

МЕТАЛУРГІЯ ЧАВУНУ

УДК 622.788.3

© Дорогой Е.В.*

К МЕТОДИКЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ГРАНУЛ ОКОМКОВАННОЙ АГЛОМЕРАЦИОННОЙ ШИХТЫ

В статье рассмотрен простой способ измерения прочности гранул окомкованной агломерационной шихты, позволяющий контролировать прочность гранул при проведении лабораторных или промышленных исследований. Проведена оценка достоверности данных, полученных в результате реализации предложенного способа.

Ключевые слова: прочность гранул, окомкование, агломерационная шихта.

Дорогий Є.В. До методики вимірювання міцності гранул огрудкованої агломераційної шихти. У статті розглянуто простий спосіб вимірювання міцності гранул огрудкованої агломераційної шихти, що дозволяє контролювати міцність гранул при проведенні лабораторних або промислових досліджень. Зроблено оцінку достовірності даних, отриманих в результаті реалізації запропонованого способу.

Ключові слова: міцність гранул, огрудкування, агломераційна шихта.

E.V. Dorogyi. Methods of measuring the strength of granules of pelletized sinter charge. The article deals with a simple method of determining the strength of granules of pelletized sinter charge that allows to control the strength of granules of pelletized sinter charge in lab or industrial research. The estimation of reliability of data obtained by the proposed method.

Keywords: strength of granules, pelletizing, sinter charge.

Постановка проблемы. Одним из важных показателей качества процесса окомкования агломерационной шихты является прочность получаемых гранул [1-3]. Этот показатель позволяет оценить эффективность работы окомковательного оборудования, целесообразность применения того или иного типа окомкователя в зависимости от шихтовых условий, провести оптимизацию процесса окомкования. В настоящее время в черной металлургии не существует стандартной методики испытания на прочность гранул окомкованной аглошихты, которые являются промежуточным продуктом производства. Это не дает возможность сравнения результатов промышленных и лабораторных исследований, выполненных на различных предприятиях и в лабораториях. Стандартизированными являются лишь методики испытания на прочность конечного продукта, т.е. агломерата. Примером данных методик могут служить ДСТУ 3199-95 и ДСТУ 3200-95, а также зарубежные стандарты ISO TC 102/Sc 3 DP 4700, ISO 3271 1975 E, ASTM E 279-97, ASTM E 382-97.

Анализ последних исследований и публикаций. Для определения прочности гранул окомкованной шихты возможно использование методик измерения, применяемых при производстве гранулированных удобрений (ГОСТ 21560.2-82) или топливных брикетов (ДСТУ-П CENTS 15210-1:2009). Однако все эти методики подразумевают использование дорогостоящего измерительного оборудования и не всегда доступны при ограниченном бюджете исследований.

С другой стороны, во многих работах, посвященных вопросам качества подготовки агломерационной шихты (а так же железорудных окатышей) фигурируют результаты измерений прочности гранул, но не описана методика, с помощью которой они получены. Зачастую исследователи используют «кустарные» методы измерения, не уделяя внимания точности и повторяемости результатов испытаний. Именно с этим связаны затруднения в сравнении резуль-

* ассистент, ГВУЗ «Донбасский государственный технический университет», г. Алчевск

татов исследований различных ученых.

Цель статьи – разработка и реализация недорогого и простого способа измерения прочности гранул окомкованной агломерационной шихты.

Изложение основного материала. Железные руды и концентраты обладают неодинаковой способностью образовывать прочные гранулы в процессе окомкования, т.е. обладают различной комкуемостью. Количественно комкуемость может быть выражена через прочность сцепления частичек влажного материала [4], т.е. через прочность гранул окомкованной шихты.

Основным способом определения прочности гранул (рисунок 1), является одноосное сжатие испытуемой гранулы между двух поверхностей: неподвижной подложки и движущегося ей на встречу поршня [5]. Стоит отметить, что этот метод хорошо подходит для определения прочности тел правильной геометрической формы, но, вследствие того, что гранулы, как правило, ею не обладают, для повышения точности необходимо проводить ряд параллельных измерений прочности гранул из одной партии, после чего результаты обрабатываются методами математической статистики.

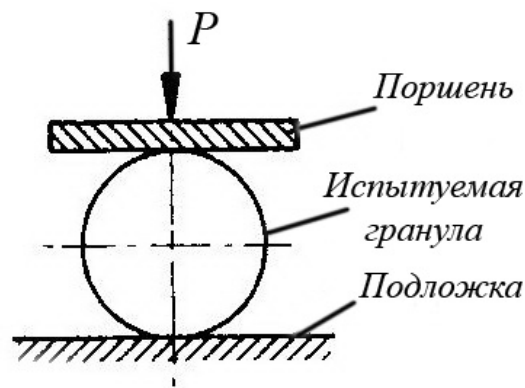


Рис. 1 – Схема определения прочности гранул

Современные программно-аппаратные комплексы лабораторного оборудования позволяют измерить прочности гранул в автоматическом режиме с высокой точностью.

Примером такого оборудования может служить измеритель прочности гранул ИПГ-1М или ИПГ-2 (рисунок 2), которые позволяют проводить измерение прочности гранул согласно ГОСТ 21560.2-82. Наиболее существенным недостатком данного оборудования является его высокая стоимость, в связи с чем при проведении лабораторных или промышленных исследований не всегда удастся получить к нему доступ. Также стоит отметить, что оно предназначено для испытания гранул минеральных удобрений, и при использовании для измерения прочности гранул окомкованной шихты достоверность измерений производитель не гарантирует [6].



Рис. 2 – Общий вид измерителя прочности гранул: а) – ИПГ-1М; б) – ИПГ-2

В работе [7] приведено описание специализированной установки РМР (Pellet Multi Press). Эта установка (рисунок 3) является полуавтоматической системой измерения прочности гранул окомкованной агломерационной шихты, сырых и обожженных окатышей.



Рис. 3 – Общий вид установки РМР

Данное оборудование позволяет проводить измерения в автоматическом режиме с высокой точностью, но, в то же время, требует существенных финансовых затрат на его приобретение.

В качестве альтернативы авторами статьи предложен способ измерения прочности, прототипом для которой является установка для измерения прочности гранул окомкованной сажи [8]. Схема установки показана на рисунке 4.

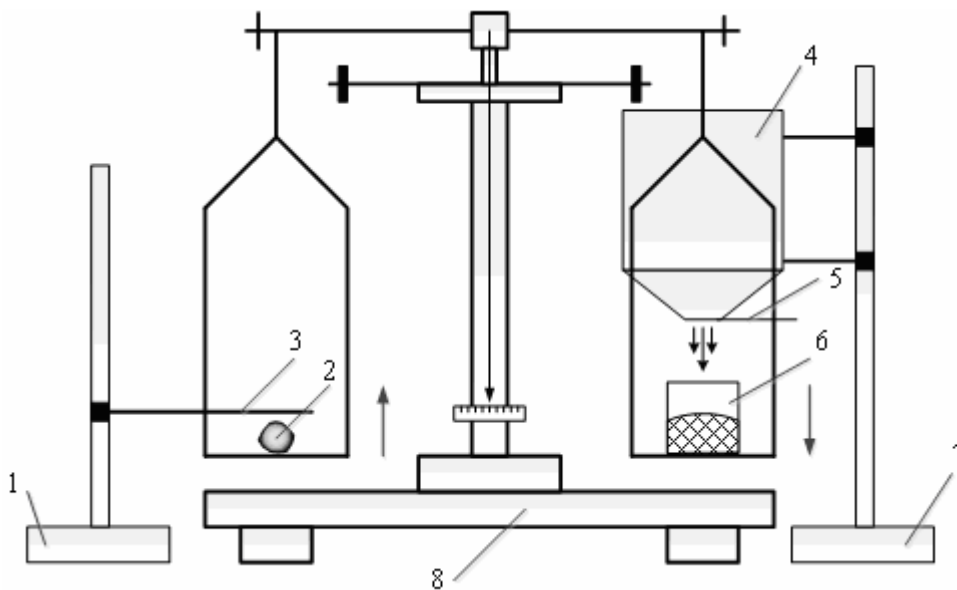


Рис. 4 – Схема установки для определения прочности гранул окомкованной аглошхты

Лабораторная установка включает в себя держатель упора для раздавливания гранул 1, упор для раздавливания гранул 3, бункер для песка 4, шиберный затвор бункера 5, приемную емкость для песка 6, держатель бункера 7 и весы лабораторные 8.

Определение прочности гранул заключается в следующем: после заполнения бункера 4 песком на левую чашку весов под упор для раздавливания гранул помещается испытуемая гранула 2. Величиной открытия шибера 5 регулируется скорость истечения песка из бункера 4 в приемную емкость 6, что является регулятором скорости нагружения гранулы. Эта скорость подбирается, в зависимости от упругоэластических свойств гранулы, таким образом, чтобы гранула не расплющивалась а разрушалась, т. е. на ее поверхности образовывалась трещина. После появления трещины на испытуемой грануле шибер закрывается и производится взвешивание песка в емкости 6. Момент появления трещины фиксируется визуально. Масса песка является показателем прочности гранул, которая измеряется в граммах (килограммах) на гранулу.

В ходе проведения измерений прочности гранул, полученных в конусном и цилиндрическом окомкователе, был выполнен отбор 8-ми проб фракции 7-5 мм при различных режимах работы устройства (угол наклона окомкователя изменялся в пределах от -5° до 10° с шагом в 5 градусов) по одной пробе при каждом из режимов. Пробы 1-4 отбирались из конусного окомкователя, пробы 5-8 – из цилиндрического. Из каждой пробы отбиралось одинаковое количество гранул (20 штук) и производилось их раздавливание. Скорость нагружения гранул составляла 110 гр/сек. Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1

Прочность гранул окомкованной агломерационной шихты, гр/гран.

№ пробы \ № гранулы	1	2	3	4	5	6	7	8
1	230	245	277	362	122	143	125	176
2	186	249	277	356	111	133	137	195
3	222	241	274	334	99	152	145	156
4	236	261	268	349	101	138	125	189
5	190	236	261	346	117	150	130	171
6	210	258	251	338	106	138	146	200
7	229	257	270	352	91	149	125	174
8	222	221	286	343	117	147	115	177
9	224	251	279	351	116	136	121	173
10	224	241	284	342	107	140	127	180
11	239	249	267	351	105	128	145	171
12	226	226	271	343	118	141	122	170
13	209	241	282	374	92	137	139	179
14	225	235	259	357	109	153	140	172
15	213	237	283	333	130	127	130	177
16	210	248	287	341	136	124	123	188
17	215	249	262	341	109	140	136	186
18	205	259	299	365	134	151	141	182
19	205	232	259	341	116	164	138	183
20	211	245	268	353	124	140	150	174

По данным каждой из этих проб по формуле 1 были рассчитаны эмпирические дисперсии:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}{n}, \quad (1)$$

где s^2 – дисперсия;

x – анализируемый показатель;

\bar{x} – среднее значение анализируемого показателя;

n – количество значений в анализируемой совокупности данных.

Результаты расчетов эмпирической дисперсии приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчета эмпирических дисперсий для 8-ми проб

№ пробы	1	2	3	4	5	6	7	8
Дисперсия (s^2)	190	120	136	110	160	98	100	95

По методу Бартлета [9] производилась проверка однородности ряда дисперсий. Этот метод основан на рассмотрении последовательности величин G_i

$$G_i = \frac{s_i^2}{s_1^2 + s_2^2 + \dots + s_k^2}, \quad (2)$$

где s^2 – дисперсия;

i – номер выборки;

k – количество выборок.

Для максимального из членов этой последовательности G_{\max} который отвечает наибольшему значению из s_i^2 т.е. $\max [s_i^2]$, найден закон распределения, с помощью которого построены справочные таблицы [9], в которых при числах k выборок от 2 до 120 и объемах выборок n от 2 до 145 даны значения показателя G_{\max} , отвечающие 5% и 1% уровням значимости. Если найденное из наблюдений значение G_{\max} окажется больше указанного в таблице для соответствующих k и $n - 1$, то вероятность получить такое или большее значение оказывается меньше того уровня значимости, для которого составлена данная таблица, и потому гипотеза об однородности ряда дисперсий с тем же уровнем значимости должна быть отвергнута.

Самой большой дисперсией является дисперсия, соответствующая первой пробе (табл. 2).

По формуле (2) был найден критерий G_{\max}

$$G_{\max} = \frac{190}{190 + 120 + 136 + 110 + 160 + 98 + 100 + 95} = 0,2330.$$

По данным [9] при 5% уровне для $n - 1 = 20 - 1 = 19$ и $k = 8$, $G = 0,2779$. Полученный результат ($0,2330 < 0,2779$) указывает на незначительность расхождений между дисперсиями.

Стоит отметить, что в работе [10] получены похожие результаты прочности гранул окомкованной шихты, но в результате несовершенства способа измерения (раздавливание гранулы гирей на чашке весов) для получения корректных результатов необходимо проведение гораздо большего количества раздавливаний.

Выводы

В качестве выводов к изложенному материалу стоит отметить следующее:

1. Измерение прочности гранул окомкованной агломерационной шихты позволяет оценить эффективность работы окомковательного оборудования, целесообразность применения того или иного типа окомкователя в зависимости от шихтовых условий, провести оптимизацию процесса окомкования и т. д.

2. В настоящее время не существует стандартной методики измерения прочности гранул окомкованной агломерационной шихты, что приводит к затруднениям в сравнении результатов различных исследований и прочим негативным последствиям.

3. Для измерения прочности гранул окомкованной шихты возможно использование оборудования и методик измерения прочности гранул гранулированных удобрений (или других гранулированных веществ), однако данное оборудование, в первую очередь в связи с высокой стоимостью, не всегда доступно при проведении исследований.

4. Во многих работах, посвященных вопросам качества подготовки агломерационной шихты (а так же железорудных окатышей) фигурируют результаты измерений прочности гранул, но не уделяется должного внимания методике проведения данных измерений, с чем связаны затруднения в сравнении результатов исследований различных ученых.

5. Предложенный автором способ измерений позволяет провести измерение прочности гранул окомкованной агломерационной шихты без использования дорогостоящего оборудования с высокой повторяемостью результатов, что подтверждается проведенной оценкой однородности дисперсий результатов измерений.

Список использованных источников:

1. Pietsch W. Agglomeration in industry / W. Pietsch. – Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH, 2004. – 826 p.
2. Pietsch W. Size enlargement by agglomeration / W. Pietsch. – N.Y.: Wiley-Interscience, 1991. – 541 p.
3. Жилкин В.П. Производство агломерата / В.П. Жилкин, Д.Н. Доронин. – Екатеринбург: Марат, 2004. – 292 с.
4. Коротич В.И. Агломерация рудных материалов / В.И. Коротич, Ю.А. Фролов, Г.Н. Бездежский. – Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2003. – 400 с.
5. Pietsch W. Agglomeration Processes / W. Pietsch. – Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH, 2001. – 617 p.
6. Каталог продукции ФГПУ «УНИЧИМ с ОЗ» [Электронный ресурс] / Федеральное государственное унитарное предприятие «Уральский НИХИ с опытным заводом» // Режим доступа к ресурсу: http://unichim.ru/back/tmp_file/690061284.pdf.
7. Forsmo S. Influence of green pellet properties on pelletizing of magnetite iron ore: doctoral thesis / Forsmo Seija Pirkko Elina. – Lulea, 2007. – 235 p.
8. Борозняк И.Г. Гранулирование сажи мокрым способом / И.Г. Борозняк. – М.: ЦНИИ Нефтехим, 1972. – 75 с.
9. Смирнов Н.В. Курс теории вероятности и математической статистики / Н.В. Смирнов, И.В. Дунин-Барковский. – М.: Наука, 1969. – 512 с.
10. Петрушов С.Н. Развитие теоретических основ современной технологии агломерации: дис. ... доктора техн. наук : 05.16.02 / Петрушов Станислав Николаевич. – Коммунарск, 1991. – 369 с.

Bibliography:

1. Pietsch W. Agglomeration in industry / W. Pietsch. – Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH, 2004. – 826 p.
2. Pietsch W. Size enlargement by agglomeration / W. Pietsch. – N.Y.: Wiley-Interscience, 1991. – 541 p.
3. Zhilkin V.P. Sinter production / V.P. Zhilkin, D.N. Doronin. – Ekaterinburg: Marat, 2004. – 292 p. (Rus.)
4. Korotich V.I. Agglomeration of ore materials / V.I. Korotich, Y.A. Frolov, G.N. Bezdezhskiy. – Ekaterinburg: GOU VPO «USTU-UPI», 2003. – 400 p. (Rus.)
5. Pietsch W. Agglomeration Processes / W. Pietsch. – Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH, 2001. – 617 p.
6. Products catalogue «UNICIM with PD SPO» [Electronic resource] / Federal State unitary enterprise «Ural NIHA with pilot factory» // Access mode to resource: http://unichim.ru/back/tmp_file/690061284.pdf.
7. Forsmo S. Influence of green pellet properties on pelletizing of magnetite iron ore: doctoral thesis / Forsmo Seija Pirkko Elina. – Lulea, 2007. – 235 p.
8. Boroznak I.G. Wet granulation of carbon black / Boroznak I.G. – M.: Institute of plastics recycling, 1972. – 75 p. (Rus.)
9. Smirnov N.V. Course of probability theory and mathematical statistics / N.V. Smirnov, I.V. Dunin-Barkovsky – M.: Nauka, 1969. – 512 p. (Rus.)
10. Petrusov S.N. Development of theoretical bases of modern technology agglomeration: Dis. ... dr. techn. science: 05.16.02 / Petrusov Stanislav Nikolaevich. – Komunarsk, 1991. – 369 p.

Рецензент: А.М. Новохатский
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ДонГТУ»

Статья поступила 18.09.2013