

УДК 668.972:69.025

И. Н. АХВЕРДОВ, чл.-корр. АН БССР, д-р техн. наук, проф.,
Э. И. БАТЯНОВСКИЙ, канд. техн. наук (Белорусский политехнический ин-т)

Быстротвердеющий бетон сухого формования

При традиционной технологии формирования сборных бетонных и железобетонных изделий из водозатворенных смесей используют химические добавки [1], а также предварительный разогрев смеси [2], позволяющие сократить индукционный период формирования структуры цементного геля, ускорить твердение бетона, снизить энергоемкость производства. При этом наибольший эффект достигается в бетонах с низким начальным водосодержанием [3, 4]. Реализация совокупного воздействия на бетон предварительного разогрева и введения ускорителей твердения при обычной технологии связана с большими трудностями, так как при этом резко снижается удобоукладываемость смеси, и, как следствие, возрастает пористость, а вместе с ней уменьшается прочность и долговечность бетона.

При сухом формовании бетона фактор удобоукладываемости смеси в привычном понимании этого термина отсутствует, в связи с чем ускоренное схватывание цементного геля под воздействием повышенной температуры и химических добавок не оказывает отрицательного влияния на его формовочные свойства, оно благоприятствует развитию твердения и упрочнения цементного камня и бетона. Повышение температуры вызывает ускорение диссоциации клинкерных минералов на ионы вследствие увеличения кинетической энергии молекул твердой и жидкой фаз.

Образующийся при этом ионный раствор быстро пересыщается, чем интенсифицируется ионообмен и образование зародышей центров кристаллизации. Этим процессам способствует введение в горячую бетонную смесь электролитов, пептизирующе действующих на твердую фазу и ускоряющих в первые часы трансформацию цементного геля в камневидное состояние. В результате уже через 6..12 ч твердения в естественных условиях бетон набирает прочность, достаточную для распалубки, транспортирования и складирования изделий. При этом разогрев сухой бетонной смеси целесообразно осуществлять, используя горячие заполнители, температура которых после высушивания 70..85°C.

Для практической проверки провели эксперименты, в которых использовали портландцемент Волковьского цементного завода $R_d = 36,5$ МПа, $K_{в.г} = 0,27$ и $\rho_d = 3100$ кг/м³; щебень гранитный прочностью 80 МПа фракции 5..20 мм и песок природный стандартной гранулометрии. Сухую бетонную смесь оптимального состава [5] (Ц=360 кг, Щ-1250 кг, П=810 кг) помещали в формы с ребром 10 см и уплотняли в течение 60 с вибрированием с частотой 50 Гц и амплитудой 0,5 мм при величине пригруза 0,015..0,025 МПа. Затем горячую смесь насыщали водой или раствором добавки, имевшими такую же температуру, под давлением 0,3 МПа и снова вибрировали 60 с при тех же параметрах.

В начальной стадии эксперимента установлено влияние расхода ускорителей твердения (CaCl_2 , Na_2SO_4 , ННХК) на прочность холодного бетона ($t \approx 20^\circ\text{C}$). Оказалось, что прочность бетона в различные сроки твердения не однозначно зависит от расхода химической добавки (рис. 1). Например, в возрасте 1 сут прочность тем выше, чем больше введено ускорителя твердения независимо от его вида; к трем суткам прочность бетона с 5% CaCl_2 и ННХК оказалась ниже, чем при расходе 3%. В более поздние сроки оптимальный расход добавки снижается

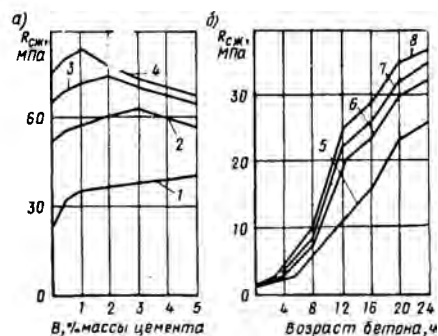


Рис. 1. Изменение прочности бетона в зависимости от расхода CaCl_2 (а) и кинетика его упрочнения в начальные сроки твердения (б)
1 — 1 сут; 2 — 3 сут; 3 — 7 сут; 4 — 28 сут;
5 — без добавок; 6 — 1% Na_2SO_4 ; 7 — 1% ННХК;
1 — 1% CaCl_2

и составляет для CaCl_2 и ННХК к возрасту 28 сут — 1%, для Na_2SO_4 — 1...2%.

Приняв расход ускорителя 1% за оптимальный, установили, что через 10...12 ч твердения образцов в формах под влагоизолирующей пленкой на воздухе при температуре $t \approx 20^\circ\text{C}$ прочность бетона с добавками составляет 15...25 МПа, что обеспечивает возможность распалубки, транспортирования и складирования изделий для последующего (по мере необходимости) дозревания бетона до набора отпускной прочности (рис. 2).

Влияние предварительного разогрева на прочность бетона исследовали на образцах, твердевших в различных условиях — одну серию в формах укрывали влагоизолирующей пленкой и выдерживали 24 ч при $t = 20^\circ\text{C}$, после чего образцы распалубливали и хранили до испытаний в нормально-влажностных условиях; другую серию распалубливали немедленно после повторного вибрирования и сразу же помещали в камеру нормально-влажностного твердения; третью серию образцов в формах укрывали влагоизолирующей пленкой и помещали на 24 ч в теплоизолирующий кожух из пенопласта, чем создавали термосные условия твердения бетона; после распалубки образцы хранили в нормально-влажностных условиях. В результате установлено, что выбор оптимальной температуры предварительного разогрева бетона зависит от условий его твердения — при немедленной распалубке изделий разогрев не должен превышать 40°C , при твердении их в форме с влагоизоляцией поверхности целесообразен разогрев до 60°C . При этом наблюдается ускорение роста прочности бетона в раннем возрасте; так, к 12 ч твердения она составляет 15...20 МПа вместо 10...12 МПа для бетона с начальной температурой 20°C , однако к 28 сут твердения прочность разогретого бетона практически равна прочности холодного бетона. Наиболее интенсивно процесс упрочнения происходит в условиях термоса — через 8 ч $R_{сж} = 20$ МПа, через 12 ч — до 35 МПа и к 24 ч — до 45 МПа для образцов бетона с начальной температурой 60°C .

Введение в предварительно разогретую сухую бетонную смесь 1% CaCl_2 , ННХК

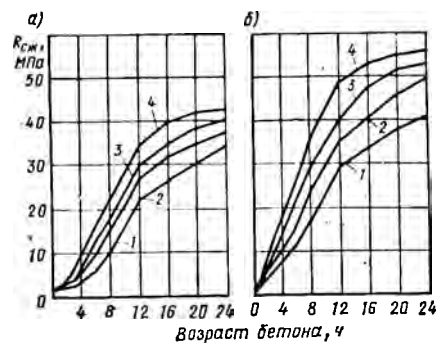


Рис. 2. Кинетика роста прочности разогретого бетона с 1% CaCl_2 при естественном остывании образцов (а) и термосном твердении (б)
1 — $t = 20^\circ\text{C}$; 2 — $t = 40^\circ\text{C}$; 3 — $t = 60^\circ\text{C}$; 4 — $t = 80^\circ\text{C}$

или Na_2SO_4 интенсифицирует процесс упрочнения бетона на всем интервале температур от 20 до 80°C , однако эффективность добавок с повышением температуры разогрева смеси проявляется не однозначно и зависит от времени и условий твердения бетона. Чем благоприятнее условия структурообразования, сопровождающегося переходом цементного геля из вязкопластичного в камневидное состояние, тем на более ранней стадии проявляется эффект от добавки в бетоне и тем значительнее он снижается во времени. Например, через 6 ч твердения при естественном остывании образцов в формах под влагоизолирующей пленкой прирост прочности бетона с температурой 20 и 80°C от введения 1% CaCl_2 составлял 3,5 и 5 МПа, а при термосном вызревании — 7 и 9 МПа; через 12 ч твердения в условиях естественного остывания прирост прочности бетона стабилизировался и, независимо от температуры предварительного разогрева, был равен 13...14 МПа, а через 24 ч — 10...11 МПа. К 12 ч термосного вызревания бетона при $t = 20^\circ\text{C}$ прочность возросла на 13 МПа, а при $t = 80^\circ\text{C}$ — на 7 МПа и к 24 ч — на 11 и 6 МПа. Необходимо отметить, что абсолютная прочность бетона с добавкой-ускорителем твердения через 6, 12 и 24 ч твердения в термосных условиях значительно превышала прочность образцов, твердевших в условиях естественного остывания.

Следовательно, применение предвари-

тельного разогрева сухой бетонной смеси в сочетании с введением ускорителей твердения позволяет через 8...10 ч твердения в естественных условиях или 6...8 ч термосного вызревания получать бетон прочностью 15...30 МПа. Учитывая, что в условиях заводского производства отформованные изделия после выдерживания дозревают на воздухе, необходимо проследить изменение прочности бетона при распалубке образцов через 0, 6, 12 и 24 ч и твердении их в течение 28 сут в помещении при влажности воздуха $\approx 60\%$ и температуре $t \approx 20^\circ\text{C}$ (см. таблицу).

Приведенные данные свидетельствуют о том, что увеличение времени выдерживания в условиях, обеспечивающих влагоизоляцию поверхности образцов, способствует росту прочности как холодного, так и разогретого бетона. Наибольший эффект отмечен при термосном выдерживании в течение 24 ч, поскольку в этом случае ускоряется гидратация цемента и большее количество жидкости переходит в связанное состояние в начальный период твердения. Этим ограничивается развитие процесса обезвоживания бетона при последующем твердении на воздухе. Так, к 28 сут воздушного твердения немедленно распалубленные образцы из разогретого до 60°C бетона потеряли до 50% воды затворения, в то время как твердевшие первые 24 ч под влагоизолирующей пленкой и в условиях термоса — не более 20 и 15%. Испарение жидкости из бетона с низким начальным водосодержанием ($V/C = 0,26...0,28$) замедляет гидратацию цемента и увеличивает пористость цементного камня, в результате чего снижается прочность бетона. Таким образом, выдерживание в течение 12...24 ч предварительно разогретого до 40... 60°C бетона в условиях, исключающих потери им влаги, обеспечивает достаточно стабильный рост прочности при последующем твердении на воздухе.

Экономическая эффективность предлагаемой технологии при производстве, например, тротуарных плит складывается из уменьшения расхода цемента, по сравнению с изготовлением их кассетным способом или вибропрессованием на 25...35%, устранения затрат на ТВО заменой ее выдерживанием в естественных условиях и роста долговечности изделий вследствие повышения плотности и прочности бетона. Дополнительные затраты на предварительное высушивание заполнителей, составляющие примерно 1 р/м³ бетона, перекрываются экономией от устранения ТВО, затраты на которую составляют 3...4 р/м³ бетона в изделиях.

Учитывая особенности технологии изготовления изделий способом сухого формования бетона, ее целесообразно ис-

Условия твердения бетона до распалубки	Время распалубки, ч	Прочность бетона, МПа, разогретого до температуры, °C			
		20	40	60	80
—	0 ¹	41,3/45,4 ²	36,4/39,6	30,2/34,7	22,1/28,8
	6	53,0/57,4	56,3/60,8	58,0/62,5	55,6/60,2
	12	62,0/65,7	63,0/66,4	64,3/66,5	63,1/66,0
Выдерживание в формах с влагоизолирующей поверхности образцов	24	67,3/69,8	68,7/72,8	69,5/73,4	66,2/70,0
	6	54,2/58,2	57,7/62,0	61,1/64,3	59,0/63,5
	12	63,4/67,0	64,0/68,7	65,9/69,7	64,4/68,0
Термосное твердение	24	68,5/73,1	70,8/73,9	72,5/75,5	68,0/71,3

Примечания. 1 — немедленная распалубка образцов с последующим твердением на воздухе; 2 — перед чертой — бетон без добавок; после черты — 1% CaCl_2 .

льзовать при производстве тротуарных, облицовочных, дорожных плит, бордюров и камней, т. е. изделий, к которым предъявляют повышенные требования по плотности и прочности бетона, которые на традиционной технологии обеспечиваются вследствие повышенного (550... 600 кг) расхода цемента, мягких и пропаривательных режимов пропаривания.

Вывод

Применение ускорителей твердения в сочетании с предварительным разогревом бетонной смеси и рациональными условиями твердения бетона создает предпосылки для исключения тепловлажностной обработки изделий из технологического процесса и замены ее выдерживанием в естественных условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Эффективные разжижители бетонных смесей / Ф. М. Иванов, О. А. Саввина, В. Н. Горбунов и др. // Бетон и железобетон. — 1977. — № 7. — С. 11—12.
- Руководство по пароразогреву бетонных смесей при производстве сборного железобетона. — М.: Стройиздат, 1978. — 48 с.
- Серова Л. П., Михановский Д. С., Шварцман П. И. Влияние водопотребности горячих смесей на прочность бетона // Бетон и железобетон. — 1978. — № 1. — С. 35—37.
- Ахвердов И. Н., Шалимо М. А., Довнар Н. И. О влиянии хлористого кальция на формирование структуры цементного камня и бетона. — ДАН БССР, 1975. — Т. 19. — № 7. — С. 626—629.
- Ахвердов И. Н., Батыновский Э. И. Особенности изготовления изделий из водонасыщенных сухих смесей с повторным виброуплотнением // Бетон и железобетон. — 1982. № 9. — С. 34—35.

Авторские свидетельства

№ 24*

240753. Южгипронисельстрой. Н. И. Орла, Б. В. Гусев и Ю. И. Ольховский. Способ приготовления бетонной смеси.

240845. ГрузНИИЭГС. В. Н. Бастатский. Перекрытие.

240848. Н. Н. Леухин. Способ соединения арматурных стержней.

240852. ВПЭКТИ. Р. О. Саакян, А. О. Саакян, С. Х. Шахназарян и К. Г. Мовсесов. Способ возведения каркасного здания методом подъема перекрытий.

240853. ВПЭКТИ. Р. О. Саакян, А. О. Саакян, С. Х. Шахназарян и др. Способ возведения ненагружающей надстройки над существующим зданием.

240854. Всесоюзный ин-т Оргэнергострой. М. Б. Джуринский, А. С. Павлов, А. М. Скоромников и В. Г. Чумаченко. Башня градирни.

Заводское производство

УДК 621.869.82:693.56

Г. С. МИТНИК, канд. техн. наук (НИИЖБ); Е. В. БОГАЧЕВ, Н. А. САВИНСКИЙ, Н. Ф. ПИСТРЯК, инженеры (Черкасский з-д Строммашина); А. Н. ОКСЕНЕНКО, инж. (ПО Курскстройдеталь)

Преднапряженные стальные поддоны для заводов сборного железобетона

Предварительное напряжение — наиболее эффективный способ снижения массы стальных поддонов, предназначенных для изготовления изделий с преднапряженной арматурой. Оно позволяет усилить находящиеся в эксплуатации поддоны и тем самым увеличить продольную нагрузку на них от напряженной арматуры.

Конструктивные решения преднапряженных поддонов разработаны в середине 50-х годов, когда возникла необходимость в переходе на изготовление железобетонных изделий с преднапряженной арматурой при отсутствии поддонов, рассчитанных на восприятие больших продольных нагрузок. Тогда же были изготовлены первые преднапряженные поддоны, проверенные при эксплуатации на заводах [1].

Схема преднапряженного поддона в традиционном исполнении показана на рис. 1. В нижней части поддона расположены тяги, число и диаметр которых определяются расчетом [2]. Тяги натянуты до усилия $0,7...0,8 R_s, \text{сст.}$ Приложенное с некоторым эксцентриситетом относительно центральной плоскости поддона усилие выгибает его. При натяжении на упоры арматуры изделия рабочая поверхность поддона выпрямляется, так что формование происходит на поверхности ровной или с небольшим искривлением.

Опыт эксплуатации поддонов рассматриваемого типа на разных заводах показал, что их деформации соответствуют расчетным, однако конструкция в целом имеет принципиальный недостаток. В процессе эксплуатации усилие натяжения в тягах, создающих преднапряженную конструкцию, падает, что вызвано многократными воздействиями вибрации, температурными перепадами, ударами, а также высоким уровнем начальных напряжений в тягах, закрепленных по концам и работающих, как гибкая нить.

В связи с тем, что на производстве периодическую подтяжку тяг, как правило,

не проводили, через 4—6 мес эксплуатации поддоны уже работали как ненапряженные со всеми последствиями для качества железобетонных изделий. Учитывая это, на протяжении последующих десятилетий преднапряженные поддоны имели ограниченное применение. Положение изменилось, когда Черкасским заводом Строммашина совместно с НИИЖБ были разработаны преднапряженные поддоны в новом конструктивном исполнении* (см. рис. 1).

Тяги в них расположены под нижними полками продольных швеллеров, к которым они приварены по краям и с определенным шагом по длине. Напряжение в тягах не превышает 100 МПа. В новой конструкции благодаря более низкому расположению тяг увеличивается эксцентриситет приложения продольной силы, т. е. повышается эффективность работы преднапряженных тяг. Последние закреплены не только по краям, но и с шагом 800...1000 мм по длине, что исключает потери напряжений из-за ее колебаний как гибкой нити. Уменьшение в 3...4 раза напряжений в тягах практически исключает их потери в процессе эксплуатации поддона.

Таким образом, изменение конструкции позволило ликвидировать принципиальный недостаток преднапряженного поддона, связанный с потерей напряжений в тягах при их работе, и тем самым широко использовать их в заводском производстве.

В новом конструктивном решении выполнен преднапряженный поддон СМЖ-548А, серийно выпускаемый Черкасским заводом Строммашина с 1983 г. (рис. 2). В нем предусмотрены четыре тяги диаметром 25 мм из стали класса А-IIIв. По сравнению с ненапряженным поддоном СМЖ-548 число продольных балок уменьшено с 8 до 6 [3]. Площадь поперечного сечения поддона СМЖ-548А снижена на 10,5%, а масса — на 8,6%, т. е. на 280 кг. Поддоны СМЖ-548А изготавливают на семипостовом шаговом конвейере [4]. Натяжение тяг производят с помощью пневмоцилиндров, установленных на третьем посту конвейера (рис. 3). Завод ежегодно выпускает около 4 тыс. поддонов СМЖ-548А, и экономия стали, достигнутая благодаря переходу к преднапряженной конструкции, составила на начало 1986 г. почти 5 тыс. т.

За счет натяжения тяг поддон СМЖ-

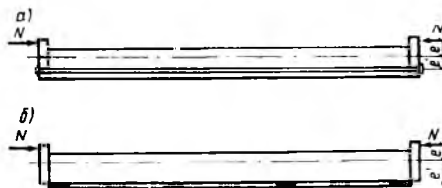


Рис. 1. Схема преднапряженных стальных поддонов
а — традиционное конструктивное решение;
б — новое

* А. с. 935299 СССР, МКИ³ В 28 В 7/08. Поддон формы / Ю. В. Хворощанский, Е. В. Богачев, В. Д. Альченко и др. (СССР). — Открытия. Изобретения. — 1982. — № 22. — С. 68.