*Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института, т. XXX, вып. 2, 1955*

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАВКОСТИ МИНЕРАЛОВ МЕТОДОМ ПАЯЛЬНОЙ ТРУБКИ

*Проф. Н. К. Разумовский*

Испытание минералов с помощью паяльной трубки имеет свою историю. Еще в 1745 г. при помощи паяльной трубки было установлено наличие золота в кварцевых жилах к северу от Екатеринбурга (Свердловска). В дальнейшем при поисках руд русские горные инженеры постоянно пользовались этим методом, развивая его и совершенствуя.

Самое элементарное испытание с паяльной трубкой состоит в нагревании осколка минерала с целью изучения его поведения при высоких температурах. Чтобы условия испытаний были одинаковыми, принято осколок минерала брать в виде стерженька длиной 4—5 *мм* и сечением 1 *мм*$^2$. Один конец стерженька захватывают в самозажимающиеся железные щипчики. Свободный конец стерженька сразу нагревают в наиболее горячей части пламени паяльной трубки — у синего конуса пламени, но, однако, снаружи от него. При этом наблюдаются или резкие изменения минерала — вскипание, вспучивание, улетучивание в виде паров или быстрое плавление, или, наоборот, лишь слабое изменение, или, наконец, минерал остается совсем неизмененным. В первом случае, т. е. при наличии резких изменений, минерал неустойчив при высокой температуре и разлагается. Во втором случае, т. е. при слабом изменении, разложения нет.

По действию пламени паяльной трубки все минералы можно разделить на три группы: I — разлагающиеся в пламени паяльной трубки, II — не разлагающиеся, но плавящиеся, III — не разлагающиеся и не плавящиеся.

О плавлении минералов I группы судить трудно, так как процесс разрушения самого минерала маскирует его чисто физический переход из твердой фазы в жидкую. Характер течения реакции и разрушения чрезвычайно разнообразен. Изменения, происходящие в минерале, могут быть использованы в качестве диагностических признаков.

Группу I целесообразно разделить на следующие подгруппы:

I*а*. Минерал, не плавясь, улетучивается без остатка, т. е. он полностью возгоняется.

I*б*. Минерал частью улетучивается, выделяя видимые или пахучие пары, а частью остается неплавким или плавким (частично возгоняется).

I*в*. Минерал видимых или пахучих паров не выделяет, но вспучивается, давая ноздреватую пористую плавкую или неплавкую массу.

I*г*. Минерал не выделяет паров, не вспучивается, но меняется в цвете, что чаще всего указывает на его разложение. Темный или яркоокра-

шенный минерал обесцвечивается, светлый — становится темным, черным или яркоокрашенным.

I*д*. Разложение минерала при прокаливании также может быть замечено по самосвечению минерала, появлению окраски пламени во время прокаливания и магнитности прокаленного остатка, или по щелочной реакции остатка на куркумовой бумажке после смачивания ее водой.

Наконец, возможен случай, когда минерал разлагается без видимых изменений. Так, например, волластонит при 1200° переходит в псевдоволластонит без каких-либо видимых изменений, а последний плавится при 1540°. Нефелин при 1248° разлагается, не выделяя летучих и не меняя цвета. Очевидно, при испытании с паяльной трубкой этот случай может быть не обнаружен и минерал будет отнесен к группе II, которую поэтому лучше характеризовать так: минерал в пламени паяльной трубки не разлагается или разлагается без видимых изменений.

Говоря о плавкости минерала, т. е. о переходе его в жидкую фазу, надо иметь в виду именно эту II группу минералов. Если изменения в группах I*в*, I*г* и I*д* не принимать во внимание, считая их несущественными, то можно говорить о плавкости минерала, подразумевая при этом плавкость той измененной смеси, которая получилась при нагревании. Чтобы эти побочные изменения были возможно меньшими, рекомендуется при определении плавкости нагревать минерал быстро, помещая его в самую горячую часть пламени. В группах I*б* и I*в* минералы так резко изменяют свой состав, что можно говорить только о плавкости остатка после прокаливания.

Степень плавкости минералов или ее количественная характеристика определяется своеобразно — применительно к температуре пламени паяльной трубки. Максимальная температура пламени паяльной трубки 1600°, практически же чаще всего 1550—1500°. Поэтому минералы с точкой плавления 1500° и выше регистрируются как неплавкие. Согласно общепринятой шкале плавкости существует семь групп (номеров), условно характеризующих степень плавкости минерала.

1. Довольно большой осколок минерала легко плавится в пламени свечи. В закрытой стеклянной трубочке, нагреваемой при помощи паяльной трубки, минерал плавится ранее красного каления (антимонит — 550°, цинк — 430°, прустит, пирагирит 500° и др.).

2. Осколок принятого образца (1 *мм*$^2$ $\times$ 5 *мм*) в пламени свечи плавится с трудом. В закрытой стеклянной трубочке, нагреваемой паяльной трубкой, осколок плавится при температуре полного красного каления (халькопирит — 950°, галит — 800°).

3. Осколок принятого образца перед паяльной трубкой легко оплавляется в шарик. В пламени свечи оплавляются только тончайшие острия и осколки (алмандин — 1100°, ангидрит, барит, самородная медь, родонит, везувиен, гроссуляр, черный турмалин, альбит, малахит).

4. Края осколка легко закругляются перед паяльной трубкой. Тонкие острия легко сплавляются в шарик (актинолит $\sim$ 1200°, также диопсид, волластонит, лабрадор, нефелин, мусковит, флогопит).

5. Края осколка с трудом округляются перед пламенем паяльной трубки и только мельчайшие острия едва округляются в шарик (ортоклаз — 1300°, также микроклин, тальк, шеелит).

6. Округляются перед паяльной трубкой только тончайшие острия и края осколков (бронзит, энстатит — 1450°, берилл — 1410°, серпентин — 1450°, хлорапатит — 1530°).

7. Минерал совершенно не плавится (кварц — 1700°, рутил — 1640°, циркон — 2500°, касситерит, шпинель состава $MgAl_2O_4$ — 2135°, фторапатит — 1630° и др.).

Пользуясь шкалой плавкости, можно, например, отличить хлорапатит (1530° = 6) и фторапатит (1630° = 7) друг от друга и от их изоморфной смеси, которая плавится при 1270°, т. е. в интервале шкалы 4—5.

В целях большей точности определения плавкости минералов, в особенности в интервале шкалы 4—6 (от 1200 до 1600°), целесообразно вместо осколков минерала брать тесто из тонкоизмельченного порошка, замешанное на воде с небольшим количеством крахмального клейстера, и протолкнуть его через стеклянную трубочку с оттянутым концом сечением 1 *мм*² (рис. 1). Полученные стержни следует подсушить и разломать на части длиной 4—6 *мм*. Нагревание такого стерженька, зажа-




Рис. 1. Схема прибора для выдавливания стерженька из теста минерала

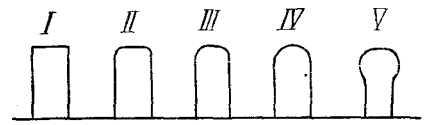



Рис. 2. Формы оплавления стерженьков в зависимости от плавкости минерала

того в щипчики, нужно производить непрерывно 3—4 мин., после чего можно наблюдать (лучше в лупу) пять степеней оплавления (рис. 2).

I. Острые края стерженька по кругу не закруглились и не изменили своей формы. От прикосновения стерженек рассыпается, зерна не оплавились. Температура плавления больше 1600°.

II. Края стерженька слегка спеклись и оплавились. Температура плавления 1550—1600°.

III. Края стерженька по контуру круга округлились и оплавились, но в центре осталась незакруглившаяся площадка. Температура плавления примерно 1400—1500°.

IV. Площадка отсутствует, оплавленная часть имеет вид полусферы того же диаметра, что и стерженек. Температура плавления примерно 1300°.

V. Кончик оплавился в сферу, диаметр которой более 1 *мм*, как головка у спички. Температура плавления 1100—1200°.

Так как сила пламени паяльной трубки зависит от сорта свечи, отверстия паяльной трубки и умения исследователя, указанные температуры условны. Но их легко установить опытным путем с помощью нескольких пироскопов Государственного фарфорового завода. Для нашей цели достаточно иметь пироскопы с номерами: 1 (1100°), 6 (1200°), 10 (1300°), 14 (1410°) и 18 (1500°). Кусочки пироскопов измельчаются, из порошка готовятся, как указано выше, стерженьки сечением 1 *мм*² и с помощью паяльной трубки определяется степень их оплавления. При отсутствии пироскопов можно воспользоваться минералами с известной температурой плавления.

В качестве эталонных минералов следует брать такие, которые не разлагаются при высокой температуре. Поэтому общепринятые эталоны, указанные в шкале плавкости первыми, не очень хороши. Например, халькопирит и актинолит разлагаются еще до плавления. Наиболее целесообразно считать эталонами следующие минералы:

№ 2 — галит (800°)
№ 3 — гроссуляр, флюорит или альбит (~1100°)
№ 4 — нефелин или мусковит (1200—1250°)
№ 5 — ортоклаз, микроклин или тальк (1300—1350°)
№ 6 — берилл (1410°) или серпентинит (1450°)

Эти минералы довольно распространены и их легко достать (галит, флюорит, ортоклаз, микроклин, берилл часто входят и в шкалу твердости). Кроме того, от них хорошо отбивается стерженек нужного размера.

Прием приготовления круглого столбика из тонкого порошка минерала, впервые предложенный П. А. Земятчинским и Ф. А. Зенкевич, в 1930 г. [1] для полевого определения плавкости глин, несомненно, более точен, чем определение плавкости в осколках. Дутье пламени рекомендуют производить резиновой грушей, употребляя не свечу, а спиртовую лампу [1, 2, стр. 45]. Этот способ можно использовать и при определении плавкости минералов. Тогда установку следует прокалибровать в интервале 1300—1600° по пироскопам (№ 10—22) Государственного фарфорового завода.

Значение определения температуры плавления для диагностики минералов. В литературе появились высказывания о том, что роль констант плавления при определении минералов незначительна. Так, например, известный минералог Н. А. Смолянинов в предисловии к определителю минералов П. П. Пилипенко и П. В. Калинина пишет: «Задача, ставившаяся авторами, заключалась в том, чтобы при составлении «определителя» по возможности исключить из числа ведущих признаков минералов те признаки, которые являются неустойчивыми и трудноустанавливаемыми, как, например, плавкость, резко изменяющуюся от присутствия в минерале уже незначительных примесей» [3].

Мнение это несправедливо, так как резкие колебания признака, такие, как, например, у апатитов, встречаются не часто и сами могут быть использованы для более точной диагностики минералов. В большинстве же случаев колебания от примесей невелики — в пределах 100° и, следовательно, не выходят за границы своего интервала плавкости. Таким образом, «неустойчивость» преувеличена.

Возражение же по поводу «трудноустанавливаемости» этого признака несостоятельно. Если оно относится к трудностям в работе, то состоит лишь в том, чтобы отбить кусочек испытуемого образца, зажать в щипчики, зажечь свечу и взять в руки паяльную трубку — само испытание происходит иногда в течение нескольких секунд. Если же иметь в виду помехи от сопутствующих явлений, затемняющих установление момента плавкости (главным образом, разложение минерала до плавления), то эти явления столь характерны и постоянны для каждого минерала, что уже давно служат драгоценными признаками, способствующими быстрому определению химического состава минерала. Эти «помехи» давно уже стали «методиками» быстрого распознавания элементов, входящих в состав изучаемого минерала (возгоны или налеты, окрашивание пламени, ликвация и получение корольков, перемена цвета минералов и т. п.).

Поэтому с умалением значения константы плавкости согласиться нельзя. Наоборот, в ряде случаев она особенно ценна — при поисках огнеупоров, определении состава силикатов и пр. Поведение силикатов при нагревании паяльной трубкой должно изучаться особенно тщательно. Нельзя упускать из вида ни одного изменения, способного служить признаком для определения минерала.

Следует различать следующие продукты плавления: а) прозрачное и бесцветное стекло (нефелин); б) цветное, но прозрачное стекло (актинолит); в) белая, непрозрачная эмаль (анортит); г) цветная эмаль (эпидот); д) черная магнитная масса (эгирин), а также явления: е) вспучивания (натролит); ж) самосвечения (окись циркония); з) окрашивания пламени (нефелин, лепидолит, сподумен).

## Выводы

1. Плавкость — важнейший признак при определении минералов.

2. Существующая шкала плавкости минералов удовлетворительна. Однако в качестве эталонов шкалы лучше брать минералы: № 2 — галит (800°), № 3 — гроссуляр, флюорит, альбит (1100°), № 4 — нефелин или мусковит (1200—1250°), № 5 — ортоклаз, микроклин или тальк (1300—1350°), № 6 — берилл (1410°) или серпентин (1450°).

3. Определение плавкости возможно с точностью до ±20°, если производить его на стерженьках, приготовленных из теста, превращенного в порошок минерала. При этом за эталоны следует брать приготовленные тем же способом стерженьки из пироскопов Государственного фарфорового завода. Температура плавления номеров шкалы пироскопов приведена в таблице.

Таблица

| Номер пироскопа | Температура плавления, град. | Номер пироскопа | Температура плавления, град. | Номер пироскопа | Температура плавления, град. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0,5 | 1000 | 6 | 1200 | 16 | 1460 |
| 0,4 | 1020 | 7 | 1220 | 17 | 1480 |
| 0,3 | 1040 | 8 | 1250 | 18 | 1500 |
| 0,2 | 1060 | 9 | 1280 | 19 | 1520 |
| 0,1 | 1080 | 10 | 1300 | 20 | 1550 |
| 1 | 1100 | 11 | 1320 | 21 | 1580 |
| 2 | 1120 | 12 | 1350 | 22 | 1610 |
| 3 | 1140 | 13 | 1380 | 23 | 1630 |
| 4 | 1160 | 14 | 1410 | 24 | 1650 |
| 5 | 1180 | 15 | 1435 | 25 | 1670 |

4. Уточнение температуры плавления особенно важно для силикатов. Температуры плавления многих минералов приведены в первом томе Справочных таблиц физических величин Технической энциклопедии (1935).

## ЛИТЕРАТУРА


1. Земятчинский П. А. и Зенкевич Ф. А Простой ориентировочный метод определения огнеупорности глин. Труды Керамического института, 1930, вып. 24.
2. Разумовский Н. К. Определение минералов по наружному виду и при помощи паяльной трубки. Госгеолнефтеиздат. 1933.
3. Пилипенко П. П. и Калинин П. В. Определитель минералов при помощи паяльной трубки. Госгеолиздат, 1947.