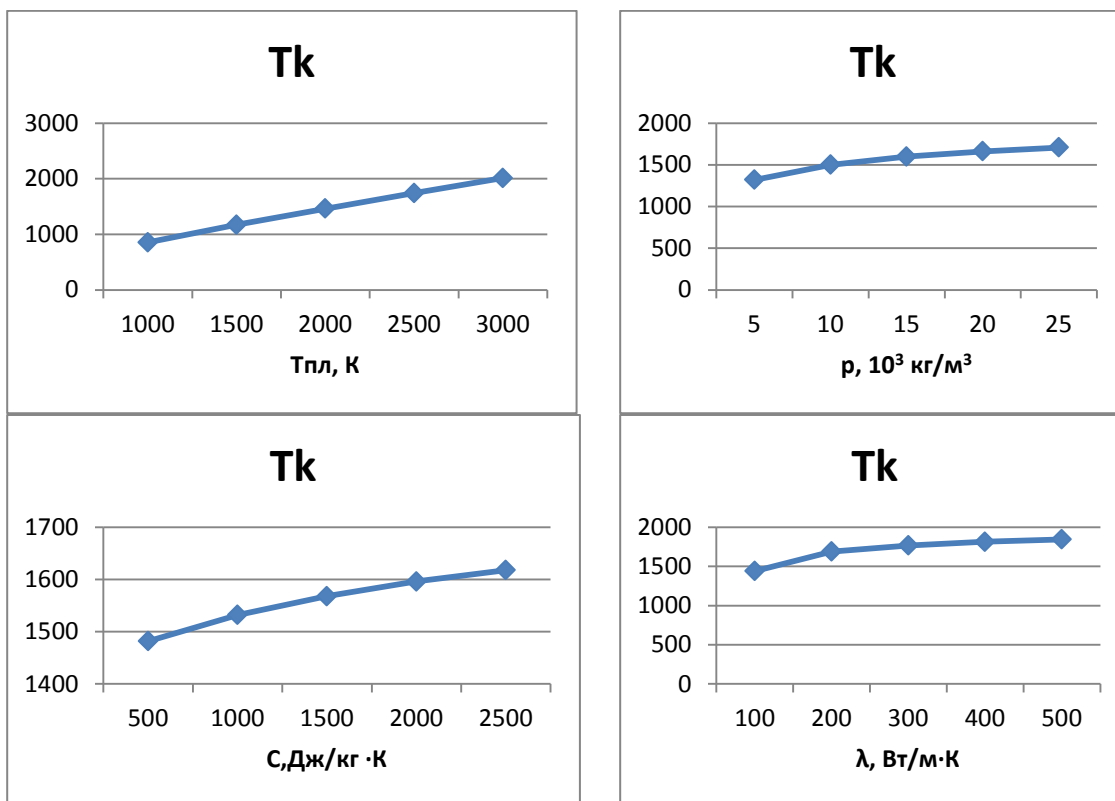


Рисунок 3 – Влияние теплофизических характеристик материала частицы на температуру в контакте

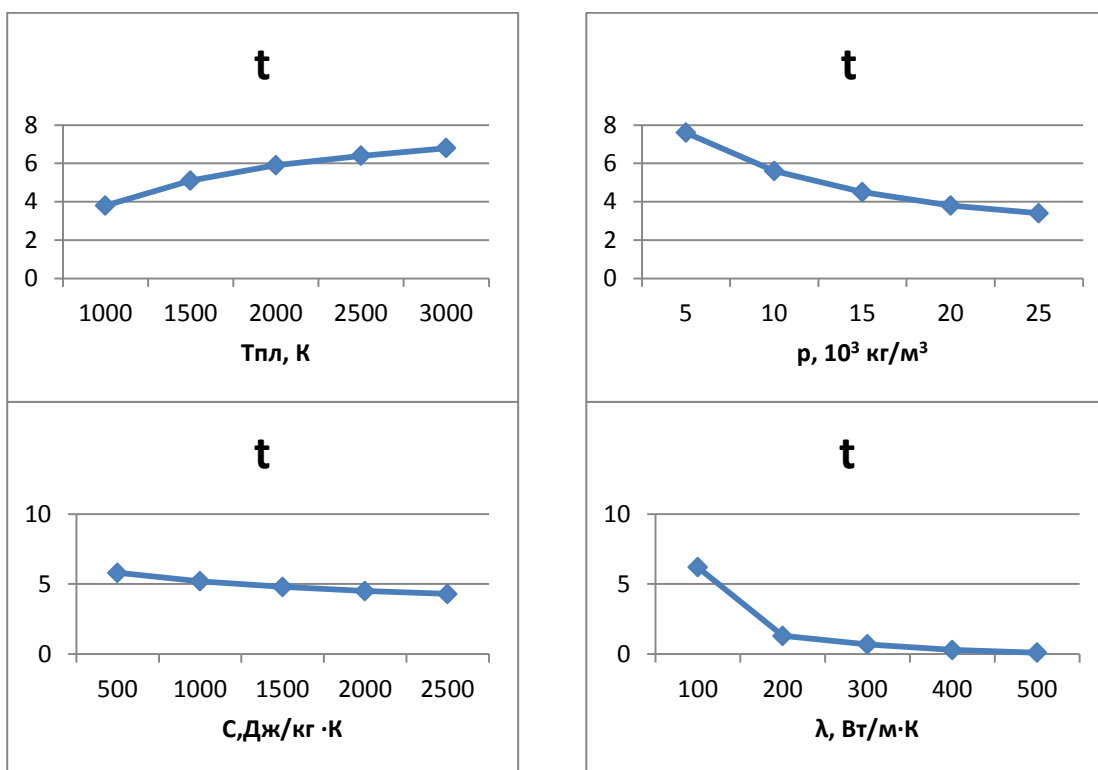


Рисунок 4 – Влияние теплофизических характеристик материала частицы на время кристаллизации

Список литературы

1. Перспективные технологии плазменного напыления / О.П. Солоненко, В.А. Неронов, В.И. Кузьмин // Машиностроитель. – 2004.-№2.-С. 27-34
2. Кудинов В. В., Бобров Г. В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. - М.: Металлургия, 1992.-432 с.
3. В.В.Кудинов, П.Ю. Пешков, В.Е. Балашенко. Нанесение покрытий плазмой.– М.: Наука,1990.- 408с.
4. Солоненко.О.П. Теплофизические основы формирования плазменных покрытий из порошков оксидов//Физическая мезомеханика. – 2001 №46. – С 45-56.