



XXI век

₴

3  
2011

НЗИЖ И ЯИМИХ



# Полезная зола

Доктор  
геолого-минералогических наук  
**Л.Я.Кизильштейн**



Каждый год из недр земли извлекают более 5 миллиардов тонн угля. Только небольшую часть этой огромной массы перерабатывают в кокс, жидкие и газообразные продукты (сырье металлургии и химической промышленности), остальное сжигают. В Российской Федерации в год добывают 275 миллионов тонн угля и примерно 200 миллионов сгорает в печах на крупных тепловых электростанциях (ТЭС).

После сжигания этих огромных количеств образуется зола (поскольку уголь состоит из органического вещества и минеральных компонентов). Если считать, что зольность углей (отношение массы золы к массе сожженного угля) в среднем 20%, то получается, что каждый год образуется 40 миллионов тонн золы. А во времена СССР угля добывали 700 миллионов тонн, что по приблизительным расчетам давало около 140 миллионов тонн золы в год. Все это время ее складировали в так называемых золоотвалах, и там накопилось примерно 2—3 миллиарда тонн мельчайших минеральных частиц.

Однако этим отходом, создающим технические и экологические проблемы, можно было бы распорядиться по-хозяйски. Ведь он вполне годится вместо природного минерального сырья: песка, глины, извести и цемента. Более того, в золе угольных ТЭС есть компоненты с ценными технологическими свойствами, поэтому их можно применять для производства разных материалов. Об одном из подобных компонентов золы — как их принято называть в литературе алюмосиликатных полых микросферах (АСПМ) — и пойдет речь.

## Как сжигают уголь

Чаще всего применяют пылеугольную систему сжигания: перед тем как сжечь, уголь из шахт или карьеров превращают на мельницах в пыль с диаметром частиц 50—100 мкм. Ведь чем мельче частицы, тем полнее сгорание. Но измельчать его выгодно только до определенного предела, иначе будет дорого.

Угольную пыль вместе с воздухом вдувают в топку через горелки, и там она сгорает во взвешенном состоянии при температуре 1300—1500°C и выше. В этих условиях сульфиды и карбонаты диссоциируют с образованием газообразных ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ) и твердых оксидов ( $\text{CaO}$ ,  $\text{FeO}$ ). Остальные минералы (кварц, полевые шпаты, слюды) плавятся и образуют вторичные минералы — муллит, силлиманит и силикатную аморфную массу (стекло, близкое по составу и свойствам к вулканическому). Напомню, что углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ) и оксид серы ( $\text{SO}_2$ ) вместе с твердыми частицами золы загрязняют атмосферный воздух, и это сильно испортило «имидж» угольной энергетики (см. «Химия и жизнь», 2005, № 12).

## Образование полых микросфер

Расплавленная масса минералов дробится в токе раскаленных газов и образует мельчайшие капельки — этот процесс нас и интересует. В большинстве из них оказываются и пузырьки газа (они получают при разложении органической и минеральной составляющих угля). При нагревании давление газа в пузырьках увеличивается и капельки раздуваются.

Расплавленные минеральные частицы имеют разный размер, содержат разное количество газа или не содержат его вовсе. Иными словами, существует бесконечное разнообразие динамических ситуаций, поскольку газ расширяется внутри капелек, а материал расплава им сопротивляется. В некоторых случаях силы расширения уравновешивают механическое сопротивление оболочки, и образуется сферический пузырек (как мыльный) с минеральной оболочкой. Это и есть полые микросферы.

Из чего же состоит расплав (а значит, и оболочка микросфер)? При температуре котлов ТЭС (1300—1500°C и выше) в расплавленное состояние могут переходить глины (каолинит —  $\text{Al}[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4$ ), гидрослюда —  $\text{K}_{1-x}\text{Al}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{19}](\text{OH})_{2-x}(\text{H}_2\text{O})_2$ , кварц,

*Микросферы легко собрать, поскольку они всплывают на поверхности воды*

полевые шпаты и монтмориллонит —  $\text{Na}_{0,n}\{(\text{Al}_{2-0,n}\text{Mg}_{0,n})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2\} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ . Образуется сложный расплав, который можно назвать «алюмосиликатным». Потом, после остывания капелек, формируются и другие минералы: силлиманит ( $\text{Al}[\text{AlSiO}_5]$ ), муллит  $\text{Al}[\text{Al}_2\text{Si}_x\text{O}_{5.5-0.5x}]$  и аморфное стекло  $\text{SiO}_2$ . Все эти компоненты в разных соотношениях и присутствуют в алюмосиликатных полых микросферах.

Под микроскопом видно, что они почти правильной сферической формы (см. фото), у них гладкая блестящая поверхность и диаметр от 20 до 200 мкм. Впрочем, при больших увеличениях становятся заметны неровности поверхности и множество мелких — доли микрометра — налипших силикатных, магнетитовых ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) и угольных частичек. Стенки у них также разной толщины, и причина этого (равно как разнообразия диаметров) — разный минералогический состав. Ведь именно от него зависят прочность и растяжение. Конечно, влияет также и температура сжигания угольной пыли.

Изучение золы многих ТЭС показало, что АСПМ образуются довольно редко. В зависимости от того откуда уголь, микросфер может быть от десятых процента до одного, что не так уж и мало: только в 1 млн. тонн золы содержится примерно 12 тыс. тонн микросфер. Остальное — просто сферы или пористые сферы. В том и другом случае вещество расплавилось в печи, но сила раздува оказалась недостаточной для образования тонкой оболочки с газом внутри. Если же сила раздува превышает механическую прочность оболочки, то микросферы разрываются (схлопываются) и образуются осколки. Содержание в золе таких плотных, пористых или разорванных микросфер — примерно 80—90%.

Отделить алюмосиликатные полые микросферы от других компонентов золы довольно легко — они всплывают