

УДК 621.74.02:
621.742

A.A. Sokorev

Аннотация

Summary

Исследование морфологии формовочного песка, применяемого на установках прототипирования S-15

Examining the morphology of molding sand used on S-15 prototyping units

А.А. Соколев

Рассмотрены результаты исследования гранулометрического и морфологического состава формовочного песка, поставляемого как расходный материал для установки прототипирования S-15; рассмотрены возможные способы его производства. На основании теоретических предположений сделан вывод о возможных способах получения частиц порошков сферической формы для их производства в промышленных масштабах с целью их импортозамещения.

Ключевые слова

Формовочный песок, SiO_2 , гранулометрический состав, измельчение, шаровая, барабанная, планетарная мельницы, прецизионное оборудование, керамика.

Discussed are the results of examining the grain size distribution and morphological composition of molding sand supplied as a consumable for the S-15 prototyping unit; possible methods of its production are considered. Based on theoretical assumptions, there was made a conclusion on possible methods of making spherical powder particles for industrial scale production aimed at import replacement.

Key words

Molding sand; SiO_2 ; grain size distribution; import replacement; crushing; ball mill, rattle, planetary-type mill; precision equipment, ceramics.

Рассмотрим и попытаемся понять, какие задачи ставили перед собой инженеры, работающие над воплощением современных аддитивных технологий, при выборе формообразующего каркаса. Для этого исследуем основной наполнитель, используемый для создания 3D-форм, изготовленных методом послойного прототипирования. Производитель не скрывает природу наполнителя. Это – диоксид кремния, кварцевый песок SiO_2 , традиционно применяемый для изготовления литейных

форм и к настоящему времени не потерявший актуальности во многих распространённых технологических процессах. Вызывает интерес причина его высокой стоимости.

В современной практике использования установок прототипирования S-15 известны неудовлетворительные случаи подбора аналога этого наполнителя, что приводило к отказу от гарантийного обслуживания оборудования. Поэтому необходимо с особой осторожностью подходить к про-

мысленным испытаниям, прибегая к тщательным лабораторным исследованиям до получения статистически значимых результатов. Определяющий фактор, влияющий на большинство технологических свойств формовочных смесей, – зерновой состав используемого кремнезёма с округлым, овальным или остроугольным морфологическим строением. Использовали лазерный анализатор Fritsch Analysette 22 NanoTec, позволяющий определять не только размеры частиц наполнителя, но и их форму.

Были проведены эксперименты, в результате статистической обработки которых установлено, что весь гранулометрический состав песка находится в определённом диапазоне распределения размеров, о чем свидетельствует практически полное совпадение интегральных и дифференциальных кривых пяти экспериментов (рис. 1).

Анализ полученных данных показал, что 10% исследуемого кремнезёма имеют частицы диаметром $\varnothing$ 89 мкм, 50% частиц размером $\varnothing$ 133 мкм, 90% частиц имеют диаметр $\varnothing$ 185 мкм. Что касается интервалов основных фракций пробы, то полученные данные, соответствующие, по сути, «микронному» набору сит шагом между ячейками в 10 мкм, свидетельствуют о размерной организации, с коэффициентом однородности (по ГОСТ 29234.3-91) $O = 75\%$.

Программа лазерного анализатора выдает отношение большего к меньшему диаметру эллипсоида, в который вписывались частицы. При отношении, равном или близком к 1, можно сказать, что обработанный массив пробы состоит, преимущественно, из сферических частиц. Если отношение $\gg 1$ (в 3 и более раз), то частицы – вытянутые. В нашем случае среднее отношение диаметров описывающего эллипсоида равно 1,292, следовательно, частицы исследуемого формовочного песка имеют конфигурацию по форме, близкую к шару. Используемый формовочный каркас, скорее всего, не природного происхождения, так как все известные месторождения песков, по крайней мере, на территории РФ и ближнего зарубежья не имеют подобного морфологического и гранулометрического состава.

Рассмотрим необходимость использования предлагаемого песка и его особенности в решённой инженерами задаче применения аддитивных технологий на производстве. Известно, что процесс построения литейной формы состоит из трех периодически повторяющихся автоматических шагов:

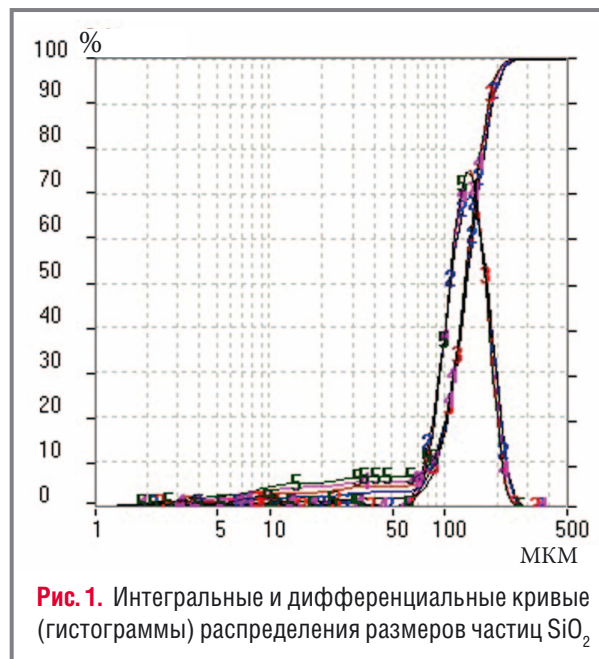


Рис. 1. Интегральные и дифференциальные кривые (гистограммы) распределения размеров частиц SiO_2

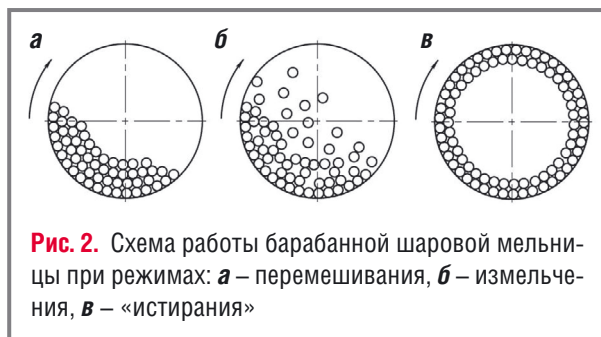
- слой в 0,1...0,4 мм песка, смешанного с катализатором, наносится на рабочую платформу установки S-15;

- с помощью распыления печатающей головкой наносится отвердитель – полимерная смола, инициирующая реакцию полимеризации в присутствии катализатора, – происходит склеивание частиц песка и формирование элементарного элемента будущей формы;

- рабочая платформа опускается на величину слоя, и предыдущие операции повторяют до полного построения формы.

Отсюда видно, что инженеры стремились к высокому качеству построения и точности геометрии, параллельно обеспечивая наиболее плотную упаковку частиц, что диктовал проведённый гранулометрический анализ. Задача сводилась к смещению привычного макроуровня технологии песчаных форм в предельно допустимую зону контролируемых свойств, ограниченную крупностью песчинок до 0,1 мкм. Это подтверждается ультразвуковой подготовкой пробы перед гранулометрическим анализом, и отражено в отсутствии агрегатов, скомпилированных в процессе возможной дезинтеграции в измельчительных аппаратах.

Рассмотрим способы производства песка с необходимыми свойствами. Процессы дробления, грохочения и измельчения материалов, хорошо известные с середины 50-х гг. XX в., благодаря применению более совершенного оборудования, были скорректированы, а составы формовочных материалов модифицированы, что расширило границы



их технологической и экономической эффективности.

Исходя из того, что шаровые мельницы – самое распространённое и доступное измельчительное оборудование в литейных цехах, необходимо разрабатывать процесс получения песка заданного гранулометрического состава именно в них. Известно, что с помощью механического помола можно получить порошки с размерами частиц 0,1...0,5 мкм, что достаточно для производства огнеупорных материалов.

Сравнение подводимых мощностей показывает различие в интенсивности воздействия в мельницах. Обычно, мощность составляет: для шаровой мельницы – 30...50, вибрационной 250...4500, планетарной – 9000...36000 кВт/т. Известны уравнения, которые могут быть использованы при расчетах подводимой энергии, а также для определения энергетического выхода. При измельчении материала в мельнице часть механической энергии запасается в веществе.

Так, энергия в огнеупорных твёрдых порошках накапливается в виде поверхностного и объёмного вкладов. Поверхностный вклад обусловлен увеличением поверхности, а объёмный – возникновением разного рода дефектов в объёме твёрдого тела. Энергия, запасённая в виде дефектов, в 40–50 раз выше, чем поверхностная. Суммарная запасённая энергия влияет на термодинамику и кинетику происходящих в последующем с активируемой шихтой процессов.

Поэтому для получения сферических частиц в промышленных измельчительных аппаратах необходимо свести к минимуму энергию, запасаемую в виде объёмного вклада, которая возрастает при ударном воздействии. Для шаровых мельниц с центральной осью вращения в барабане можно выделить три режима: перемешивания (а), измельчения (б) и «истирания» (в) – рис. 2.

Преобладание режима «истирания» над ударом в мельницах, использующих шарообразные мелющие тела, возможно в случае вращения вала, обеспечивающего превышение центробежной силы над силой тяжести на величину, препятствующую её свободное действие. Режим истирания шихты в планетарной мельнице крайне затруднён, а в вибрационной попросту невозможен, поэтому наиболее рациональный способ получения частиц сферической формы обеспечивают шаровая барабанная, кольцевая (роликовая) мельницы и аттритор.

Но в аттриторе шихта подвергается не только трению и давлению, но и удару, что приводит к увеличению выхода частиц с осколочной формой строения, поэтому аттритор также не подходит. В кольцевой (роликовой) мельнице основной упор делается на трение, за счёт давления роликов, поэтому её режим, обеспечивающий выход сферических частиц, обеспечивается не только частотой вращения привода, но и давлением роликов.

Простой, но не менее эффективный способ получения сферических частиц в мельницах – процесс *самоизмельчения*. Поэтому рассмотрим получение сферических частиц в механических мельницах без мелющих тел, с получением минимально возможного количества механической энергии от соударений шихты с мелющими телами. Если сила трения станет основной, воздействующей на шихту, причём, как снаружи системы, так и внутри неё, когда частицы перетираются между собой, повысить производительность можно следующими мерами:

- увеличением оборотов барабана;
- вводом дополнительных временных технологических связей, способствующих выходу шарообразных частиц;
- а также изменением конфигурации рабочей поверхности барабана, за счёт создания в нём дополнительных центров трения в виде плужков, рёбер.

Эти рекомендации применимы к Люберецким пескам.

Сведения об авторе

Соколов Александр Александрович – канд. техн. наук, инж.-конструктор ИЦ «ЛТМ»