

К. т. н. В. А. Кукарцев<sup>1</sup> (✉), к. т. н. В. В. Кукарцев<sup>1</sup>, к. э. н. А. В. Кукарцев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева», г. Красноярск, Россия

УДК 666.762.2:669.186.3.043.1

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ КВАРЦИТА НА СТОЙКОСТЬ ФУТЕРОВКИ ИНДУКЦИОННЫХ ТИГЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Предложен новый режим температурной обработки первоуральского кварцита ПКМИ-1В, используемого для футеровки индукционной тигельной печи промышленной частоты. Новый режим позволяет проводить в печи выплавку синтетического чугуна при температуре выше 1450 °С, сохраняя при этом высокую стойкость футеровки.

**Ключевые слова:** индукционная тигельная печь промышленной частоты (печь ИЧТ), синтетический чугун, стойкость футеровки, кварцит, кристобалит, параметры кристаллической решетки.

Индукционная тигельная печь промышленной частоты (ИЧТ) относится к основным производственным фондам литейного предприятия и непосредственно влияет на уровень производственных затрат и производительность труда. Поэтому увеличение надежности работы плавильного агрегата является одной из основных задач, обеспечивающих необходимую степень воспроизводства основных производственных фондов с целью соблюдения следующих параметров агрегата: применение в металлозавалке легковесных шихтовых материалов [1], универсальности при выплавке сплавов, производительности, высокой стойкости футеровки, энергоэффективности и затрат на обслуживание [2].

Печь ИЧТ рассчитана на выплавку сплавов при температуре не выше 1450 °С и использовании при этом кислой футеровки. При правильной эксплуатации печи кислая футеровка выдерживает до 300–350 плавов. Длительность процесса перифутеровки печи ИЧТ-1 (от начала ее остановки до первого полноценного слива готового расплава) составляет от 2,5 до 3 сут. По этой причине снижение стойкости футеровки приводит к увеличению простоев, трудовых затрат, затрат на материалы и электроэнергию.

Для обеспечения максимальной стойкости футеровки печи ИЧТ вначале применяли технологию плавки, при которой неременным условием было сохранение в печи после слива готового расплава

жидкого остатка (болота) не менее 1/3 вместимости тигля. Кроме того, допустимое количество используемого стального лома составляло не более 30 % всей вместимости тигля. Ограничение содержания стального лома обосновано его температурой плавления — так, температура плавления углеродистого стального лома составляет в зависимости от химического состава 1400–1600 °С.

Однако ситуация на рынке вторичного сырья на сегодняшний день такова: чугунный лом практически отсутствует, а стоимость чушковых чугунов резко возросла, как и транспортные расходы при их доставке. По этой причине выплавку синтетического чугуна в печи ИЧТ можно производить только при использовании повышенного количества стального лома, науглероживателя и ферросплавов, но для этого необходимо поднимать температуру плавления выше допустимой для этой печи. Практика показала, что установленная мощность печи позволяет вести плавку при температуре выше 1450 °С. Это объясняется тем, что при разработке конструкции печи ИЧТ была учтена необходимость ее работы при разных режимах плавки: при частичном заполнении тигля расплавом, в процессе науглероживания, при сушке и спекании тигля. Для этого печи ИЧТ комплектуются специальным трансформатором, который имеет постоянную мощность на первых 4–5 ступенях напряжения за счет запаса мощности (15–20 %), поэтому при номинальной мощности ток его будет больше, чем при номинальном напряжении [3].

Однако возникает проблема, связанная со стойкостью кислой футеровки. Практика показала, что если производить выплавку сплава при 1550 °С, то стойкость футеровки снижается до 180 плавов [4]. Замена кислой футеровки на футеровку из других видов огнеупорных материалов



В. А. Кукарцев  
E-mail: sarbernar777@mail.ru

приводит к ее удорожанию в 4–6 раз. Кроме того, готовые футеровочные массы предназначены для применения в печах средней частоты, в которых индуктор замоналичен, а в печи ИЧТ он свободен и деформируется при циклических режимах плавки, что негативно влияет на стойкость футеровки. По этой причине сохранение высокой стойкости кислот футеровки при выплавке синтетических чугунов в печах ИЧТ при температуре выше 1450 °С является актуальной задачей [5]. На стойкость футеровки влияют дефекты, причиной появления которых являются множество факторов при ее изготовлении [6], проведении режима спекания и воздействии шлаков [7, 8] (табл. 1). Кроме того, на стойкость футеровки влияет качество используемого кварцита и изготовления футеровочной массы:

1. Кварцит должен отвечать требованиям ТУ и применяться определенной фракции, зависящей от вместимости печи.

2. Влажность кварцита не должна превышать 0,3 %.

3. Не допускается сегрегация футеровочной массы при набивке тигля с образованием ослабленных зон с крупнозернистыми частицами кварца, склонных к образованию трещин. Сегрегация является причиной образования в футеровке горизонтальных трещин значительной толщины и глубины. Это возможно даже при использовании кварцита, соответствующего требованиям ТУ, так как сегрегация зерен может произойти при транспортировке.

4. Необходимо обеспечивать тщательное перемешивание кварцита с боросодержащей добавкой при изготовлении футеровочной массы. Многие литейные производства используют добавку  $H_3BO_3$ , так как ее необходимое количество в 2 раза больше, чем  $B_2O_3$ , и поэтому ее легче равномерно распределить в объеме футеровочной массы. Неравномерное перемешивание приводит к разрыхлению и отслаиванию футеровки в начальный период эксплуатации.

Еще в 1912 г. С. N. Fenner [9] установил фазовые превращения в кварците при воздействии на него температуры. В дальнейшем исследования фазовых превращений в кварците с использованием современных методов не выявили существенных изменений их закономерностей [10, 11]. Однако в 2013 г. В. И. Веттегрень [12] обнаружил, что при нагреве кристалла синтетического кварца выше 400 К в его поверхностном слое формируются растягивающие напряжения, достигающие 300 МПа. Появление напряжений объяснено увеличением объема слоя, лежащего под ним, из-за образования  $\beta$ -кварца. Поэтому исследование фазовых превращений в кварците, применяемом для футеровки печей ИЧТ, — актуальная задача.

Цель настоящей работы — исследование процессов, приводящих к изменению параметров кристаллической решетки кварцита марки ПКМИ-1В при его термообработке для обеспечения необходимой влажности. Кварцит ПКМИ производит Первоуральский динасовый завод для футеровки индукционных тигельных печей ВАЗа, КаМАЗа,

Таблица 1. Дефекты футеровки, снижающие ее стойкость

№ п/п	Дефект футеровки	Причины образования дефектов	Мероприятия по недопущению дефектов
1	Повреждения в зоне подины, непосредственно после пуска и в начале кампании печи, а в зоне выше индуктора — сразу после пуска	Остаточная влажность, наблюдаемая заметным паровыделением при работе печи	Применять исходные материалы влажностью не более 0,3 %, соблюдать режим спекания
2	Посторонние включения, наблюдаемые в выбитой футеровке, показавшей низкую стойкость	Повышенное содержание металлических включений и посторонних примесей при изготовлении футеровки	Применять качественные исходные материалы, выполнять требования к качеству изготовления шаблона и технологии набивки тигля
3	Повреждения в зоне подины индуктора сразу после запуска и в начале кампании, а в зоне выше индуктора — в течение срока эксплуатации	Неравномерное уплотнение футеровочной массы при набивке тигля	Соблюдать технологию изготовления футеровки
4	Повреждения футеровки в любой зоне с самого начала кампании	Нарушение режима спекания	Вести журнал плавки с фиксированием режима спекания
5	Аварийная остановка работы печи, приводящая к перефутеровке	Возникновение короткого замыкания на внешней поверхности индуктора. Разрушение индуктора в соединениях системы охлаждения. Проникновение жидкого металла выше верхнего витка индуктора	Соблюдать технологию изготовления изоляции витков индуктора, проводить своевременную проверку его на герметичность. Не допускать заполнения тигля выше верхнего уровня расплава в печи [7]
6	Неравномерная толщина футеровки, приводящая к работе при повышенной мощности	Применение эллипсных металлических шаблонов	Использовать шаблоны, изготовленные по требованиям чертежа
7	Ускоренное образование сильно остеклованной поверхности рабочего слоя футеровки	Использование после ремонта индукторов с деформированными витками, что приводит к необходимости увеличения толщины изоляционного слоя	После ремонта индуктор должен соответствовать требованиям чертежа

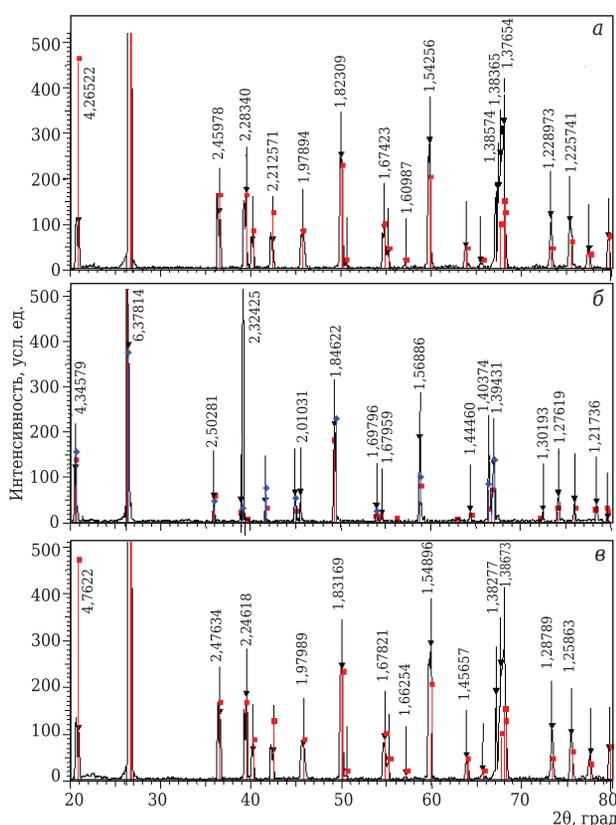
ГАЗа, ЗИЛа и литейных центролитов. Вначале добытое сырье подвергается дроблению для получения фракций мельче 5 мм и отгружается навалом в полувагонах. По этой причине в проектах литейных производств предусматривались оборудование для сушки кварцита (печи типа СДО), помольные бегуны (типа 1А18) и рассев кварцита на фракции с помощью сит. Известно, что тридимит является самой устойчивой фазой, обеспечивающей стабильный объем при 840–1470 °С. По этой причине для обработки кварцита для получения влажности не более 0,3 % был выбран следующий температурный режим: нагрев до 800–900 °С и последующая выдержка в течение 8–10 ч с использованием тары из нержавеющей стали.

Первоуральский динасовый завод может поставлять кварцит влажностью менее 0,3 %, а по согласованию с заказчиком — не более 3,0 %. Обе

спечение влажности 0,3 % достигается сушкой с последующим отжигом, как и для динасовых изделий, при температурах выше 1000 °С [13]. Поставка сухого кварцита осуществляется в металлических контейнерах, что для многих литейных предприятий является большим неудобством, так как металлические контейнеры являются возвратной тарой, а ее сложно вернуть в установленные сроки по железной дороге из-за невозможности обеспечить необходимую загрузку вагона. Влажный кварцит поставляется в мешках биг-бэг вместимостью 800–900 кг, которые возвращать не требуется. По этой причине применение влажного кварцита более удобно и цена его в 2 раза ниже. Единственный недостаток — необходимость его сушки.

Изменения параметров кристаллической решетки кварцита ПКМИ-1В по ТУ 1511-022-00190495–2003 исследовали методом рентгенофазового анализа (РФА) с использованием рентгеновского дифрактометра D8 ADVANCE (Bruker) с фокусировкой по Брэггу – Брентано. Для проведения температурных экспериментов применяли высокотемпературную камеру НТК 16 и рентгеновскую трубку с медным анодом. Регистрацию дифракционного спектра проводили на высокоскоростном позиционно-чувствительном детекторе VANTEC-1, съемка при  $2\theta = 10\div 90$  град с шагом 0,007 град [13]. Вначале проводили съемку навески кварцита при 25 °С, затем ее нагревали до 800 °С и осуществляли съемку после выдержки в течение 2 ч. После этого навеску охлаждали до комнатной температуры с последующей съемкой. Дифрактограммы кварцита показаны на рис. 1, результаты исследований приведены в табл. 2.

Было обнаружено неизвестное ранее изменение состояния кристаллической решетки кварцита, заключающееся в сдвиге угла межплоскостных расстояний. Различия в размерах кристаллической решетки кварцита при 25 и 30 °С незначительны и вписываются в погрешность измерения. Для подтверждения этого вывода было принято решение о проведении синхронного термического анализа на приборе STA 449C Jupiter (Netzsch). Скорость нагрева приняли равной 10 К/мин, скорость сбора точек 100 точек/мин. Для измерений использовали два тигля, в один из которых был помещен исследуемый образец, а другой тигель использовали как эталон. Экспериментальные исследования проводили в



**Рис. 1.** Дифрактограммы исходного кварцита при 25 °С (а), после нагрева до 800 °С с 2-ч выдержкой (б) и после охлаждения до 30 °С (в): ▼ — кварцит с размерами ячейки 5,0×5,0×5,4 Å; ■ — кварцит с размерами ячейки 4,994×4,994×5,438 Å

**Таблица 2. Изменение параметров кристаллической решетки кварцита**

Температура съемки, °С	Межплоскостное расстояние $d_{ср}$ , Å	Сдвиг угла межплоскостных расстояний $2\theta$ , %	Плотность элементарной ячейки $D_e$ , г/см <sup>3</sup>	Объем элементарной ячейки $V$ , Å <sup>3</sup>	Размеры ячейки, Å
25	1,89674	–	2,643	113,28	$a = b = 4,913$ , $c = 5,405$
800	1,9856	10,9	2,216	118,86	$a = b = 4,994$ , $c = 5,438$
30	1,88221	6,6	2,643	113,28	$a = b = 4,913$ , $c = 5,405$

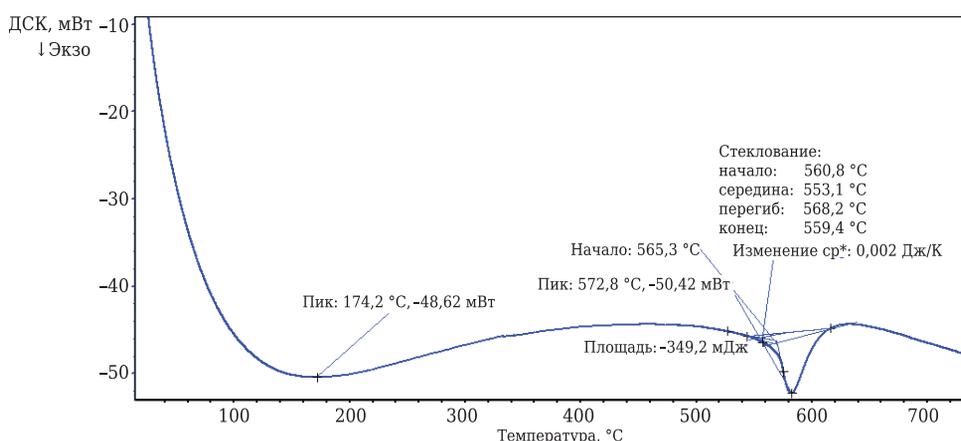


Рис. 2. Дериватограмма кварцита, нагретого при 800 °С с выдержкой 2 ч

корундовых тиглях [15]. После нагрева до 800 °С и выдержки 2 ч получили дериватограмму, показанную на рис. 2.

При 570 °С произошло достаточно интенсивное фазовое превращение с выделением тепла. Оно характеризуется (см. рис. 2) площадью пика или площадью термического эффекта образования новой фазы (энтальпией), численно равной -349,2 мДж. Процесс фазового превращения сопровождается возникновением более разреженного агрегатного состояния (увеличением объема и снижением плотности за счет расширения кристаллической решетки). Затем было решено провести такие же исследования при термообработке по режиму, который подобрали опытным путем, ориентируясь на изменение цвета кварцита (темно-красный цвет при 800–900 °С превращается в серый, естественный ниже 300 °С): нагрев до 200 °С и выдержке 4 ч. Полученные результаты приведены в табл. 3 и показаны на рис. 3.

Установлено, что при нагреве до 200 °С и выдержке 4 ч никаких изменений в кристаллической решетке кварцита не наблюдается. По этой причине возникла необходимость в проведении следующего этапа исследования, заключающегося в воздействии на кварцит после удаления влаги температурных режимов, соответствующих технологическим операциям плавки (рис. 4). Эти режимы сохраняются до полного технологического износа футеровки, т. е. до момента ее выбивки. Для проведения исследований применяли РФА, результаты приведены в табл. 4.

Примененный способ решения задачи по изменению термообработки кварцита являет-

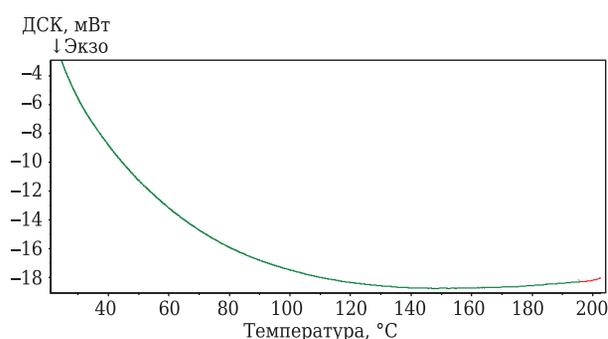


Рис. 3. Дериватограмма кварцита, нагретого при 200 °С и выдержке 4 ч

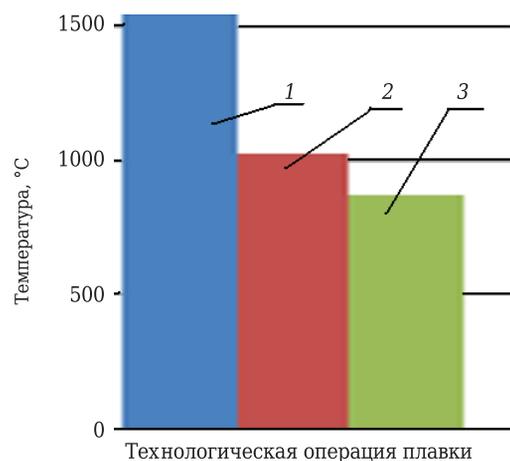


Рис. 4. Технологические операции плавки синтетического чугуна: 1 — режим плавления, 1550–1570 °С; 2 — температура в печи после слива первой порции металла, 1025 °С; 3 — температура после окончательного слива и загрузки свежей металлозавалки, 870 °С

Таблица 3. Изменение параметров кристаллической решетки кварцита по данным РФА

Температура съемки, °С	$d_{ср}$ , Å	Сдвиг угла межплоскостных расстояний $2\theta$ , %	$D_n$ , г/см <sup>3</sup>	$V$ , Å <sup>3</sup>	Размеры ячейки, Å
25	1,8541	–	2,640	112,98	$a = b = 4,913$ , $c = 5,405$
200	1,9253	2,9	2,548	117,46	$a = b = 4,921$ , $c = 5,400$
30	1,85243	–	2,640	112,98	$a = b = 4,913$ , $c = 5,405$

Таблица 4. Изменения параметров кристаллической решетки кварцита ПКМИ-1В при температурных режимах, соответствующих режиму плавки

Предварительная термообработка	Режим	Полиморфная модификация	$D_x$ , г/см <sup>3</sup>	$V$ , Å <sup>3</sup>	Размеры ячейки, Å
800 °С, наличие сдвига межплоскостных расстояний	1550 °С после спекания	Кварцит гексагональный Тридимит моноклинный	2,595 2,25	116,79 2125,08	$a = b = 4,965$ , $c = 5,424$ $z = 18,504$ , $b = 5,0054$ , $c = 23,845$
	1550–1570 °С — второй режим плавки	Кварцит гексагональный Тридимит моноклинный	2,595 2,25	116,79 2125,08	$a = b = 4,965$ , $c = 5,424$ $z = 18,504$ , $b = 5,0054$ , $c = 23,845$
200 °С	1550 °С после спекания	Кварцит гексагональный Кристаллит кубический	2,595 2,211	116,79 360,94	$a = b = 4,965$ , $c = 5,424$ $a = b = c = 7,120$
	1550–1570 °С — второй режим плавки	Кварцит гексагональный Кристаллит кубический	2,595 2,211	116,79 360,94	$a = b = 4,965$ , $c = 5,424$ $a = b = c = 7,120$

ся одним из широко используемых методов для разрешения различного рода проблем, имеющих комплексный характер, и относится к программно-целевому подходу, который ориентирован на достижение определенных результатов [16].

Проведенная исследовательская работа доказывает эффективность применения режима термообработки первоуральского кварцита марки ПКМИ-1В при 200 °С, так как футеровка на его основе обеспечивает выплавку синтетических чугунов при температуре выше 1450 °С, перегрев расплава, необходимый для обеспечения максимального усвоения науглероживателя, и производство износостойкого чугуна при сохранении высокой стойкости (250–300 плавок). Кроме того, она позволяет выплавлять сталь [17] и ферросилиций [18].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В кварците, подвергнутом термообработке при 800 °С, после спекания образуется тридимит

### Библиографический список

1. Шумихин, В. С. Синтетический чугун / В. С. Шумихин, П. П. Лузан, М. В. Жельнис. — Киев : Наукова думка, 1971. — 160 с.
2. Кукарцев, В. В. Комбинированный метод принятия решений по воспроизводству основных производственных фондов / В. В. Кукарцев, О. А. Антамошкин // Проблемы машиностроения и автоматизации. — 2011. — Вып. 2. — С. 56–60.
3. Простяков, А. А. Индукционные печи и миксеры для плавки чугуна / А. А. Простяков. — М. : Энергия, 1977. — 216 с.
4. Сасса, В. С. Футеровка индукционных плавильных печей и миксеров / В. С. Сасса. — М. : Энергоатомиздат, 1983. — 120 с.
5. Riposan, Iulian. Enhanced quality in electric melt grey cast irons / Iulian Riposan, Mihai Chisamera, Stelian

и при дальнейших режимах плавки происходит только увеличение его содержания.

2. В кварците, подвергнутом термообработке при 200 °С, после спекания образуется кристаллит (минуя фазу тридимита) и при дальнейших режимах плавки происходит только увеличение его содержания. Эта фаза выдерживает более высокую температуру (1450–1600 °С), что позволяет использовать в металлозавалке до 80–90 % стального лома.

3. Меняя температуру обработки сырого кварцита для удаления влажности от 800 на 200 °С можно применять низкотемпературные нагревательные печи, снижая тем самым производственные затраты. Особенно это касается расхода электроэнергии и замены нержавеющей стали на углеродистую, применяемую для изготовления тары, в которой производится сушка кварцита. Так, стоимость листа из нержавеющей стали в 3–5 раз больше углеродистой, расход электроэнергии на 1 т садки в печи СДО 15.15.10/12, обеспечивающей нагрев кварцита до 900 °С, в 3 раза выше, чем у печи СДОС 10.12.5.10/2,5ИЗ для нагрева этой же садки до 200 °С.

- Stan // ISIJ Int. — 2017. — Vol. 53, № 10. — P. 1683–1695.
6. Kassie, Achamyeleh A. Minimization of casting defects IOSR / Achamyeleh A. Kassie, Samuel B. Assfaw // J. Eng. (IOSRJEN). — 2013. — Vol. 3, № 5. — P. 31–38.
7. Zuno-Silva, J. Estudio a nivel laboratorio de la Degradación atípica en un refractario tipo SiO<sub>2</sub> utilizado en hornos de inducción Laboratory scale study of uncommon degradation SiO<sub>2</sub> refractories used on induction furnaces / J. Zuno-Silva, A. Bedolla-Jacuinde, J. M. Martínez-Vázquez [et al.] // Revista Electronica Nova Scientia. — 2013. — Vol. 6, № 11. — P. 113–134.
8. Кукарцев, В. А. Причины разрушения кварцитовой футеровки при эксплуатации индукционной тигельной печи и способы их предотвращения / В. А. Кукарцев // Заготовительное производство. — 2013. — № 9. — С. 7–9.

9. **Fenner, C. N.** The various forms of silica and their mutual relations / *C. N. Fenner* // *J. Wasn. Acad. Sci.* — 1912. — Vol. 2. — P. 471–480.
10. **Wahl, F. M.** Phase transformations in silica as examined by continuous X-Ray diffraction / *F. M. Wahl, R. E. Grim, R. B. Graf* // *The American Mineralogist.* — 1961. — Vol. 46, January–February. — Режим доступа: [http://minsocam.org/ammin/AM46/AM46\\_196.pdf](http://minsocam.org/ammin/AM46/AM46_196.pdf).
11. **Thompson, Alan Bruce.** Heat capacities and inversions in tridymite, cristobalite, and tridymite-cristobalite mixed phases / *Alan Bruce Thompson, Mechthild Wennemer* // *American Mineralogist.* — 1979. — Vol. 64. — P. 1013–1026. [Электронный ресурс]. — Режим доступа : [http://minsocam.org/ammin/AM64/AM64\\_1018.pdf](http://minsocam.org/ammin/AM64/AM64_1018.pdf).
12. **Веттегрень, В. И.** Размытый фазовый переход в поверхностном слое кварца при изменении температуры / *В. И. Веттегрень, Р. И. Мамалиев, Г. А. Соболев* // *Физика твердого тела.* — 2013. — Т. 55, № 10. — С. 1987–1992.
13. **Кащеев, И. Д.** Химическая технология огнеупоров / *И. Д. Кащеев, К. К. Стрелов, П. С. Мамыкин.* — М. : Интернет Инжиниринг, 2007. — 752 с.
14. **Кукарцев, В. А.** Исследование рентгеновскими методами влияния температуры на межплоскостные расстояния кристаллической решетки первоуральского кварцита, используемого для футеровки индукционных печей / *В. А. Кукарцев, А. К. Абкарян* // *Новые огнеупоры.* — 2013. — № 10. — С. 44–46.
- Kukartsev, V. A.** Study by X-Ray methods of the effect of temperature on crystal lattice interplanar distances of pervoural'sk quartzite used for induction furnace lining / *V. A. Kukartsev, A. K. Abkaryan* // *Refractories and Industrial Ceramics.* — 2013. — Vol. 54, № 5. — P. 413–415.
15. **Кукарцев В. А.** Термический анализ кварцита, используемого для футеровки индукционной тигельной печи промышленной частоты / *В. А. Кукарцев, А. И. Трунова, А. В. Кукарцев* // *Новые огнеупоры.* — 2014. — № 5. — С. 33–35.
- Kukartsev, V. A.** Thermal analysis of quartzite used to line a crucible-equipped industrial-frequency induction furnace / *V. A. Kukartsev, A. I. Trunova, A. V. Kukartsev* // *Refractories and Industrial Ceramics.* — 2014. — Vol. 55, № 3. — P. 220–222.
16. **Горлевский, К. И.** Принципы управления инновационными бизнес-процессами предприятия ракетно-космической промышленности / *К. И. Горлевский, А. В. Кукарцев* // *Экономика и менеджмент систем управления.* — 2014. — № 1 (11). — С. 44–52.
17. **Кукарцев, В. А.** Выплавка стали в индукционных тигельных печах промышленной частоты (ИЧТ) / *В. А. Кукарцев* // *Литейщик России.* — 2012. — № 12. — С. 35, 36.
18. **Chaabet, Mohamed.** Steelmaking based on inductive melting heat processing / *Mohamed Chaabet, Erwin Dötsch* // *Heat Processing.* — 2012. — Vol. 10, № 1. — P. 49–58. ■

Получено 12.12.17

© В. А. Кукарцев, В. В. Кукарцев, А. В. Кукарцев, 2018 г.

*Предлагаю брошюры*

«**Квазиизостатическое прессование керамических изделий**» — краткое содержание докторской диссертации (объем 68 с.), 1990 г., и «**Некоторые виды брака в технологии прессования керамических изделий**» (объем 71 с.), 1989 г.

Квазиизостатическое прессование как метод в технологии изостатического прессования является единственным способом трехосевого объемного прессования, не требующим дорогостоящих изостатов. Прессование осуществляется на прессах статического прессования в пресс-формах, аналогичных пресс-формам статического прессования, прессуемым материалом в которых является твердый эластичный уретан. Метод разработан в СССР впервые в мире. К 1990 г. был освоен на 19 предприятиях страны, а также в 8 странах, но в связи с перестройкой технология была утрачена.

В брошюре приведена теория квазиизостатического прессования, описаны схемы разработанных способов прессования, схемы устройства пресс-форм, их общий вид. Представлены кинетика эластичных прессующих элементов пресс-форм, формулы для расчета пресс-буферов для каждого типа изделий.

Ассортимент предлагаемых изделий: 13 наименований колец, мелющие шары, капсулы и обечайки, тигли, диски и шайбы, трубки и стержни, ребристые изоляторы. Способом квазиизостатического прессования опробована прессуемость графита, металлических порошков, стеклопорошков, ситаллов. Все материалы показали хорошую прессуемость, опрессованный полуфабрикат характеризовался высокими плотностью и механической прочностью.

Квазиизостатическое прессование обеспечивает высокое качество изделий, его производительность значительно выше, чем статического, также в несколько раз выше эксплуатационная стойкость пресс-форм.

Для возрождения утраченной технологии предлагаю указанные брошюры.

Разработчик технологии квазиизостатического прессования, кандидат химических наук

Тимохова Мария Ивановна

Контактный телефон: 8 495 613 56 20  
Электронная почта: 06051961@yandex.ru