

УДК 691

А. А. ГУСАК, А. А. СКИБА, О. С. САННИКОВ, Д. И. АРИСТОВ, Д. В. КРАВЦОВА

Московский государственный строительный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ НЕРАВНОВЕСНОЙ ПЛАЗМЫ НА СВОЙСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ

В данной статье описаны общие сведения о плазме, ее применении в строительстве, принцип действия устройства лабораторной установки типа плазмотрон, результаты экспериментальных исследований балок, изготовленных из сухих строительных смесей, обработанных плазмой. Также приведены результаты испытаний по определению водопотребности, сроков схватывания и изменению значения прочности минеральных вяжущих веществ.

плазма, плазмотрон, минеральные вяжущие вещества, водопотребность, сроки схватывания, прочность

Одним из новых и перспективных направлений модификации свойств минеральных вяжущих веществ является применение источников частиц высоких энергий, в частности использование плазмы.

Плазма – это газ с достаточно высокой степенью ионизации (10^{-8} – 10^{-6}). Наиболее важными характеристиками плазмы являются ее температура (для низкотемпературной плазмы это величина порядка 1...5 эВ) и плотность заряженных частиц. Изучению процессов, происходящих в плазме, посвящено большое число исследований, но суть происходящих процессов заключается в следующем. Под действием приложенного внешнего поля свободные электроны (концентрация которых составляет 10^9 – 10^{12} см³, а кинетическая температура 10^4 – 10^5 К) начинают перемещаться в пространстве, сталкиваясь с молекулами газа и передавая им энергию, что приводит к возникновению активных компонентов газовой среды (возбужденных атомов, ионов, свободных радикалов и др. метастабильных частиц).

Использование плазмы как средства модификации наиболее привлекательно, так как этот процесс является экологически чистым (нет необходимости в использовании каких-либо жидких растворов) и менее энергоемким. Благодаря использованию плазмохимических процессов возможно создание структур субмикронных размеров.

Совокупность разнообразных по химической активности частиц, а также наличие электромагнитного поля и ряда других факторов позволяет использовать плазму для модификации свойств различных материалов, в частности минеральных вяжущих веществ, а также мелких фракций заполнителей.

Плазма создаётся в специально созданных для конкретных целей генераторах-плазмотронах. Схема плазмотрона представлена на рис. 1. Принцип работы плазмотрона заключается в следующем: под действием переменного напряжения, подаваемого на электроды (1 и 2 на рис. 1), возникает электромагнитное поле, под действием которого рабочий газ разогревается, ионизируется и выходит через сопло (4). Обработка сыпучих материалов в плазме происходит в момент прохождения частиц через область разряда – пространство между электродами 1 и 2.

При введении в плазму дополнительного компонента происходит изменение её электрофизических параметров и, как следствие, – изменение скоростей реакций, даже если этот компонент непосредственно не принимает участия в каком-то конкретном процессе.

Воздействие, оказываемое на частицу, может быть как термическим, химическим, физико-химическим, кроме того возможно изменение поверхностного заряда и создание новых активных центров на поверхности частиц.

© А. А. Гусак, А. А. Скиба, О. С. Санников, Д. И. Аристов, Д. В. Кравцова, 2013

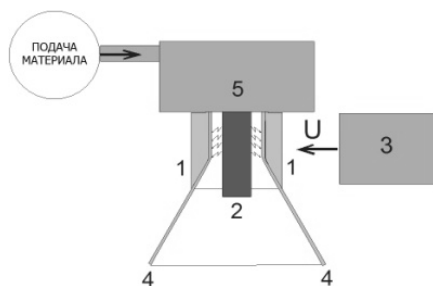


Рисунок 1 – Схема плазмотрона: 1, 2 – электроды, 3 – источник высокого напряжения, 4 – выходящий торондальный вихрь вещества, 5 – камера смешивания.

Обработка плазмой позволяет изменить поверхностные свойства материалов, не изменяя их объемных характеристик.

Нами проведены исследования влияния плазмохимической обработки минеральных вяжущих веществ (ПЦ М500Д0, ШПЦ), а также мелких фракций песка ($<0,315$ мм) (рис. 2). Проводились испытания по определению сроков схватывания, водопотребности (в качестве характеристики использовалось водно-цементное отношение В/Ц) и изменению значения прочности (на сжатие и изгиб).

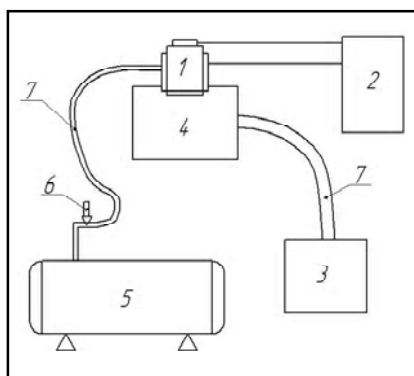


Рисунок 2 – Схема установки для плазмохимической обработки порошкообразных веществ и материалов:

1 – плазмохимический реактор конструкции МФТИ, 2 – блок питания с частотой 30 кГц, 3 – пылесос, 4 – сборник порошкообразных веществ и материалов, прошедших плазмохимическую обработку, 5 – поршневой компрессор AVC-3040 – источник сжатого воздуха с давлением до 8 атм., 6 – устройство для подачи порошкообразных веществ и материалов, 7 – полимерный трубопровод.

В ходе исследования было установлено, что водопотребность цемента, обработанного в плазме, снижается более чем на 10 %, таким образом, мы можем с высокой степенью вероятности ожидать увеличения прочности цементного камня за счет снижения количества формовочной воды.

Изменение сроков схватывания для ПЦ М500Д0 представлено зависимостями на рис. 3, где зависимость черного цвета – контрольная, а красного цвета – раствор на цементе, прошедшем плазмохимическую обработку.

Из полученных зависимостей видно, что скорость схватывания теста на обработанном и необработанном цементе имеет одинаковый характер изменения, однако время начала схватывания для теста на цементе, прошедшем плазмохимическую обработку, составляет около 45 мин, тогда как для необработанного цемента – 110 минут. Ещё сильнее видно это различие для лежалых частично гидратированных цементов. Скорее всего, это связано с испарением химически связанной воды во время обработки, а также возможным образованием активных центров. Определение механизмов, происходящих при обработке материалов, является одним из направлений дальнейших исследований.

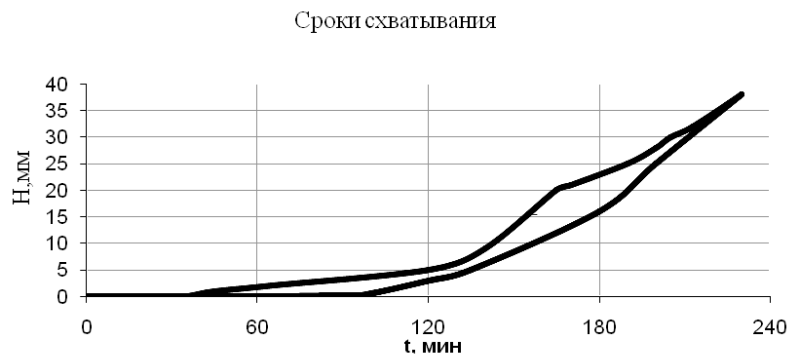


Рисунок 3 – Зависимость сроков схватывания (мин.) для двух типов цемента: обычного (кривая черного цвета) ПЦ М500Д0 и ПЦ М500Д0, прошедшего плазмохимическую обработку (красная кривая).

Испытания на прочность при сжатии и изгибе проводились на балочках размерами $4 \times 4 \times 16$, при соотношении Ц:П = 1:3. Результаты приведены в табл. 1 и 2. Снижение показателей значения прочности в таблице 1 с обработанным цементом связано с избыточным, для образцов на обработанном цементе, количеством воды. При снижении соотношения вода – тесто В/Т (табл. 2) мы получаем прирост $R_{сж}$ образцов на обработанном цементе по сравнению с контрольным в первые сутки твердения на 18 %. Данное значение снижается на шестые сутки и составляет примерно 5 %.

Таблица 1 – Образцы на частично гидратированном цементе и мелкозернистом песке (фракции < 1 мм)

	$R_{сж}$, МПа	$R_{изг}$, МПа	В/Ц	Срок проведения испытаний, сут.
Контрольный	22,3	0,76	0,6	28
Обр. песок	21,6	0,83	0,6	
Обр. цемент	14,8	0,9	0,6	
Обр. песок и цемент	26,6	1,49	0,6	

Таблица 2 – Образцы на ПЦ М500Д0, полифракционные пески

	$R_{сж}$, МПа	$R_{изг}$, МПа	В/Т	Срок проведения испытаний, сут
Контрольный	1,9	0,82	0,14	1
На обработанном цементе	2,3	1,08	0,12	
Контрольный	13,0	3,14	0,14	6
На обработанном цементе	13,5	2,98	0,12	

Проведенные опыты показывают, что многие эффекты воздействия не являются специфическими. Так, качественно подобных результатов обработки можно достичь при использовании в качестве плазмообразующих таких химически различных газов, как благородные, кислород и кислородсодержащие, углеводороды и галогены. Имеющихся сейчас знаний недостаточно для объяснения этих явлений, и их понимание лежит в области фундаментальных исследований [2].

Исходя из полученных данных, мы считаем наиболее оптимальным и перспективным обработку вяжущего совместно с мелкой фракцией заполнителя с одновременным снижением количества формовочной воды. Также одно из дальнейших направлений исследования – это применение плазменной обработки совместно с использованием суперпластификаторов, а также использование плазмохимически модифицированных минеральных вяжущих в производстве пено- и газобетонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Князев, Б. А. Низкотемпературная плазма и газовый разряд [Текст] : Учебное пособие / Б. А. Князев. – Новосибирск : [б. и.], 2003. – 290 с.
2. Применение тлеющего разряда в текстильной и строительной промышленности [Текст] : монография / М. В. Акулова, Б. Н. Мельников, С. В. Федосов, Л. В. Шарнина, Иван. гос. хим.-техн. ун-т. – Иваново : [б. и.], 2008. – 232 с. – ISBN 978-5-9616-0256-2.

3. Смирнов, Б. М. Химия плазмы [Текст] / Б. М. Смирнов. – М. : Атомиздат, 1974. – 304 с.

Получено 13.03.2013

О. А. ГУСАК, О. А. СКИБА, О. С. САННИКОВ, Д. И. АРИСТОВ, Д. В. КРАВЦОВА
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ НЕРІВНОВАЖНОЇ
ПЛАЗМИ НА ВЛАСТИВОСТІ МІНЕРАЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ РЕЧОВИН
Московський державний будівельний університет

У цій статті описані загальні відомості про плазми, її застосування в будівництві, принцип дії пристрою лабораторної установки типу плазмотрон, результати експериментальних досліджень балок, виготовлених із сухих будівельних сумішей, оброблених плазмою. Також наведені результати випробувань щодо визначення водопотреби, строків схоплювання і зміни значення міцності мінеральних в'язучих речовин.

плазма, плазмотрон, мінеральні в'язучі речовини, водопотреба, терміни схоплювання, міцність

ALEXANDER GUSAK, ALEXEY SKIBA, OLEG SANNIKOV, DENIS ARISTOV,
DARYA KRAVTSOVA
RESEARCH OF INFLUENCE OF LOW TEMPERATURE NON-EQUILIBRIUM
PLASMA ON PROPERTIES OF MINERAL ASTRINGENT MATTERS
Moscow State University of Civil Engineering

This article describes general information on plasma, its application in the civil engineering and the principle of using the laboratory installation such as plasmotron. Also the article presents the results of experimental studies of beams made of dry mixes which have being processed from plasma. In addition experiments are performed to determine water demand, setting time, and changing the strength of mineral binders.

plasma, plasma torch, mineral binders, water demand, setting time, strength