

С.В. АНИСИМОВА, канд. хим. наук, А.Е. КОРШУНОВ, инженер (korshynov@gmail.com), А.А. ЗЕКИН, студент
Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65)

Возможность переработки древесных отходов при производстве гипсовых изделий

Обоснована возможность получения гипсовых изделий с применением в качестве наполнителя древесных отходов (ДО) от распиловки ламината. Введение в состав гипсового теста ДО вызывает увеличение водопотребности системы вследствие гидрофильности древесного составляющего. Для обеспечения технологичности формования и эксплуатационных свойств получающихся изделий требуется использование гиперпластификаторов и регуляторов сроков схватывания. Показано, что введение ДО до 15% в композиции со строительным гипсом позволяет получать изделия пониженной плотности (до 1040 кг/м³) при сохранении высоких прочностных показателей. При оценке теплоизоляционных свойств и прочности образцов в насыщенном водой состоянии установлены показатели, характерные для выпускаемых гипсовых материалов.

Ключевые слова: гипсовые изделия, гипсовое вяжущее, древесные отходы, органический наполнитель, гиперпластификатор.

S.V. ANISIMOVA, Candidate of sciences (Chemistry), A.E. KORSHUNOV, Engineer(korshunov@gmail.com), A.A. ZEKIN, Student
Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (65, Ilyinskaya Street, 603950, Nizhny Novgorod, Russian Federation)

Possibility of Wood Waste Processing in the Course of Gypsum Articles Manufacture

A possibility to produce gypsum articles with the use of wood waste (WW) of laminate sawing as filler is substantiated. The introduction of WW into the composition of gypsum paste causes an increase in water demand of the system due to the hydrophilicity of a timber component. To ensure the molding processability and operational properties of articles produced, it is necessary to use hyperplasticizers and regulators of setting time. It is shown that introducing 15% of WW into compositions with building gypsum makes it possible to manufacture articles with lowered density (up to 1040 kg/m³) while maintaining high strength characteristics. For assessing heat insulation properties and strength of samples in water saturated state, indicators characteristic for produced gypsum products have been established.

Keywords: gypsum articles, gypsum binder, wood waste, organic filler, hyperplasticizer.

Выпуск и применение гипсовых строительных изделий (блоки, плиты, листы) постоянно увеличивается, так как эти материалы обладают отличными потребительскими качествами, а технология их производства не отличается особой сложностью и высокими энергозатратами. С одной стороны, достаточно высокая точность размеров и форм, низкая плотность, прочность и твердость поверхности, возможность подгонки при резке обеспечивают высокую скорость монтажа гипсовых строительных элементов при их соединении для внутренней отделки стен, полов и потолков помещений. С другой стороны, доступность основного сырья (гипсового вяжущего) и соблюдение простых технологических операций при изготовлении изделий определяют возможность появления новых производителей данного вида материалов прежде всего за счет создания малых предприятий [1, 2].

Известно, что введение в состав композиций на основе минеральных вяжущих органических наполнителей (стружка, опилки, древесная мука) позволяет варьировать такие их свойства, как плотность, теплопроводность, показатели изоляции воздушного шума при обеспечении требуемой прочности. Однако в настоящее время единственным российским производителем гипсостружечных плит (ГСП) является Пешеланский гипсовый завод «Декор-1», выпускающий продукцию на гипсе собственного производства и специально подготавливаемом древесном сырье. Данных о промышленном использовании отходов древесины в качестве компонентов таких гипсовых изделий, как пазогребневые плиты или гипсовые блоки, не найдено.

Следует отметить, что в производстве строительных материалов переработка побочных продуктов лесоперерабатывающей промышленности весьма актуальна [3, 4]. Накопление, складирование или утилизация подобных отходов могут негативно сказываться на экологи

гии и качестве жизни населения. Наоборот, рациональное использование измельченных древесных материалов, в том числе и в качестве основных компонентов строительных материалов, приводит к существенному снижению себестоимости последних и затрат на их производство, а следовательно, и на строительные работы в целом [5].

В настоящей работе предпринята попытка подбора рецептур гипсового теста для выпуска гипсовых изделий с использованием в качестве наполнителя древесных отходов (ДО) от распиловки и вырезания замка при производстве напольных ламинатных покрытий. Рассматриваемый в исследованиях наполнитель представляет собой многотоннажный мелкоизмельченный побочный продукт производства ООО «Юнилин» (г. Дзержинск Нижегородской области), улавливаемый системой очистки воздуха рабочей зоны линии распила ламината. Ежемесячно вырабатывается более 500 м³ подобных побочных продуктов, утилизируемых в настоящее время только при сжигании.

Таблица 1
Качественные характеристики древесного отхода

Внешний вид	Сыпучий порошок желтовато-кремового цвета (цвет древесины)
Насыпная плотность	325 кг/м ³
Влажность	4,8 %
pH водной вытяжки	7
Остаток на сите с размерами ячеек в свету 0,2 мм	20,6 %
Наибольшая крупность материала	0,63 мм при содержании менее 0,5 %



Рис. 1. Внешний вид остатка при просеивании ДО на ситах № 063 (а) и № 0315 (б)

Качественные характеристики ДО представлены в табл. 1 и на рис. 1. Требуется отметить, что данный ДО в своем составе имеет смесь основных ингредиентов всех четырех слоев ламината с преобладанием компонентов измельченной древесно-волоконистой плиты высокой плотности – опилок и синтетических смол для их связывания. При производстве плит и затем при выпуске ламината древесный наполнитель проходит тепловую обработку, что влечет за собой термомодифицирование, изменяющее его структуру и свойства [6]. Класс опасности исследуемого отхода (IV) определяется уровнем эмиссии формальдегида в выпускаемом отделочном материале – Е1 (содержание свободного формальдегида не более 10 мг на 100 г плиты, что соответствует его количеству, выделяемому натуральной древесиной). Фракционный состав ДО сопоставим с требованиями к строительному гипсу грубого помола.

В качестве гипсового вяжущего использовался строительный гипс марки Г-6 П Б производства Пешеланского гипсового завода «Декор-1».

Для изучения влияния ДО на свойства гипсового теста и показатели, важные для выпуска и применения гипсовых изделий, готовились сухие смеси при перемешивании гипса и ДО, взятых в определенных соотношениях. Содержание ДО варьировалось в диапазоне 10–20 % к вяжущему. Затворение смесей водой и испытания полученных суспензий и затвердевших образцов производили с использованием методов по ГОСТ 23789–79 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний».

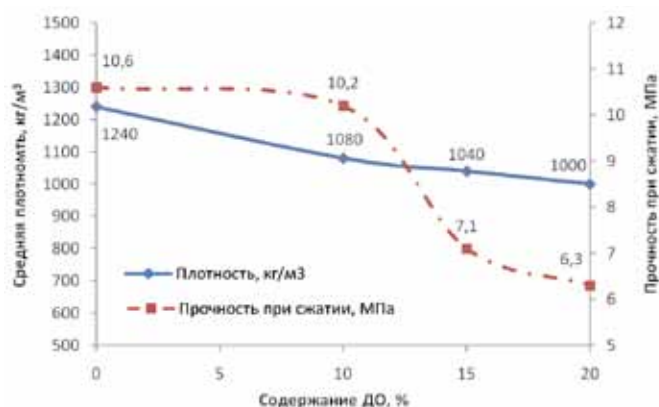


Рис. 2. Свойства образцов, полученных при В/Т=0,575

содержания ДО и характеризуются уменьшенной средней плотностью и соответственно прочностью при сжатии (рис. 2).

С целью придания формуемым смесям подвижности, необходимой для литьевых технологий выпуска гипсовых изделий, в состав вводились гиперпластификаторы ViscoCrete 225P и MELFLUX 2651F. Эффективность их действия доказана при составлении сухих смесей и составов строительных растворов [7–9]. Данные аддитивы представляют собой водорастворимые полимеры различного состава и молекулярной массы, включающие фрагменты карбоновых кислот и их солей, обладающих высокой поверхностной активностью. Подобные соединения выполняют роль диспергаторов, сорбируясь на частицах сульфата кальция, вследствие чего полярные группы, расположенные на их основной цепи, и боковые звенья на ответвлениях полимера отталкивают друг друга, заставляя гипсовые частицы расходиться, придавая тем самым текучесть всей системе. Количество воды затворения при этом может быть уменьшено и тем не менее будет получена текучая суспензия. Уменьшение В/Т приведет к снижению пористости и увеличению прочности продукта, а уменьшенное содержание воды, не участвующей в реакциях твердения, – к сокращению энергетических затрат на сушку изделий.

Пластифицирующие добавки дозировались с учетом рекомендаций производителей из расчета 0,15 и 0,3% к смеси вяжущего и ДО, вводились в воду для предварительного растворения перед затворением. Сводные данные исследований приведены в табл. 2.

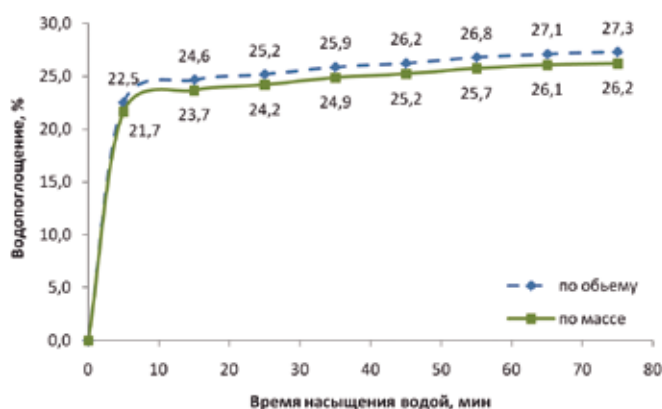


Рис. 3. Водопоглощение образцов плотностью 1040 кг/м³ с содержанием 15% ДО

Составы и основные свойства образцов

Состав	Содержание гиперпластификатора, %	Ускоритель схватывания	В/Т	(Начало схватывания)/(Конец схватывания), ч:мин:с	Прочность при сжатии, МПа
Строительный гипс 100%	нет	нет	0,56	(00:12:00)/(00:14:00)	10,6
Строительный гипс 90%, ДО 10%	0,15 ViscoCrete 225P	нет	0,575	–	9,1
	0,3 ViscoCrete 225P	нет	0,54	(01:32:00)/(01:39:00)	7,6
	0,15 MELFLUX 2651F	нет	0,575	(00:24:30)/(00:27:00)	10
Строительный гипс 85%, ДО 15%	0,3 MELFLUX 2651F	нет	0,6	(01:05:00)/(01:13:00)	–
	0,3 MELFLUX 2651F	1,5% CaSO ₄ ·2H ₂ O	0,6	(00:06:30)/(00:12:00)	–
	MELFLUX 2651F	2% CaSO ₄ ·2H ₂ O	0,6	(00:06:30)/(00:10:30)	6
Строительный гипс 80%, ДО 20%	0,3 MELFLUX 2651F	нет	0,7	–	4,1

Установлено, что смеси с введением ДО в количестве 10% имеют стандартную консистенцию (диаметр расплыва теста 180±5 мм) уже при использовании 0,15% пластификаторов, при В/Т=0,575. Увеличение содержания пластификаторов до 0,3% несущественно уменьшает В/Т (до 0,54), без явного увеличения прочностных показателей, однако заметно замедляет процессы схватывания – начало и конец схватывания гипса проходят более чем через 1 ч после затворения.

Следует отметить, что применение гиперпластификатора ViscoCrete 225P позволяет получить более уплотненные отливки (плотность высушенных образцов составила 1150 кг/м³). В присутствии MELFLUX 2651F наблюдалось воздухововлечение при перемешивании суспензии, что отразилось на снижении плотности высушенных образцов до 1080 кг/м³. Исследовательские образцы обладают высокой прочностью при сжатии (до 10 МПа), сопоставимой с результатами, полученными при использовании ViscoCrete 225P, и превышающей значения гипсовых изделий подобной плотности. Сохранение высоких прочностных показателей изделий при уменьшении средней плотности – это положительный эффект, обусловленный присутствием волокнутого древесного наполнителя, проявляющего армирующие свойства в гипсовом сердечнике.

При увеличении содержания ДО в композиции до 15% получено тесто стандартной консистенции при использовании 0,3% MELFLUX 2651F, В/Т=0,6. Затвердевшие образцы характеризуются средней плотностью 1040 кг/м³, что позволяет удовлетворять требованиям к плитам гипсовым для перегородок высшей категории качества по ГОСТ 6428–83 «Плиты гипсовые для перегородок. Технические условия». Показатели прочности при сжатии гарантированно обеспечены (R_{сж}=6 МПа при требовании не ниже 5 МПа), а прочность при изгибе превышает установленные нормы более чем в 1,5 раза (R_{изг}=3,8 МПа при требовании не ниже 2,4 МПа).

При дальнейшем увеличении содержания ДО до 20% подвижную суспензию удастся изготовить только при введении 0,3% гиперпластификатора MELFLUX 2651F при значении В/Т=0,7. При таких условиях получают изделия низкой плотности (~1000 кг/м³), характеризующиеся пониженной прочностью (до 4,2 МПа). Повышенное введение воды потребует и, как уже от-

мечено выше, больших энергетических затрат на ее удаление при сушке.

Таким образом, оптимизировано предельное содержание ДО (15%) в рецептурах теста для изготовления гипсовых изделий.

Однако существенным недостатком, связанным с использованием поликарбоксилатов в гипсовых составах, является замедление реакции схватывания вяжущего, что подтверждено и в настоящих исследованиях (табл. 2). Существенное ускорение твердения было достигнуто только при введении в гипс измельченного гипсового камня в количестве 1,5–2% к содержанию сухой смеси. При этом подвижность формируемой суспензии не изменялась, а сроки схватывания снижены, даже по сравнению с исходными показателями строительного гипса.

Характер используемого гипсового вяжущего и присутствие в изделиях древесных составляющих вызывают необходимость контроля свойств, связанных с действием воды. Оценено водопоглощение образцов (рис. 3), выполненных с использованием ДО в количестве 15% и подобранными условиями для формирования (0,3% MELFLUX 2651F; 2% гипсового камня; В/Т=0,6).

Выявлено, что проникновение воды в структуру каменного материала происходит интенсивно в первые минуты погружения образца в воду и обусловлено прежде всего его пористой структурой. Насыщение водой достигается в течение 1 ч, что сходно с методиками оценки водопоглощения, изложенными в технических условиях некоторых заводов-изготовителей. Установленное водопоглощение характерно для гипсовых материалов, выполненных без дополнительной гидрофобной обработки. Например, допустимые значения водопоглощения близких по составу гипсостружечных плит (заявленный состав: 15% опилок, 83% гипса, 2% сорбционной воды), выпускаемых Пешеланским гипсовым заводом «Декор-1» по ТУ 5742-004-05292444-2010, должны составлять не более 30%, а для стандартных пазогребневых плит на основе гипса производства Волма допускается водопоглощение изделий до 30–35% (ТУ 5742-003-05287561–2003).

При оценке прочности образцов в насыщенном водой состоянии рассчитан коэффициент размягчения Kp=0,3.

При испытании образца с содержанием ДО 15% и 85% строительного гипса плотностью 1040 кг/м³ в виде пластины 100×100×10 мм на приборе ИТП-МГ4 100 определен коэффициент теплопроводности ($\lambda=0,315$ Вт/(м·К)), сопоставимый со значениями, допускаемыми для гипсовых элементов пола, производимых компанией КНАУФ ($\lambda=0,22-0,36$ Вт/(м·К)).

Для определения экономической целесообразности применения ДО в рецептурах гипсовых материалов ориентировочно определена сырьевая себестоимость изделий с заменой 15 мас. % строительного гипса на ДО. Исходная себестоимость гипсовых изделий была вычислена исходя из цены производителя гипсового вяжущего на май 2015 г. Считали, что изделия выполнялись при В/Т=0,6. Потребность в гипсовом вяжущем на 1 м³ изделий плотностью 1240 кг/м³ будет 1045 кг, а стоимость сырья составит 5750 р. В случае применения ДО на 1 м³ изделия плотностью 1040 кг/м³, не уступающему гипсовому материалу по прочностным показателям, потребуется гипсового вяжущего в количестве 762 кг, расходы на его закупку снизятся и составят 4200 руб. При этом перерабатывается 135 кг ДО. Допустим, что стоимость на их приобретение будет складываться только из затрат на транспортирование и составит ~100 р. В качестве регулятора сроков схватывания рационально использование измельченных отходов производимых гипсовых изделий, поэтому этой составляющей в расчете пренебрегалось. Дополнительные затраты на приобретение гиперпластификатора MELFLUX 2651F (~2,7 кг на расчетное количество материала) составят ~1450 р (по курсу 1 евро=60 р). В целом затраты на сырье в случае переработки отходов составят 5750 р, т. е. совпадают с затратами без переработки ДО.

В связи с доказанной возможностью использования ДО, исследование таких свойств образцов оптимальных составов, как горючесть и биостойкость, а также характеристик для расчета индекса изоляции шума конструкций с их использованием могут, быть продолжены.

Таким образом, древесные отходы, получаемые от распиловки и вырезания замка при производстве напольных ламинатных покрытий, могут быть использованы в качестве органического заполнителя в гипсовых изделиях без дополнительной обработки. Введение древесных отходов в гипсовое тесто требует использования гиперпластификаторов и регуляторов сроков схватывания для обеспечения технологичности его формования. Содержание древесных отходов в композициях до 15% обеспечивает получение изделий пониженной плотности при сохранении высоких прочностных показателей. Экономическая целесообразность использования древесных отходов при выпуске гипсовых изделий также вполне очевидна.

Список литературы

- Юмашева Е.И. Российская гипсовая отрасль вышла на европейский уровень технологии и качества // *Строительные материалы*. 2014. № 11. С. 36–38.
- Бурьянов А.Ф. Эффективные гипсовые материалы для устройства межкомнатных перегородок // *Строительные материалы*. 2008. № 8. С. 30–34.
- Яцун И.В., Ветошкин Ю.И., Шишкина С.Б. Применение отходов деревоперерабатывающих производств в изготовлении конструкционных материалов со специфическими свойствами // *Лесотехнический журнал*. 2014. № 3. С. 220–229.
- Коротаев Э.И., Симонов В.И. Производство строительных материалов из древесных отходов. М.: Лесная промышленность. 1972. 144 с.
- Ильичев В.А., Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н. О развитии производства строительных материалов на основе вторичных продуктов промышленности // *Строительные материалы*. 2011. № 4. С. 36–42.
- Хасаншин Р.Р., Сафин Р.Р., Кайнов П.А. Исследование эксплуатационных свойств цементно-стружечных плит на основе термически модифицированного древесного сырья // *Известия КГАСУ*. 2014. № 4. С. 298–302.
- Пустовгар А.П., Бурьянов А.Ф., Василик П.Г. Особенности применения гиперпластификаторов в сухих строительных смесях // *Строительные материалы*. 2010. № 12. С. 62–65.
- Патент РФ 2416581. Модификаторы для гипсовых суспензий и способ их применения / Леттекман Дэннис М., Шейк Майкл П., Лю Цинся, Уилсон Джон В., Рэндалл Брайан, Блэкбэрн Дэвид Р. Заявл. 13.06.2006. Опубл. 20.04.2011. Бюл. № 11.
- Патент РФ 2448921. Комплексная модифицирующая добавка для бетонных растворов / Долгорев В.А. Заявл. 05.07.2010. Опубл. 27.04.2012. Бюл. № 12.

References

- Yumasheva E.I. Russian Gypsum Industry Entered the European Level of Technology and Quality. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 11, pp. 36–38. (In Russian).
- Bur'yanov A.F. Effective gypsum materials for the device interior partitions. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 8, pp. 30–34. (In Russian).
- Yatsun I.V., Vetoshkin Yu.I., Shishkina S.B. The use of waste wood processing industries in the production of construction materials with specific properties. *Lesotekhnicheskii zhurnal*. 2014. No. 3, pp. 220–229.
- Korotaev E.I., Simonov V.I. Proizvodstvo stroitel'nykh materialov iz drevesnykh otkhodov [Production of building materials from wood waste]. Moscow: Lesnaya promyshlennost'. 1972. 144 p.
- Il'ichev V.A., Karpenko N.I., Yarmakovskiy V.N. About Development of Building Materials Production on the Basis of Secondary Industrial Products (SIPs). *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 4, pp. 36–42. (In Russian).
- Khasanshin R.R., Safin R.R., Kainov P.A. Research of operational properties of cement-bonded boards based on thermally modified wood raw material. *Izvestiya KGASU*. 2014. No. 4, pp. 298–302. (In Russian).
- Pustovgar A.P., Bur'yanov A.F., Vasilik P.G. Features of the Use of Hyperplasticizers in Dry Building Mixes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 12, pp. 62–65. (In Russian).
- Patent RF 2416581. *Modifikatory dlya gipsovykh suspenzii i sposob ikh primeneniya* [Modifiers for the gypsum slurry and the method of their application]. Lettekman Dennis M., Sheik Maikl P., Lyu Tsinsya, Uilson Dzhon V., Rendall Braian, Blekbern David R. Declared 13.06.2006. Published 20.04.2011. Bulletin No. 11. (In Russian).
- Patent RF 2448921. *Kompleksnaya modifitsiruyushchaya dobavka dlya betonnykh rastvorov* [Integrated builder for concrete solutions]. Dolgorev V.A. Declared 05.07.2010. Published 27.04.2012. Bulletin No. 12. (In Russian).