

УДК 666.945

д.т.н. Дрозд Г. Я.

(ИСА и ЖКХ ЛНУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР, drozd.g@mail.ru)

ШЛАКОЩЕЛОЧНАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ ИНДУСТРИЯ — ВОЗМОЖНАЯ ПЕРСПЕКТИВА ДЛЯ ЛУГАНЩИНЫ

В статье поднимается вопрос развития на Луганщине промышленности строительных материалов, основанной на использовании в качестве сырья местных отходов промышленности: доменных шлаков металлургических предприятий и щелочных отходов химических производств. Приведена характеристика получаемой продукции — шлакощелочных вяжущих и бетонов на их основе, а также технологические схемы для их производства. Показано, что строительная отрасль, основанная на утилизации промышленных отходов, является самодостаточной, позволяет насытить рынок востребованной строительной продукцией, создать новые рабочие места и одновременно улучшить экологическую ситуацию в регионе за счет вовлечения в хозяйственный оборот крупномасштабных промышленных отходов.

Ключевые слова: промышленные отходы, доменный шлак, шлакощелочные вяжущие и бетоны, строительные материалы, утилизация.

Проблемы промышленных отходов

Объем образования промышленных отходов (ПО) в Украине, которые рассматриваются как вторичное сырье и учитываются по отдельной форме статистической отчетности № 14-мтп (всего 60 видов ПО), в период 2007–2011 гг. составлял в среднем 354,7 млн т/год. Площадь, которую занимают ПО в промышленно развитых регионах Украины составляет 160–165 тыс. га. Структура накопления ПО, которые рассматриваются как вторичное сырье, приведена на рисунке 1 [1].

Приведенные данные свидетельствуют о том, что отходы металлургического производства Украины являются крупнотоннажными техногенными месторождениями, которые содержат значительные запасы стратегически ценного сырья для строительства. Средний показатель использования отходов как вторичного сырья составляет в Украине 53,4 % от их образования. Применимо к отходам металлургии этот показатель не превышает 20 %, в то время как в развитых странах он достигает 55–80 % [1].



Рисунок 1 Усреднённая структура накопления ПО за 2005–2011 гг.

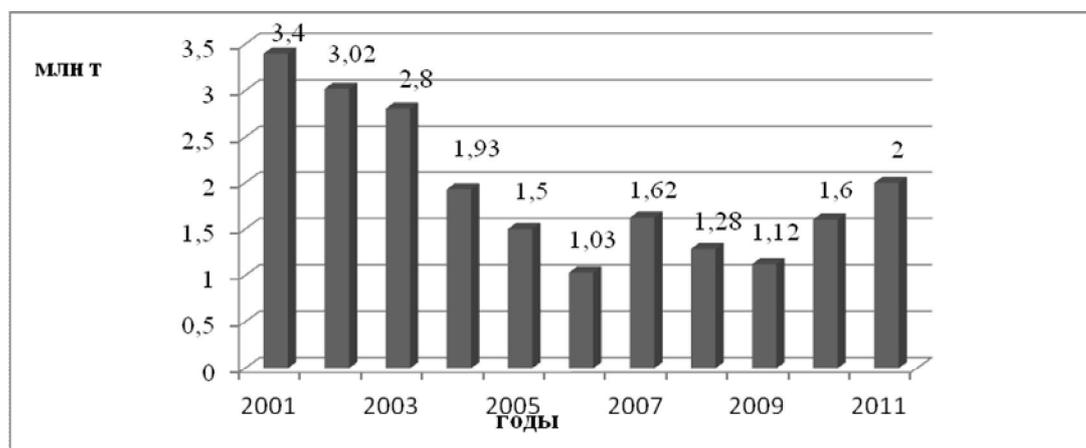


Рисунок 2 Динамика использования отходов металлургии Украины за 2001–2011 гг., млн т

Динамику использования отходов металлургии Украины характеризует диаграмма, приведенная на рисунке 2. Бывшие Донецкая и Луганская области в довоенное время были «обладателями» около 8 млрд т промышленных отходов. На данный момент на территории ЛНР сосредоточено более 1,5 млрд т ранее накопленных промышленных отходов.

Крупнейшим производителем ПО на Луганщине является ПАО «Алчевский металлургический комбинат».

Химический состав образующихся на комбинате отходов в сравнении со строительными цементами приведен в таблице 1.

Процент утилизации отходов на АМК значительно ниже, чем в среднем по Украине. Уникальный химический состав отходов (шлаков) не используется при их

вовлечении в хозяйственный оборот, поэтому их утилизация сводится только к применению при отсыпке дорог либо при производстве шлаковых блоков и плит в строительной сфере.

Мировой опыт свидетельствует: из отраслей-потребителей промышленных отходов наиболее емкой является промышленность строительных материалов. Известно, что использование промышленных отходов позволяет покрыть до 40 % потребности строительства в сырьевых ресурсах. Применение промышленных отходов позволяет на 10...30 % снизить затраты на изготовление строительных материалов по сравнению с производством их из природного сырья, экономия капитальных вложений достигает 35...50 % [2].

Таблица 1

Химический состав отходов АМК

Материал	Химический состав, %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	GaO	MgO	S	FeO	Fe ₂ O ₃
Доменный шлак	38	6,7	48,3	3,7	1,55	0,4	
Мартеновский шлак	23,4	4,1	38,5	10,2	0,47	14,3	3,2
Конверторный шлак	14,5	2,1	24,1	2	0,25	31,6	14,4
Портландцемент	22,5	6,5	62	1	Н.свед.		
Глиноземистый цемент	7,5	45	40	0,5	Н.свед.		
Известь гашеная	1,3	0,3	70,7	1,1	0,02		

Производство портландцемента, который является основным гидравлическим вяжущим в строительстве, в ЛНР отсутствует, поэтому альтернативой ему со всеми присущими экономическими выгодами, приведенными выше, являются бесклинкерные гидравлические вяжущие типа шлакощелочных. Соответствующее эколого-химическое и технологическое обоснование утилизации доменных шлаков в производстве вяжущих строительных материалов приведено в работах [3–7].

Шлакощелочные вяжущие на основе отходов – это гидравлические вяжущие вещества, получаемые измельчением гранулированных шлаков совместно со щелочными компонентами или затворением молотых шлаков растворами соединений щелочных металлов (натрия или калия), дающих щелочную реакцию.

Шлакощелочные вяжущие предложены и исследованы под руководством В. Д. Глуховского в Киевском национальном университете строительства и архитектуры.

Для получения шлакощелочных вяжущих применяют гранулированные шлаки — доменные, электротермофосфорные, цветной металлургии. Необходимое условие активности шлаков — это наличие стекловидной фазы, способной взаимодействовать со щелочами. Тонкость помола должна соответствовать удельной поверхности не менее $3000 \text{ см}^2/\text{г}$.

В качестве щелочного компонента применяют каустическую и кальцинированную соду, поташ, растворимый силикат натрия и др. Обычно используют также попутные продукты промышленности: плав щелочей (содовое производство); содощелочной плав (производство капролактама); содопоташную смесь (производство глинозема); цементную пыль и т. п. Использование щелочесодержащих отходов позволяет получать значительные объемы шлакощелочных вяжущих. Оптимальное содержание щелочных соединений в вя-

жущем в пересчете на Na_2O составляет 2–5 % массы шлака.

Для шлаков с модулем основности (МО) больше единицы могут применяться все щелочные соединения или их смеси, дающие в воде щелочную реакцию, для шлаков с $\text{МО} < 1$ — только едкие щелочи и щелочные силикаты с модулем 0,5–2, несиликатные соли слабых кислот и их смеси могут быть использованы только в условиях тепловлажностной обработки [4].

Высокая активность соединений щелочных металлов, по сравнению с соединениями кальция, дает возможность получить быстротвердеющие высокопрочные вяжущие. Наличие щелочей интенсифицирует разрушение и гидролитическое растворение шлакового стекла, образование щелочных гидроалюмосиликатов и создание среды, способствующей образованию и высокой устойчивости низкоосновных кальциевых гидросиликатов. Малая растворимость новообразований, стабильность структуры во времени являются решающими условиями долговечности шлакощелочного камня.

Начало схватывания этих вяжущих не ранее 30 мин, а конец — не позже 12 ч от начала затворения.

По пределу прочности при сжатии через 28 суток шлакощелочные вяжущие подразделяют на марки от М300 до М1200. Для ускорения набора прочности и уменьшения деформативности в вяжущее вводят добавку цементного клинкера (2–6 %, масс). Предел прочности при сжатии быстротвердеющего шлакощелочного вяжущего в возрасте 3 суток для марок М400 и М500 составляет не менее 50 % марочной прочности, а для марок М600–М1200 — не менее 30 МПа.

Шлакощелочные вяжущие восприимчивы к действию тепловлажностной обработки. При температуре пропаривания 80–90°C цикл обработки может быть сокращен до 6–7 ч, активная часть режима составляет 3–4 ч. Можно значительно снизить и максимальную температуру пропара-

ривания, а также использовать ступенчатые и пиковые режимы обработки.

Контракция шлакощелочных вяжущих в 4–5 раз меньше, чем у портландцемента, вследствие чего они имеют более низкую пористость, что обеспечивает их высокую водонепроницаемость, морозостойкость, относительно низкие показатели усадки и ползучести. Несмотря на интенсивный рост прочности в ранние сроки твердения, тепловыделение у них невысоко (в 1,5–2,5 раза меньше, чем у портландцемента).

Шлакощелочные вяжущие обладают высокой коррозионной стойкостью и биостойкостью. Щелочные компоненты выполняют роль противоморозных добавок, поэтому вяжущие интенсивно твердеют при отрицательных температурах [5].

Исследованиями В. Д. Глуховского, П. В. Кривенко, Е. К. Пушкаревой, Р. Ф. Руновой и других разработан ряд специальных шлакощелочных вяжущих: высокопрочных, быстротвердеющих, безусадочных, коррозионностойких, жаростойких, тампонажных.

Экономическая эффективность их высока. Удельные капиталовложения на производство этих вяжущих в 2–3 раза меньше, чем при производстве портландцемента, так как от-

сутствуют фондо-, капитало- и материалоемкие технологические операции: не нужны разработка месторождений, подготовка сырья, дробление, обжиг и др. Например, сравнивая затраты на производство шлакощелочных вяжущих марок М600–М1200 и портландцемента марки М600, увидим, что их себестоимость ниже в 1,7–2,9 раза, удельный расход условного топлива — в 3–5, электроэнергии — в 2, приведенные затраты в 2–2,5 раза меньше, чем при производстве портландцемента [3, 6].

Процесс изготовления вяжущего включает операцию сушки шлака до остаточной влажности 0–1 % и совместный помол компонентов (рис. 3). Для изготовления шлакощелочного вяжущего шлак и активная минеральная добавка со склада 1 поступают в сушильный барабан 2. Добавка после сушки измельчается на вальцах 3. Подсушенные силикатные компоненты загружают в расходные бункера 4 и 5. Щелочь является гигроскопичным материалом, поэтому ее вводят в бетонную смесь с водой затворения. Если в качестве активатора используется кальцинированная сода или содосодержащие отходы производства, то целесообразно их измельчить совместно со шлаком.

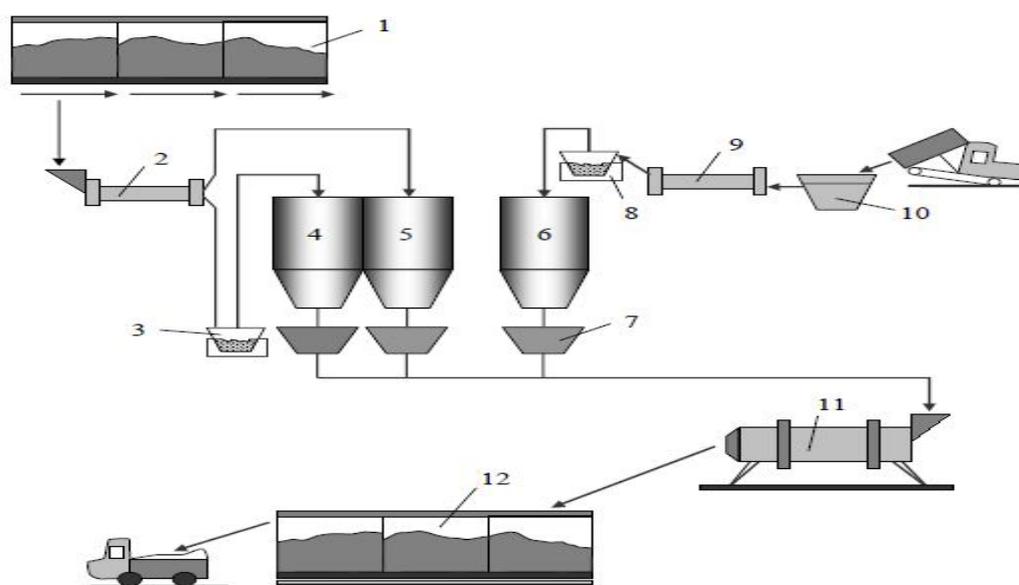


Рисунок 3 Технологическая схема получения шлакощелочного вяжущего

В этом случае активатор со склада 10 поступает в сушильный барабан 9 и измельчается на вальцах 8, после чего загружается в бункер 6. Из расходных бункеров отдозированные компоненты через дозаторы 7 загружают в мельницу 11, где их измельчают до удельной поверхности $3000...3500 \text{ см}^2/\text{г}$. Изготовленное вяжущее поступает на склад 12. При использовании гигроскопичного щелочного компонента, растворимого стекла они вводятся с водой затворения непосредственно в бетономешалку при приготовлении бетонной смеси. Плотность раствора в зависимости от вида щелочного компонента находится в пределах $1,15...1,3 \text{ г/см}^3$. В данном случае помолу подвергается только шлак или шлак с алюмосиликатными добавками.

Технология изготовления конструкций из шлакощелочных бетонов состоит из таких операций, как приготовление бетонной смеси, подготовка формы (чистка, смазка, армирование), формование изделия и тепловлажностная обработка. При использовании готового шлакощелочного цемента возможны два варианта приготовления бетонной смеси:

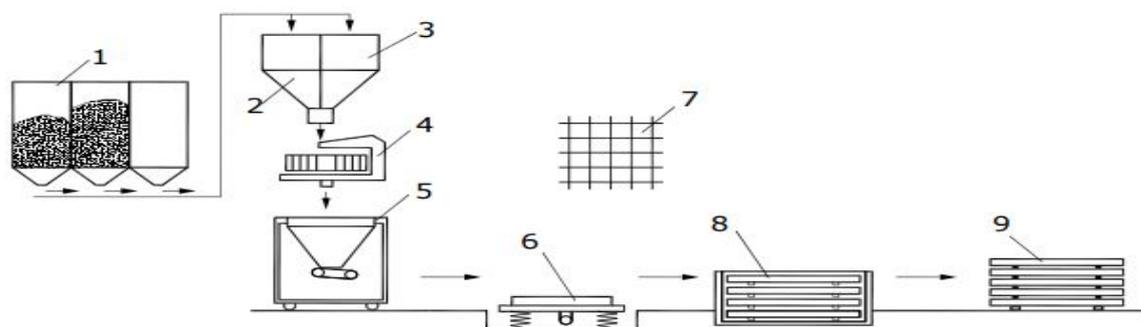
1) одноступенчатый, при котором все компоненты смеси загружают и перемешивают в смесителе;

2) двухступенчатый, при котором для улучшения условий растворения щелочно-

го компонента шлакощелочной цемент предварительно затворяют в специальном смесителе горячей водой, перемешивают в течение 5 мин, затем подают в бетономешалку принудительного действия, где он перемешивается с заполнителем. При помолу шлака без щелочного компонента приготовление бетонной смеси также осуществляется двухступенчатым способом: щелочной компонент в специальном смесителе затворяют водой и перемешивают до полного растворения, затем раствор подают в бетономешалку и перемешивают с заполнителями.

Процессы подготовки опалубки и оснащение ее арматурой не отличаются от аналогичных операций при производстве армированных изделий на других вяжущих (рис. 4). Бетонную смесь приготавливают в смесительных агрегатах 4, куда со склада 1 через расходные бункера 2 и 3 подают сырьевые компоненты. Увлажненную и перемешанную смесь выгружают в бетоноукладчик 5, с помощью которого транспортируют к месту укладки.

При использовании дисперсных заполнителей для приготовления шлакощелочных бетонов перемешивание необходимо производить в бетоносмесителях, обеспечивающих высокую гомогенизацию бетонной смеси.



1 – склад заполнителя и шлакощелочного вяжущего; 2, 3 – расходные бункера; 4 – бетоносмеситель; 5 – бетоноукладчик; 6 – виброустановка; 7 – арматурный цех; 8 – термообработка; 9 – склад изделий и конструкций

Рисунок 4 Технологическая схема производства изделий и конструкций из шлакощелочных бетонов

В этих случаях целесообразно применять двухстадийное перемешивание и последовательное введение компонентов в смесь. На первой стадии готовится вяжущее тесто: в воду затворения с растворенным в ней активатором твердения вводится последовательно вяжущее, а затем дисперсный наполнитель. Для повышения производительности на этом этапе вяжущее и наполнитель могут вводиться совместно в виде заранее приготовленной смеси. Однако целесообразность такой процедуры перемешивания должна быть предварительно проверена с точки зрения возможного снижения прочностных характеристик бетона. На второй стадии полученное вяжущее тесто перемешивается с мелким и крупным заполнителем.

Бетонные смеси с высоким содержанием дисперсного наполнителя или минеральной добавки характеризуются низкой пластичностью. Такие смеси могут формироваться при интенсивном вибрационном уплотнении, а также виброуплотнении с пригрузом, а особо жесткие смеси – при вибропрессовании или прессовании.

В целом технология шлакощелочных бетонов сходна с традиционными технологиями цементного бетона. Это позволяет без значительных затрат на техническое перевооружение перевести производство железобетонных конструкций и бетонных изделий на основе портландцемента на аналогичные изделия из шлакощелочного бетона или бетона на основе других видов вяжущих щелочной активации, а именно:

минерально-щелочных, геошлаковых, геосинтетических, геопалимерных и др.

Расчеты Л. И. Дворкина затрат на производство шлакощелочных вяжущих марок 600...1200 и портландцемента марки 600 показывают, что у шлакощелочных вяжущих по сравнению с портландцементом ниже: себестоимость — в 1,7...1,9 раза, удельный расход топлива – в 3...5 раз, электроэнергии – в 2 раза, приведенные затраты — до 2...2,5 раза.

При производстве бетонов на основе шлакощелочных вяжущих используют и заполнители различных видов из шлакового сырья: шлаковый щебень отвалных металлургических шлаков или литой шлаковый щебень, пористые шлаки, шлаковый наполнитель, легкие шлаковые заполнители, гранулированный шлак, шлаковую пемзу.

Выводы

1. Для Луганщины с ее высокой техногенной нагрузкой представляется уникальная возможность создания строительной индустрии, основанной на использовании в качестве сырья шлаков металлургических предприятий и щелочных отходов химических производств.

2. Осуществление этого проекта позволит улучшить экологическую ситуацию в регионе за счет вовлечения в хозяйственный оборот отходов промышленности, создать новые конкурентоспособные предприятия и новые рабочие места, насытить рынок востребованной продукцией и существенно укрепить экономику.

Библиографический список

1. Ковалев, А. А. Повышение экологической безопасности золоотвалов предприятий промышленной энергетики путем извлечения и утилизации из отходов соединений ванадия [Текст]: дис. соиск. ст. канд. техн. наук / А. А. Ковалев. — Донецк, 2013. — 20 с.
2. Дворкин, Л. И. Строительные материалы из отходов промышленности [Текст] : учеб. пособие. / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. — Ростов н/Д : Феникс, 2007. — 369 с.
3. Хоботова, Э. Б. Эколого-химическое обоснование утилизации отвалных доменных шлаков в производстве вяжущих материалов [Текст] / Э. Б. Хоботова, Ю. С. Калмыкова // Экологическая химия, 2012. — Вып. 21(1). — С. 27–37.

4. Артамонова, А. В. Шлакощелочные вяжущие на основе доменных гранулированных шлаков центробежно-ударного измельчения [Текст] / А. В. Артамонова, К. М. Воронин // Цемент и его применение, 2011. — С.108–113.

5. Черепанов, К. А. Утилизация вторичных материальных ресурсов в металлургии [Текст] / К. А. Черепанов, Г. И. Черныш, В. М. Динельт, Ю. И. Сухарев. — М. : Металлургия, 1994. — 224 с.

6. Микульский, В. Г. Строительные материалы. Материаловедение и технология [Текст] / В. Г. Микульский, Г. И. Горчаков, В. В. Козлов и др. — М., 2002. — 536 с.

© Дрозд Г. Я.

Рекомендована к печати директором Института строительства, архитектуры и ЖКХ ЛНУ им. В. Даля, д.т.н., проф. Андрійчуком Н. Д., и.о. заведуючого каф. СК ДонГТУ к.т.н., доц. Псюком В. В.

Статья поступила в редакцию 29.05.17.

д.т.н. Дрозд Г. Я. (ІБА і ЖКГ ЛНУ ім. В. Даля, м. Луганськ, ЛНР, drozd.g@mail.ru)

ШЛАКОЛУГОВА БУДІВЕЛЬНА ІНДУСТРІЯ — МОЖЛИВА ПЕРСПЕКТИВА ДЛЯ ЛУГАНЩИНИ

У статті піднімається питання розвитку на Луганщині промисловості будівельних матеріалів, заснованій на використанні в якості сировини місцевих відходів промисловості: доменних шлаків металургійних підприємств і лужних відходів хімічних виробництв. Наведена характеристика отримуваної продукції – шлаколугових в'язучих і бетонів на їх основі, а також технологічні схеми для їх виробництва. Показано, що будівельна галузь, заснована на утилізації промислових відходів, є самодостатньою, дозволяє наситити ринок затребуваною будівельною продукцією, створити нові робочі місця і одночасно поліпшити екологічну ситуацію в регіоні за рахунок залучення до господарського обороту великомасштабних промислових відходів.

Ключові слова: промислові відходи, доменний шлак, шлаколугові в'язучі і бетони, будівельні матеріали, утилізація.

Doctor of Tech. Sci. Drozd G. Ya (V. Dahl ICEA and BCU LSU, Lugansk, LPR, drozd.g@mail.ru)

THE SLAG-ALKALI CONSTRUCTION INDUSTRY AS POSSIBLE CHANCE FOR LUGANSHCHINA

The paper brings up a point of developing the building materials industry in Luganshchina based on using industrial wastes as a raw material produced by the local industry e.g. blast furnace slag from iron-and-steel production and alkaline wastes from chemical production. There has been given the characteristics of products produced – the slag-alkali binders and concrete on its base as well the flow diagrams for their producing. It is shown that civil engineering based on industrial waste reuse is sustainable and allows to flood the market with high-demand building materials, create new workplaces and simultaneously improve ecological situation in the region involving large industrial waste stocks into economic circulation.

Key words: industrial waste, blast-furnace slag, slag-alkali binders, concrete, building materials, reuse.