

условия твердения бетона без деструктивных явлений, вызванных большими температурными перепадами по толщине.

Количество остаточной воды в бетоне панелей достаточно для дальнейшего процесса гидратации цемента.

Нежелательно выдерживать изделия в камере, когда температура их поверхности достигает 75 - 80 °С. Это приведет к обезвоживанию бетона.

Л и т е р а т у р а

1. Солдаткин М.Т., Будько С.К. Термообработка панелей наружных стен в электроиндукционной установке. М., 1968.
2. Тайц М.Ю. Технология нагрева стали. М., 1953.

УДК 678.06

И.Д. Маслаков (канд.техн.наук) ,
А.Д. Маслаков (канд.техн.наук)

ПРОЦЕСС ТВЕРДЕНИЯ ПОЛИМЕРБЕТОНОВ

Процесс твердения полимербетонов ускоряется нагревом [1, 2]. В определенном интервале температур зависимость скорости твердения от температуры хорошо согласуется с уравнением Аррениуса

$$\ln k = \frac{A}{T} + B, \quad (1) \quad \ln k_1 = - \frac{E^*}{R^* T} + B, \quad (2)$$

где k_1 - константа скорости данной реакции; B - постоянная интегрирования, зависящая от реагирующих компонентов; R^* - универсальная газовая постоянная (8,314 - 0,00035); T - температура; E^* - энергия активизации ($E^* = -AR^*$).

Из уравнения (2) видно, что, чем выше энергия активизации, тем больше зависимость скорости реакции твердения от температуры. Зависимостью скорости реакции от температуры и объясняется ухудшение механических свойств изделий из полимербетонов при неравномерном нагреве их в процессе термообработки. Полимербетоны по своей природе являются диэлектрическими материалами с относительно низкой теплопроводностью. На равномерный нагрев их конвекционным или контактным способом требуется много времени. Это приводит к низкому коэффициенту использования производственных площадей.

Термообработка изделий из полимербетона методами диэлектрического нагрева в электрическом поле высокой или сверхвысокой частоты имеет ряд преимуществ. Диэлектричес-

кий нагрев обеспечивает равномерный по всему сечению и практически безынерционный нагрев полимербетонов, так как преобразование энергии электрического (или электромагнитного) поля в тепловую происходит непосредственно в нагреваемом веществе. При диэлектрическом нагреве возможно мгновенное включение и выключение потока энергии, что имеет большое значение при регулировании скорости реакций твердения полимербетонов. Физические основы и преимущества диэлектрического нагрева достаточно полно освещены в литературе [3 - 6].

Методы термообработки полимербетонов посредством диэлектрического нагрева до настоящего времени исследованы экспериментально и объяснены теоретически еще недостаточно.

Известно, что реакции твердения большинства терморезактивных смол относятся к реакциям второго порядка. Скорость таких реакций

$$v = - \frac{dc}{dt} \quad (3)$$

определяется концентрацией реагирующего вещества c и константой скорости k , т.е.

$$v = kc^2. \quad (4)$$

Из уравнения (4) видно, что при $k = \text{const}$ скорость реакции со временем убывает, так как уменьшается концентрация реагирующего вещества. Это подтверждено экспериментально многими исследованиями.

В настоящее время для увеличения скорости твердения полимербетона на той или иной стадии предлагается проводить термообработку изделий. Сроки предварительного отверждения до начала термообработки, а также время и температуру термообработки, как правило, подбирают экспериментально.

Из уравнения (4) следует, что для того, чтобы скорость реакции твердения v была постоянной, необходимо изменять константу скорости по закону

$$k(t) = \frac{v}{c^2(t)}, \quad (5)$$

где $k(t)$ - константа скорости; $c(t)$ - концентрация реагирующего вещества в момент времени t .

При постоянной скорости реакции твердения

$$c(t) = c_0 - vt, \quad (6)$$

где C_0 - начальная концентрация реагирующего вещества.

Из уравнения Аррениуса можно определить константу скорости данной реакции

$$k_1 = \frac{B}{\frac{E^*}{R^* T}} \quad (7)$$

Величины B и E^* являются постоянными для данной реакции твердения и не зависят от температуры. Они могут быть определены экспериментально для любого состава полимербетона.

Температуру полимербетонной смеси $T(t)$ можно менять в широких пределах и тем самым изменять во времени константу скорости реакции.

Из уравнений (5) и (7) можно найти функцию $T(t)$, обеспечивающую постоянство скорости твердения.

Подставив в уравнение (5) значения $k(t)$ и $c(t)$, получим

$$\frac{B}{\frac{E^*}{R^* T}} = \frac{v}{(C_0 - vt)^2}$$

После преобразования получим закон изменения температуры реакционной смеси, обеспечивающий постоянство скорости твердения,

$$T(t) = \frac{E^*/R^*}{2 \ln(C_0 - vt) - \ln v + B} \quad (8)$$

Из формулы (8) видно, что для обеспечения достаточно высокой и относительно постоянной скорости твердения полимербетона термообработку необходимо проводить при изменяющейся во времени температуре. Формула позволяет по известным для данного состава полимербетонной смеси E^* и B , начальной температуре T_0 и концентрации реагирующего вещества C_0 определить скорость реакции сразу же после замеса и внесения катализатора, т.е.

$$v = \frac{B C_0^2}{E^* R^* T}$$

Требуемая начальная скорость твердения в свою очередь может служить критерием для расчета по формуле (8) температуры полимербетонной смеси в начале процесса твердения T_0 .

Зная количество тепла, выделяющегося вследствие экзотермичности реакции, можно определять изменение скорости

реакции как результат разогрева реакционной смеси. Для этого необходимы также данные о теплофизических свойствах полимербетона.

По формуле (8) можно определить момент времени, после которого скорость реакции твердения без подогрева реакционной смеси становится ниже требуемой, т.е. установить время предварительного отверждения $t_{пр}$. Этот момент и будет наиболее целесообразным для начала термообработки. Иначе говоря, начиная с него, целесообразно стимулировать реакцию твердения нагревом или любым другим способом.

На наш взгляд, важно то, что формула (8) позволяет определить рациональную температуру и закон изменения ее во времени для любой известной нам полимербетонной смеси, твердение которой можно отнести к реакции второго порядка.

Анализ формулы показывает, что полного затвердевания смеси при постоянной скорости реакции можно достичь только путем увеличения температуры до бесконечно большой величины. Естественно, что термообработка должна проводиться в заданном диапазоне температур. Поэтому на заключительной стадии возможна термообработка изделий при максимальной, но постоянной температуре. Скорость твердения при этом будет затухающей. Общее время термообработки следует рассчитать, исходя из заданной полноты затверждения заводских изделий из полимербетона. Например, рассчитав по формуле (8) среднюю скорость реакции $v_{ср}$ и зная начальную концентрацию связующего c_0 и требуемую полноту отверждения заводских изделий X , можно приблизительно определить время реакции твердения из равенства

$$X = c_0 - v_{ср} t_1, \quad t_1 = \frac{c_0 - X}{v_{ср}}. \quad (9)$$

Время термообработки будет равно $t_T = t_1 - t_{пр}$, где $t_{пр}$ - время предварительного отверждения.

Изменить температуру полимербетонной смеси по сложному закону практически невозможно, если использовать конвекционный или контактный нагревы. Низкая теплопроводность материала будет накладывать не менее сложный закон распределения температуры по сечению изделия.

По нашему мнению, этот фактор до настоящего времени является определяющим при выборе режима термообработки. Постоянная температура при длительной (6 - 10 ч) термообработке наилучшим образом обеспечивала равномерность распределения температуры по сечению.

Диэлектрический нагрев позволяет равномерно по всему сечению изделий повышать температуру по любому заранее заданному закону. Это, на наш взгляд, неоспоримое преимущество СВЧ-нагрева необходимо более широко использовать в производстве изделий из полимербетонов.

В ряде исследований отмечается, что скорость твердения эпоксидных, полиэфирных и фурановых композиций при нагреве их электрическим полем высокой или сверхвысокой частоты значительно выше, чем при конвекционном нагреве.

Экспериментальные данные, полученные нами при отверждении полимербетона на основе мономера ФАМ в электромагнитном поле сверхвысокой частоты, позволяют сократить время термообработки в 30 - 40 раз. При этом нами исследовалось влияние как непрерывного, так и импульсного электромагнитного поля. Параметры непрерывного поля: частота - 2450 МГц, напряженность - 0,025 - 0,1 кВ/см. Параметры импульсного поля: частота - 2450 МГц, напряженность - 1 - 2,7 кВ/см, частота следования импульсов от 300 до 800 Гц, длительность импульсов от 1 до 3 мкс.

Однако приведенные выше и другие данные не позволяют определить с достаточной точностью константы скорости реакций и дать количественные соотношения процессов твердения полимербетонов при нагреве диэлектрическим или конвекционным способами. Авторы указывают различные увеличения скорости твердения терморепактивных смол за счет термообработки их диэлектрическим нагревом.

Это объясняется, главным образом, тем, что термообработке в электромагнитном (электрическом) поле подвергались бетоны различных композиций на основе терморепактивных смол на разных стадиях твердения и при различных температурах. Отсюда можно полагать, что значительный выигрыш времени достигается за счет большой скорости и равномерности диэлектрического нагрева.

Однако как показывают опытные данные, этим не исчерпывается воздействие электромагнитного поля СВЧ на реакции твердения полимербетонов. При нагреве полимербетонной смеси на основе мономера ФАМ без катализатора импульсным электромагнитным полем СВЧ (частота колебаний 2450 МГц, напряженность 3,5 - 4 кВ/см, частота следования импульсов - 300 Гц, длительность импульсов - 2,7 мкс) нами обнаружено частичное отверждение конгломерата.

Цепной характер реакций полимеризации и поликонденсации терморепактивных смол, по нашему мнению, обязывает учиты-

вать наряду с тепловым и фотокаталитическое действие энергии электромагнитного поля СВЧ на скорость реакций твердения.

Резюме. При изготовлении изделий из полимербетонов термообработка является необходимой операцией, обеспечивающей ускорение реакции твердения. Термообработку изделий с целью ускорения реакции твердения необходимо вести при температуре, возрастающей по определенному закону.

СВЧ-нагрев или ВЧ-нагрев позволяют равномерно по всему сечению изделия изменять температуру по заданному закону. При создании технологии производства изделий из полимербетонов с применением электромагнитной энергии СВЧ необходимо учитывать фотокаталитическое действие поля СВЧ и теплоту, выделяющуюся за счет экзотермичности реакции твердения.

Л и т е р а т у р а

1. Руководство по приготовлению и использованию составов на основе терморезактивных смол в строительстве. М., 1969.
2. Соломатов В.И. Полимерцементные бетоны и пластбетоны. М., 1967.
3. Вологдин В.В. Современное состояние и перспективы развития высокочастотной электротермии в СССР. - "Электротермия", 1968, № 75 - 76.
4. Долгополов Н.Н. Электрофизические методы в технологии строительных материалов. М., 1971.
5. Маслаков А.Д., Маслаков И.Д. Энергия СВЧ в производстве строительных материалов. - "Промышленность Белоруссии", 1971, № 11.

УДК 624.91:697.137

В.И.Скрибо (канд.техн.наук). Л.А.Иванова (канд.техн.наук),
А.М.Козловский (канд.техн.наук)

ИНДУСТРИАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ ПОЛНОБОРНЫХ ЗДАНИЙ (ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ)

Спустя почти полтора десятка лет после появления в строительстве панелей совмещенных крыш сохраняется неясность относительно дальнейших перспектив их применения. Более того, все чаще высказываются мнения о возврате к традиционным покрытиям раздельного типа - крышам с чердаками [1].

Индустриальные совмещенные крыши в том виде, как они решаются сегодня, остаются наиболее уязвимым элементом