

УДК 666.973 : 691.33

АРМИРОВАННЫЕ ШЛАКОЛИТЫЕ ФУНДАМЕНТНЫЕ БЛОКИ

Большаков В.И., д.т.н, профессор,
Елисеева М.А., к.т.н., доцент,
Щербак О.С., к.т.н.,
Щербак С.А., д.т.н, профессор,
ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»
scherbak28@mail.ru

Неведомский В.А., к.т.н.

Аннотация. На основании современных методов анализа показано, что в процессе выплавки силикомарганца обеспечивается сохранение марганца в низшей степени окисления, что способствует его полному внедрению в структуру пироксена, в результате чего улучшаются физико-механические свойства шлаколитых фундаментных блоков из шлаков силикомарганца. Неравномерное распределение температур и колебание химического состава шлака приводят к возникновению напряжений, которые могут превышать предел прочности литья на растяжение и приводить к образованию трещин. Для уменьшения напряжений и ликвидации усадочных явлений в отливках создают жесткий каркас из стальной арматуры. Армированные шлаколитые изделия можно применять вместо сборных железобетонных. Они превосходят последние по прочности.

Ключевые слова: шлаколитые фундаментные блоки, арматура, огненножидкий шлак силикомарганца, температурные напряжения, минеральные структуры шлаколитых изделий, режимы охлаждения шлаколитых изделий, физико-механические свойства шлаколитых блоков.

АРМОВАНІ ШЛАКОЛИТІ ФУНДАМЕНТНІ БЛОКИ

Большаков В.И., д.т.н, професор,
Єлісєєва М.О., к.т.н., доцент,
Щербак О.С., к.т.н.,
Щербак С.А., д.т.н, професор,
ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»
scherbak28@mail.ru

Неведомський В.О., к.т.н.

Анотація. На підставі сучасних методів аналізу показано, що в процесі виплавки силикомарганцю забезпечується збереження марганцю в нижчому ступені окислення, що сприяє його повному проникненню в структуру піроксену, в результаті чого поліпшуються фізико-механічні властивості шлаколитих фундаментних блоків зі шлаків силикомарганцю. Нерівномірний розподіл температур і коливання хімічного складу шлаку призводять до виникнення напруг які можуть перевищувати межу міцності лиття на розтягування і призводити до утворення тріщин. Для зменшення напруг і ліквідації усадочних явищ у виливках створюють жорсткий каркас із сталеві арматури. Армвані шлаколиті вироби можна застосовувати замість збірних залізобетонних. Вони перевершують останні за міцністю.

Ключові слова: шлаколиті фундаментні блоки, арматура, вогнерідкий шлак силикомарганцю, температурні напруги, мінеральні структури шлаколитих виробів, режими охолодження шлаколитих виробів, фізико-механічні властивості шлаколитих блоків.

REINFORCED SLAG CAST FOUNDATION BLOCKS

Bolshakov V.I., Doctor of Engineering, Professor,

Yelisieieva M.O., PhD, Assistant Professor,

Shcherbak O.S., PhD,

Shcherbak S.A., Doctor of Engineering, Professor,

SHEI «Prydniprovskya State Academy of Civil Engineering and Architecture»

scherbak28@mail.ru

Nevedomskiy V.O., PhD.

Abstract. On the basis of modern methods of analysis it is shown that phase composition of silicomanganese flaming slag materials depending on technological factors is presented by manganese sulfide, pyroxene minerals as well as plagioclase minerals and glassy phase; manganese of lower oxidation degree is kept during the process of silicomanganese smelting and due to this process there is possibility to introduce it completely into pyroxene structure and as a result there is improvement of physical, chemical and mechanical properties of slag cast foundation blocks of silicomanganese slag.

Non-uniform distribution of temperatures and fluctuation of chemical composition of slag cause stresses which can exceed ultimate strength of casting on tension and cause cracks. A rigid framework is formed in order to decrease stresses and avoid setting phenomena in foundings. Foundation blocks are reinforced with steel reinforcing in order to reduce internal stresses. Reinforced slag cast products can be used instead of prefabricated reinforced ones. According to durability they are more efficient than prefabricated reinforced products.

Keywords: slag cast foundation blocks, reinforcing, silicomanganese flaming slag, temperature stresses, pyroxenes, mineral structures of slag cast products, refrigeration mode of slag cast products, physical and mechanical properties of slag cast blocks.

Введение. Проблемы утилизации отходов имеют ряд серьезных технических, экологических и экономических аспектов, которые требуют принятия неотложных мер по их решению. Одним из перспективных и эффективных путей решения этих задач является использование промышленных отходов для создания новых строительных материалов.

Шлаки силикомарганца представляют собой вторичные продукты металлургической промышленности и являются ценным сырьем для изготовления строительных материалов, изделий и конструкций. Наиболее рациональным подходом является использование шлаков силикомарганца, полученных в плавильных агрегатах после выпуска металлов, в огненножидком состоянии. В этом случае не требуются дополнительные затраты на получение расплава, а, следовательно, значительно уменьшается энергетическая составляющая в цене конечной продукции. Производство шлаколитых фундаментных блоков из шлаков силикомарганца гораздо эффективнее, чем производство традиционных бетонных фундаментных блоков. Преимущество этой технологии заключается в возможности организации производства, минуя ряд технологических переделов.

Цели и задачи. Определение величины и распределения термоупругих напряжений в изделии для разработки жесткого арматурного каркаса шлаколитых фундаментных блоков из шлаков силикомарганца.

Для достижения этой цели решались следующие задачи:

- исследовать фазово-минералогический состав и основные физико-механические свойства шлаколитых фундаментных блоков из шлаков силикомарганца;
- определить температурные режимы формирования шлаколитых фундаментных блоков.

Результаты исследований. Величина и распределение термоупругих напряжений связаны с режимом охлаждения шлаколитых изделий. Поэтому для получения изделий без

остаточных напряжений необходимо проводить их охлаждение по режимам, устанавливаемым, в зависимости от их толщины. Так, при производстве толстостенных изделий – фундаментных блоков и т.п. охлаждение должно осуществляться медленно, включая процесс отжига при температурах кристаллизации шлаковых расплавов.

Вследствие быстрого охлаждения разность температур в изделии по сечению может достигать до 300 °С, что вызывает возникновение напряжений и может приводить к разрушению изделий.

Для уменьшения градиента температур предлагается установление арматурного каркаса, который позволит выровнять значение температуры по сечению. Кроме того, по сечению образуются различные минеральные структуры, которые вызывают возникновение дополнительных напряжений и соответственно приводят к дефектам структуры.

Визуальный осмотр текстуры по сечению фундаментного блока в центральной его части обнаруживает образование усадочных раковин и наличие общей пористости, снижающих эксплуатационные свойства изделия. Это обусловлено низкой теплопроводностью силикатных расплавов и, как следствие, их затвердевание и кристаллизация начинается с поверхностных слоев изделия. Образование усадочных раковин особенно проявляется при изготовлении крупногабаритных изделий размером 4000×2000×200 мм и весом более 6 т. Самопроизвольное медленное охлаждение изделия в течение 16 ч компенсирует изотермические выдержки при выделении основных кристаллических фаз. Поверхностный слой изделий толщиной около 10 мм является мелкокристаллическим, ситалловидным, а внутренний, вследствие низкой теплопроводности расплава – крупнокристаллическим при идентичном разовом составе внутренних и поверхностных слоев: пироксены $(Ca, Mn^{2+}) \cdot (Mg, Fe^{3+}Mn^{2+}) \cdot Si_2O_6$, плагиоклазы $CaAl_2Si_2O_8 - NaAlSi_3O_8$, сульфид марганца MnS . Содержание стекловидной фазы в массе изделия составляет порядка 5...7%. Интенсивность основных рефлексов на дифрактограмме свидетельствует о высокой степени закристаллизованности материала. Более высокая степень закристаллизованности нижнего слоя изделия обусловлена, седиментацией сульфида марганца в нижний слой и его каталитическим действием. В качестве основных кристаллических фаз кроме сульфидов марганца на последующих стадиях охлаждения расплава выделяются минералы группы моноклинных пироксенов типа диопсида $Mg(Si_2O)$ ($d/n - I, \text{Å}$: 3, 23-4; 2,99-10; 2,89-4; 2,52-9), как соединений более простого цепочечного мотива строения кремнейкислородных анионов [1]. Для диопсида характерен широкий изоморфизм с $Mg \rightarrow Mn^{2+}$ и $Ca \rightarrow Mn^{2+}$ – замещениями [2], а также внедрением с образованием йогансенита $Ca(Mn^{2+}, Fe^{2+}, Mg)Si_2O_6$ ($d/n - I$: 3,02-10; 3,01-10; 2,60-6; 2,55-8) и марганцевистого диопсида – шеферита – $(Ca, Mn^{2+}) \cdot (Mg, Fe^{2+}, Mn^{2+})Si_2O_6$ ($d/n - I$: 2,98-10; 2,91-8; 2,57-7). В отдельных случаях наблюдается выделение триклинного пироксена – бустамита $Ca_3Mn_3(Si_3O_9)_2$ ($d/n-I$: 3,2-7; 2,98-6,0; 2,87-10) [3]. При дальнейшем охлаждении дополнительно кристаллизуются плагиоклаз – твердый раствор Na-K и Ca-алюмосилликатов, как соединений с более совершенным каркасным структурным мотивом и менее равновесной кристаллической фазой, выделяющейся из расплава (рис 1).

Изменение температуры по толщине в фундаментных блоках измеряли двумя специальными термощупами, установленными в центре фундаментного блока, состоящими из трех термопар $P_t - P_h$ в специальной термообмазке, изготовленной из каолинового волокна и жаростойкого бетона.

Спаи термопар были предварительно выведены на поверхность щупа на разных уровнях. Температуры измеряли на глубине 20, 120 и 190 мм от низа фундаментных блоков при их толщине 200 мм. Запись температур велась на диаграммной ленте многоточечного электронного потенциометра КСП-4. Огненножидкий шлак с температурой 1350 °С заливали через литник в подогретые до температуры 600 °С формы размером 2000×200×200 мм (рис. 2).

Сопоставление кривых 1, 2, 3 с кривыми 4, 5, 6 (рис. 2) показали, что при регулируемом тепलोде температурный перепад по толщине фундаментных блоков составляет после первого часа затвердевания 330 °С, а в контрольных фундаментных блоках по традиционной технологии

– 150 °С. Дальнейший температурный ход затвердевания и кристаллизации идет примерно с одинаковой скоростью около 60 °С/час. В конце режима охлаждения, через 12 часов, температура охлаждаемого фундаментного блока составила 450 °С, а контрольной – 700 °С.

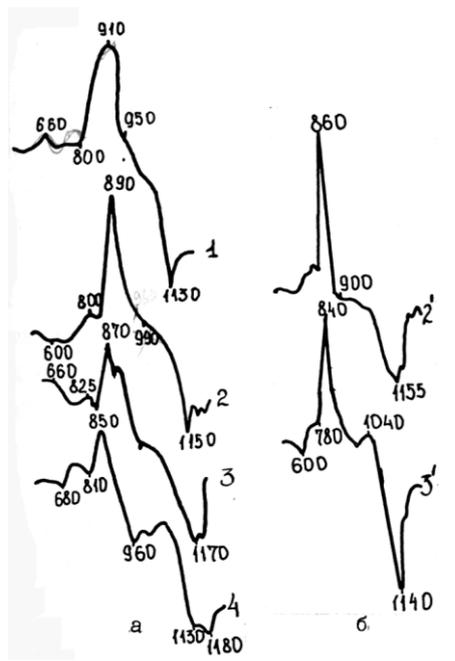


Рис. 1. Кривые дифференциально-термического анализа шлаков силикомарганца, отобранных при различных температурах:
 1 – 1480 °С; 2, 2' – 1420 °С; 3, 3' – 1350 °С; 4 – 1300 °С (гранулированный);
 а – в процессе нагрева; б – в процессе охлаждения

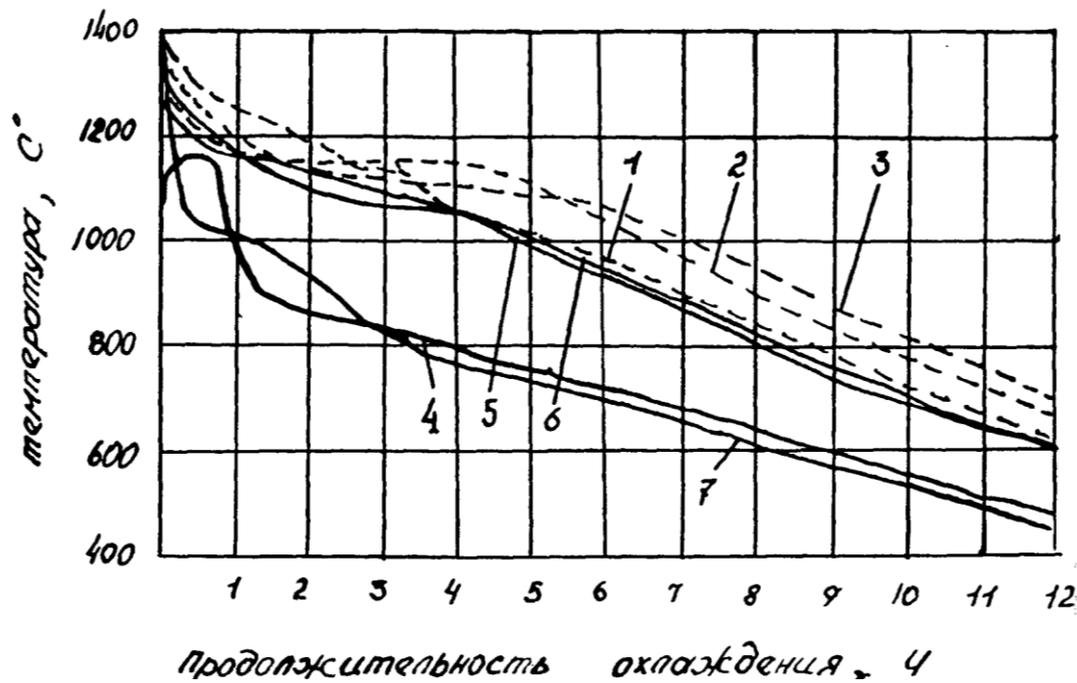


Рис.2. Распределение температур по толщине фундаментного блока:
 1, 4 – температура на расстоянии 20 мм от низа фундаментного блока; 2, 5 – то же, 120 мм;
 3, 6 – то же, 190 мм; 7 – температура в печи;
 (-----) – традиционная технология; (—) – разработанная технология

Изотермические площадки в интервале 1200...1050 °С свидетельствуют о массовой кристаллизации расплава. Для изделия с регулируемым теплоотводом изотермические

площадки наблюдались в нижней части фундаментного блока в течение первого часа охлаждения, а в середине – в течение двух часов. У контрольного фундаментного блока процесс изотермии по всей толщине изделия продолжался до 6 часов.

Такое распределение температур по толщине обеспечивал образованный от нижней поверхности отвод тепла и постепенную направленную снизу вверх кристаллизацию расплава в фундаментном блоке, что способствовало образованию плотной структуры в результате последовательного смещения фронта кристаллизации к его центру. В контрольном фундаментном блоке процесс кристаллизации начинался с поверхности по всему контуру изделия с направлением фронта кристаллизации к ее центральной части, что обуславливало образование замкнутой пористости и усадочных раковин.

Визуальный осмотр текстуры по сечению фундаментного блока после кристаллизации и отжига в печи показал, что при использовании традиционной технологии, в центре блока наблюдались 3...5 усадочных раковин со средним диаметром до 10,0 мм, окруженных мелкой пористостью (поры размером от 1 до 5 мм). В фундаментном блоке, извлеченном из формы с регулируемым теплоотводом, усадочных раковин и пористости не обнаружено. Только в поверхностном слое отливки наблюдался пористый слой толщиной 10...15 мм, который практически может быть полностью исключен получением огненнополированной поверхности, путем повышения температуры до 1200 °С. Пористость оценивали под микроскопом по площади, занимаемой порами, в петрографических шлифах и аншлифах, а также по методике Кручинина, Семенова. Текстура фундаментного блока отличалась тремя основными зонами: поверхностной мелкокристаллической коркой, промежуточной зоной и внутренней зоной наиболее крупных кристаллов и дендритов. Нижняя корка образуется вследствие резкого перепада температур в тонком слое расплава шлака при соприкосновении со стенками формы и последующей кристаллизацией. Образование среднекристаллической зоны связано с интенсивным охлаждением расплава и ростом дендритов в направлении, обратному тепловому потоку от расплава к форме.

Это позволило повысить плотность изделий путем создания условий направленного теплоотвода за счет литейной формы из «холодного» дна и теплых боковин.

В процессе изготовления шлаколитых фундаментных блоков металлическая арматура подвергается длительному воздействию высокой температуры. Существенное влияние на арматуру оказывают электрохимические реакции, происходящие на границе металл – шлаковый расплав. Для количественной и качественной оценки влияния указанных факторов на физико-механические характеристики арматурной стали были проведены экспериментальные исследования арматуры разных классов и диаметров. Испытаниям подвергались стержни длиной 850 мм из арматуры класса АІ диаметром 12; 18 мм, класса АІІ диаметром 16; 32 мм, класса АІІІ диаметром 3; 12; 16; 32 мм.

Стержни к испытаниям были подготовлены по принятой на заводе технологии изготовления шлаколитых изделий [4]: на специальных поддонах их подавали в печь, нагревали до температуры 500°С и заливали огненножидким шлаком с температурой 1380 °С. После кристаллизации и отжига в течение 14 часов до 50 °С стержни извлекали из печи, освобождали от слоя литья и окалины, замеряли по стандартной методике фактический диаметр и определяли потери металла за счет окалины. Арматурные стержни после отжига уменьшались в диаметре на 1...2 мм. Механические испытания проводили на разрывной машине ГРМ-50. Временное сопротивление арматурной стали испытанных классов снижается на 12...20 %, модуль упругости – на 15...20 %, что идентично диаграмме растяжения термически упрочненной стали. Относительное удлинение арматурной стали, прошедшей технологию шлакового литья, уменьшилось на 15...20 %.

Микроструктуру арматурной стали исследовали на металлографическом микроскопе отраженного света «Neophot» - 21». Для определения величины зерна микрошлифы стержней подвергали травлению 4 % кислотой HNO₃ [4].

Рост зерна у стали, прошедшей отжиг в силикатном расплаве, обусловил снижение ее прочности. Размеры зерен образцов соответствовали ГОСТу 5639-65 для стали класса АІІІ.

Таким образом, для армирования шлаколитых фундаментных блоков из шлаков силикомарганца можно применять арматуру из стали классов АІ, АІІ, АІІІ. За счет уменьшения диаметра арматуры в результате физико-химических реакций модуль упругости и прочность при растяжении арматурной стали этих классов в шлаколитых изделиях снижается на 12...20 %. В расчетах необходимо применять коэффициенты условий работы, рекомендуемые для термически упрочненной стали [4].

Для снижения влияния перегрева на оплавление граничных слоев металла, проникновение к ним кислорода и образование оксидных оболочек, необходимо ослабить процессы электрохимической коррозии стали, применением защитных покрытий.

Исследовались армошлаколитые фундаментные блоки трех типоразмеров:

– I-й типоразмер – 1500×500×100 мм, армирование – 3×10 АІІІ (продольная арматура);

– II-й типоразмер – 1000×500×1000 мм, армирование продольной арматурой: а) 15×10 АІІІ; б) 5×8 АІІІ;

– III-й типоразмер – 500×500×100 мм, армирование 5×12 АІІІ.

Было испытано по три образца каждого типоразмера.

При испытании происходило хрупкое разрушение изделий, которое следовало непосредственно после появления первых трещин от действия изгибающего момента. Результаты испытаний показали высокую несущую способность фундаментных блоков на действие кратковременной нагрузки по изгибающему моменту, что обеспечивает совместную работу арматуры с шлаковым материалом блока. Уменьшение диаметра арматурной стали на 2...3 мм при взаимодействии со шлаковым расплавом свидетельствует о расходовании на это энергии расплава, в том числе на снижение температуры в районе нахождения арматуры. Это позволяет за счет применения арматурной стали влиять на разность температур в рассматриваемых зонах для неармированных и армированных шлаколитых фундаментных блоков. Уменьшение разности температур между поверхностью и центром шлаколитого фундаментного блока по сечению приводит к уменьшению напряжений и ликвидации усадочных явлений в изделиях за счет применения армирования.

Выводы.

1. Применение армирования шлаколитых фундаментных блоков по сечению, за счет уменьшения разности температур между поверхностью и центром, приводит к уменьшению напряжений и усадочных явлений в изделиях.

2. Фазовые превращения при охлаждении и кристаллизации огненножидкого шлака силикомарганца в большей степени соответствуют равновесной кристаллизации по диаграмме состояния системы CaO-MgO-SiO₂, чем системы CaO-MnO-SiO₂, хотя содержание MnO в составе шлака значительно превышает содержание MgO;

Литература

1. Бергер Г.С. Методы выделения мономинеральной фракции / Г.С. Бергер, И.А. Ефимов. – Алма-Ата: Книжное издательство, 1961. – 186 с.
2. Чичагов А.В. Рентгенометрические параметры твердых растворов / А.В. Чичагов, Л.В. Синавина. – М.: Наука, 1982. – 166 с.
3. Торопов Н.А. Кристаллография и минералогия / Н.А. Торопов, Л.Н. Булах. – Л.: Стройиздат, 1972. – 496 с.
4. Большаков В.И. Шлаколитые фундаментные блоки / В.И. Большаков, В.С. Куцин, В.А. Неведомский, А.Ю. Зильберман, С.А. Щербак // Строительство, материаловедение машиностроение. Серия: Стародубовские чтения. – Днепропетровск: ПГАСА, 2009. – Вып. 10. – С. 295 – 299.

Стаття надійшла 4.11.2016