

О ПРИРОДЕ КОРОБЛЕНИЯ ПРЕССОВАННЫХ ГИПСОВЫХ ПЛИТ

Случаи коробления прессованных гипсовых плит, отмечавшиеся еще при разработке технологии их фильтрационного прессования [1], имеют место и в производственных условиях при изменении качества сырьевых материалов или отклонениях от заданных технологических режимов изготовления плит. Коробление их проявляется в искривлении первоначально плоской поверхности сразу или вскоре после извлечения из пресс-формы. Лицевая поверхность плит бывает выпуклой или вогнутой. Кривизна плит приблизительно сферическая с радиусом иногда порядка 1 м, чаще 3...5 м и более.

Авторами* выявлены три возможные причины коробления гипсовых плит: влажностная усадка материала; деформации, связанные с продолжающейся гидратацией вяжущего; деформации упругого последдействия, связанные с внутренними напряжениями, создаваемыми в материале в процессе прессования. Факторами, способствующими короблению плит, предположительно могут быть неоднородность материала плит по плотности, пористости, степени гидратации вяжущего, а также различие испаряющих способностей двух поверхностей плит — гладкой лицевой и шероховатой тыльной, прилегавшей при прессовании к фильтру.

Установлено, что усадочные деформации, возникающие при сушке плит на воздухе, могут оказывать существенное влияние на качество изделий и приводить к заметному искривлению их поверхности. Так, если создать неодинаковые условия испарения влаги с обеих сторон плиты, то, независимо от других факторов, коробление проявляется во всех случаях. Это подтверждается многократными опытами, в которых плиты непосредственно после изготовления укладывались плашмя на стол или другую плоскую водонепроницаемую поверхность, так что испарение влаги с верхней (открытой) поверхности было гораздо более интенсивным, чем с нижней (закрытой). Верхняя поверхность плиты — как лицевая, так и тыльная — всегда становилась вогнутой.

Коробление, обусловленное неравномерным высыханием плит, необратимо, поскольку сопровождается не только упругими, но и пластическими деформациями материала. Кроме того, кристаллизация двуводного гипса при продолжающейся гидратации вяжущего "закрепляет" плиту в деформированном состоянии. Поэтому очень важно сразу после прессования плиты обеспечить одинаковые условия испарения влаги с обеих ее поверхностей, для чего плиты необходимо ставить на ребро вертикально с зазорами. Установлено, что при этом условии влажностная усадка материала не вызывает коробления плит, а если оно и возникает, то в силу других причин, которые представляется возможным выявить.

* В работе принимал участие И.М. Ляшкевич.

Исследованиям подвергались плиты, изготовленные на гипсовом вяжущем марки Г-4. Сроки схватывания теста определяли по методике ГОСТ 23789—79 как при ручном перемешивании его венчиком, так и в электромешалке. В первом случае начало схватывания зафиксировано через 5 мин после затворения вяжущего водой, конец схватывания — через 9 мин; во втором случае — соответственно через 4 и 7,5 мин.

Для исследования влияния режима прессования плит на процесс их коробления была изготовлена серия плит размером 100×100×6 мм. Все плиты изготавливали из теста нормальной густоты (продолжительность перемешивания в электромешалке — 20 с), после чего подвергали фильтрационному прессованию по следующему режиму: подъем давления до 10 МПа в течение 1 мин, выдержка под давлением в течение 3 мин. Время приложения давления варьировали в пределах от 1,25 до 7,5 мин от начала затворения смеси. Сразу после распалубки плиты взвешивали и ставили на ребро. Состояние их поверхностей контролировалось с помощью стальной линейки-эталоны.

В зависимости от времени приложения давления прессования плиты получают либо совершенно ровными, либо выпуклыми или вогнутыми с лицевой стороны (табл. 1). При этом вогнутость их лицевой стороны проявляется только в случае приложения давления задолго до начала схватывания смеси, а выпуклость — при приложении давления в период схватывания. Чем раньше приложено давление, тем более заметно выражена вогнутость плит, и наоборот, чем позже — тем сильнее выражена их выпуклость.

Так, первый образец, прессование которого было начато через 1,25 мин после затворения смеси, через 15 мин после изготовления имел вогнутую лицевую поверхность — просвет между линейкой и центром плиты составил около 0,3 мм, который еще через 15 мин увеличился до 0,5 мм, что соответствует радиусу кривизны поверхности плиты около 5 м.

Коробление второго образца, прессование которого осуществлялось спустя 2 мин после затворения смеси, было однотипным, но проявлялось в меньшей степени (радиус кривизны — около 12 м). Третий образец оказался абсолютно ровным, а все последующие — в разной мере выпуклыми. Наиболее выпуклым оказался образец, сформованный при приложении давления через 7,5 мин после начала затворения смеси, т.е. к концу периода ее схватывания. Радиус его кривизны составил 6 м.

Табл. 1. Зависимость состояния поверхности плит от режима их прессования

Номер образца	Время приложения давления от момента затворения смеси, мин	Внешний вид лицевой поверхности плиты
1	1,25	Вогнутая
2	2	Слабо вогнутая
3	3	Ровная
4	4	Слабо выпуклая
5	5	Выпуклая
6	6	Выпуклая
7	7	Сильно выпуклая
8	7,5	Очень сильно выпуклая

Следует отметить, что при изменении режима перемешивания смеси (увеличении или уменьшении его продолжительности или интенсивности) описанные эффекты смещаются во времени в ту или другую сторону.

Для того чтобы убедиться в отсутствии влажностной усадки материала при установке плит на ребро (она может быть вызвана возможной их неоднородностью по плотности или различием испаряющих способностей двух поверхностей – гладкой лицевой и шероховатой тыльной, прилегающей к фильтру), некоторые плиты сразу после изготовления погружались в воду. Таким образом, была полностью исключена возможность их высыхания. Эти плиты коробились точно так же и в такой же мере, как и плиты, хранившиеся на воздухе. Исследование кинетики убыли влаги с обеих поверхностей плит показало полную конгруэнтность этих процессов, что доказывает независимость наблюдаемых эффектов от испаряющей способности поверхностей плит и, следовательно, от их влажностной усадки. Опыты с плитами разной толщины (от 1,3 до 13,7 мм) показали независимость наблюдаемых эффектов и от толщины изделий.

Для выявления причин, вызывающих коробление плит, сформованных при воздействии давления на разных стадиях созревания смеси, был проведен комплекс исследований, включающий изучение фазового состава, степени гидратации, плотности, влажности и пористости материала с разных сторон плит (лицевой и тыльной) и изменения этих параметров во времени. Сравнивались образцы, сформованные до начала схватывания смеси, с образцами, сформованными в период ее схватывания. Плиты-образцы формовали через 1,25 и 6 мин после затворения смеси.

С лицевой и тыльной поверхностей плит отбирались пробы, которые сразу измельчались, трехкратно обрабатывались спиртом для обезвоживания и затем быстро подсушивались в потоке теплого сухого воздуха. Исследование их велось методами дифференциально-термического и количественного рентгенофазового анализа на дифрактометре (табл. 2).

Степень гидратации вяжущего, оцениваемая относительным содержанием двуводного сульфата кальция (по отношению к суммарной массовой доле

Табл. 2. Степень гидратации гипсового вяжущего

Время от момента затворения смеси, мин		Относительное содержание двуводного сульфата кальция, %
начала прессования	отбора проб	
1,25	10	<u>23,78</u> 25,8
	30	<u>36,82</u> 47,46
6	10	<u>49,47</u> 53,47
	180	<u>81,9</u> 85,91

Примечание. В числителе – в пробах, отобранных у лицевой поверхности плит, в знаменателе – у тыльной.

двуводного и полуводного), в образцах, спрессованных до начала схватывания смеси, как и следовало ожидать, значительно меньше, чем в образцах, спрессованных позже. В образцах, спрессованных до начала схватывания смеси, степень гидратации вяжущего у тыльной поверхности плит больше, чем у лицевой: через 10 мин после затворения смеси – на 9 %, а через 30 мин – уже на 32 %. Степень гидратации вяжущего увеличилась за тот же период у лицевой поверхности плиты на 58 %, а у тыльной – на 91 %. Поскольку гидратация вяжущего сопровождается увеличением объема (расширением) твердой фазы, плита выгибается таким образом, что тыльная сторона получается выпуклой, а лицевая – вогнутой. Это можно объяснить следующим образом. На ранней стадии взаимодействия вяжущего с водой кристаллизация двуводного сульфата кальция только начинается и новообразования так мелки (порядка размера коллоидных частиц), что переносятся отжимаемой водой в сторону фильтра; масса этих частиц невелика, но значительны их количество и влияние как центров последующей кристаллизации, дающих эффект ускорения процесса гидратации.

В образцах, сформованных после начала схватывания смеси, показатели степени гидратации у лицевой и тыльной поверхностей близки, и, очевидно, гидратация вяжущего на этой стадии коробления плит уже не вызывает. Здесь проявляется новый фактор: предварительное напряжение прессуемого материала. Поскольку прессование происходит в период схватывания вяжущего, в системе сразу же образуется связанная контактная структура, претерпевающая в ходе прессования всестороннее сжатие и остающаяся в напряженном состоянии. Сжатие происходит по всему объему материала, однако чем ближе к фильтру, тем сильнее поток отжимаемой воды, и можно предположить, что вода в какой-то степени размывает и на время ослабляет контакты между частицами, способствуя релаксации возникающих напряжений. В результате к концу периода прессования сжимающие напряжения у лицевой поверхности плиты больше, чем у тыльной, поэтому при извлечении из пресс-формы она выгибается, становясь выпуклой со стороны лицевой поверхности.

Правильность подобного анализа подтверждается ранее выполненным исследованием [2], где при испытании образцов-призм был обнаружен эффект их предварительного напряжения, проявившийся в повышении предела прочности материала при изгибе и одновременном уменьшении предела его прочности при сжатии. Было показано, что возникающие напряжения могут привести к отслоению лицевого слоя образца, принимающего сферическую (выпуклую) форму. Отслоение происходит, когда сопротивление образца-призмы изгибу больше сопротивления отрыву слоя. Сопротивление плиты изгибу меньше, поэтому имеет место коробление.

Итак, вогнутость или выпуклость лицевой поверхности плит является следствием слишком раннего или слишком позднего (относительно сроков схватывания смеси) прессования плит. Контрольные опыты, в которых образцы прессовали точно так же, но из двуводного гипса, показали отсутствие какого-либо их коробления. Последнее связано именно с гидратацией вяжущего и структурообразованием, которые должны быть согласованы во времени с режимом прессования.

В дополнительной серии опытов изучалась возможность предотвращения коробления плит за счет добавления в смесь извести, которая, как известно,

замедляет схватывание гипсового вяжущего. Как следует из вышеизложенного, предупредить появление вогнутости лицевой поверхности плиты при раннем прессовании таким способом нельзя, но он может оказаться эффективным для предотвращения выпуклости при более позднем прессовании. Результаты опытов это полностью подтвердили: при добавлении к гипсовому вяжущему 3 % извести плиты, прессовавшиеся через 1,25 мин после затворения смеси, имели вогнутую лицевую поверхность, как и плиты без извести, зато плиты, прессовавшиеся через 6 мин, — плоскую или даже слегка вогнутую лицевую поверхность. Добавление извести расширяет временной интервал, в пределах которого можно прессовать изделия, не подвергающиеся короблению.

В процессе описываемого исследования определялись плотность и пористость прессованного материала, его влажность, причем дифференцированно для прилегающего к двум противоположным поверхностям плит. Для этого плиты распиливали приблизительно по срединной плоскости, параллельной лицевой поверхности. Анализ полученных результатов (табл. 3) показал, что плотность и пористость прессованного материала по толщине плиты практически одинаковы. Это является достоинством технологии фильтрационного прессования, в принципе пригодной для изготовления изделий разной толщины. Вероятно, именно поэтому вышеописанные эффекты наблюдались во всех плитах независимо от их толщины и не были связаны с влажностной усадкой материала.

Пористость материала не зависела от времени прессования, а значит, и от степени гидратации вяжущего. Очевидно, что она зависит от давления прессования, а оно было принято во всех опытах одинаковым. При хранении образцов их пористость уменьшается за счет продолжающейся гидратации вяжущего. Показательно, что пористость материала, прилегающего к тыльной поверхности плиты, уменьшается интенсивнее, особенно в плите, сформованной до начала схватывания смеси.

Табл. 3. Пористость и влажность прессованных образцов

Время от момента затворения смеси, мин		Пористость, %	Влажность, %			
			по массе	по объему		
начала прессования	отбора проб	1,25	10	$\frac{23,3}{24,8}$	$\frac{4,0}{4,2}$	$\frac{8,1}{8,5}$
		30	10	$\frac{23,1}{22,5}$	$\frac{1,8}{1,6}$	$\frac{3,6}{3,1}$
180		10	10	$\frac{23,2}{23,2}$	$\frac{0,9}{9,7}$	$\frac{19,2}{18,7}$
		180		$\frac{22,4}{21,5}$	—	—

П р и м е ч а н и е. В числителе — у лицевой поверхности плит, в знаменателе — у тыльной.

Следует отметить, что в поздно сформированных образцах влажность материала значительно выше. Объемная влажность и пористость этих образцов имеют близкие, а в процессе прессования, по-видимому, и равные значения. Иначе говоря, поры заполнены водой, содержание которой в материале достаточно для гидратации вяжущего. Иная картина наблюдается в образцах, сформированных до начала схватывания смеси. Уже на стадии выдержки образцов под постоянным давлением развивающаяся гидратация вяжущего ведет к обезвоживанию пор. Объем влаги в материале через 10 мин после затворения смеси меньше объема пор примерно в 3 раза, а через 30 мин — в 7 раз. Поры в этом случае заполнены в основном не водой, а водяным паром. Пористость этих образцов в возрасте 11 сут составила 15,7 %, а влажность — 0,5 % (по объему).

Анализ полученных экспериментальных данных подтверждает реальность изложенных представлений о природе коробления прессованных гипсовых плит. На их основе можно найти такие технологические параметры процесса изготовления плит, при которых удастся избежать их коробления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Раптунович Г.С. Исследование процесса формирования структуры и свойств высокопрочного материала на основе строительного гипса: Дис.... канд. техн. наук. — Мн., 1982. — 181 с.
2. Морсова Л.А. О напряженном состоянии прессованных гипсовых образцов // Техника, технология, орг. и экономика стр-ва. — Мн., 1983. — Вып. 9. — С. 46—48.

УДК 666.815.4

В.Г. СУШКЕВИЧ, Л.Г. ЧЕРНАЯ,
и.л. ПОТАПОВА, Л.В. КРАСУЛИНА

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГИПСОЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С ПОЛИМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ

Актуальной задачей строительной индустрии является создание высокопрочных, водо- и морозостойких материалов на основе полуводного гипса и его сочетаний с другими вяжущими.

Материалы, изготовленные на основе гипсового вяжущего по литьевой технологии, характеризуются невысокими прочностными показателями и являются неводостойкими вследствие макропористости структуры и повышенной растворимости гипса в воде. Увеличение прочности и водостойкости изделий достигается путем сочетания полуводного гипса с цементом, доменным шлаком, известью и пуццолановыми добавками [1]. Литая композиция таких компонентов дает гидравлическое вяжущее марок 100..150. Коэффициент размягчения гипсоцементных и гипшошлаковых материалов составляет около 0,6, что в два раза превышает этот же показатель для гипсовых изделий.

В БПИ разработан способ производства высокопрочных, водостойких и морозостойких материалов на основе гипса и гипсовых композиций с добавками путем прессования пластичных смесей при относительно невысоких