

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И РАЗРАБОТКИ
ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ

На правах рукописи.

С. А. МУСЯЛ

МИКРОТВЕРДОСТЬ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ

Автореферат диссертации,
представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
профессор И. И. АММОСОВ

Москва — 1959

ВВЕДЕНИЕ

Твердость является важной характеристикой физико-механических свойств углей. Изучение связи между твердостью, хрупкостью и механической прочностью позволит оценить величину механических потерь при хранении угля, возможность его перевозки и сортировки. Ввиду зависимости твердости углей от стадии метаморфизма, степени восстановленности и петрографического состава показатель микротвердости может иметь большое значение для прогноза качества углей, а также для установления дополнительных классификационных параметров.

Данная работа посвящена изучению микротвердости отдельных петрографических компонентов углей. Исследования проводились на приборе ПМТ-3, конструкции М. М. Хрущева и Е. С. Берковича при нагрузке на индентор в 10 г.

Наблюдения за изменением микротвердости проводились на углях различных месторождений Советского Союза. Наиболее детально были исследованы угли Кузнецкого бассейна, но для сравнения и сопоставления полученных результатов также изучались угли Донецкого, Иркутского, Карагандинского и др. бассейнов. Кроме того, исследовались бурые угли Канско-Ачинского, Южно-Уральского и Челябинского бассейнов.

Таким образом, исследованию были подвергнуты угли различного петрографического состава, отличающиеся по степени восстановленности с охватом всех стадий метаморфизма, а также пробы углей, отобранных с различных глубин зоны естественного окисления.

1. Краткий обзор работ по изучению микротвердости углей

Прибор ПМТ-2 конструкции М. М. Хрущева и Е. С. Берковича был впервые в 1950 г. применен Е. М. Тайц и З. С. Тябиной для исследования микротвердости витринита углей Донбасса. Из полученных данных следует, что микротвердость витринита повышается от бурых углей к каменным. Потом снижается в области углей средней стадий метаморфизма и снова повышается при переходе от тоших углей к антрацитам.

1923 69

Центральная научная
БИБЛИОТЕКА
Академии наук Киргизской ССР

Аналогичная кривая изменения микротвердости витринита была получена в 1954 г. Ван-Кревеленом, а в 1956 г. японскими учеными Хонда и Санда.

А. И. Хрисанфовой и Г. Н. Соболевой прибор ПМТ-3 применялся для изучения изменений микротвердости углей при окислении.

2. Микротвердость компонентов группы витринита на различных стадиях метаморфизма

Исследования проводились в отраженном свете, по витриниту угля средних пластовых проб, в препаратах-брикетах для микроскопического исследования, изготовленных из угля измельченного до зерен — 1,5 мм.

Измерения проводились на угле свежееотобранных проб. В том случае, когда изучению подвергались брикеты, хранившиеся некоторое время в лаборатории, то их поверхность предварительно сошлифовывалась микроминутником М-7, с помощью которого снималось примерно 2—3 мм поверхности шлифа.

При проведении опытов оказалось, что на большинстве компонентов группы фюзинита и лейптинита, а также компонентов группы витринита низких и высоких стадий метаморфизма не остается заметного отпечатка алмазной пирамиды индентора. Это, по-видимому, объясняется большой упругостью вещества этих компонентов угля, способностью его восстанавливать прежнюю форму после удаления нагрузки. Упругие свойства углей создают значительные трудности при изучении микротвердости отдельных компонентов. Для устранения этого нами было найдено вещество, которое при нанесении на пирамиду алмазного индентора фиксирует глубину наибольшего погружения его в уголь в момент нагрузки, оставляя на объекте соответствующий след. Это вещество условно обозначается нами индикатором. В качестве последнего применялся автол, растворенный в серном эфире в концентрации 10 капель на 1 мл эфира. Этот раствор наносится ватой на пирамиду алмазного индентора. Описанный прием мы считаем важным методическим достижением, открывающим широкие возможности для исследования микротвердости всех микрокомпонентов, всей гаммы ископаемых углей, а также для исследования различных твердых остатков термической переработки ископаемых углей, например, обычных и специальных коксов. Перед испытанием точность настройки прибора систематически проверялась по эталону. В качестве эталона применялась каменная соль.

Наиболее детально были исследованы угли Кузбасса. Эти угли отличаются сложным петрографическим составом. Выход летучих веществ для них недостаточно точен как показатель

стадии метаморфизма. Поэтому стадия метаморфизма углей всех исследованных проб определялась по отражательной способности (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что в процессе метаморфизма от нулевой до третьей стадии метаморфизма микротвердость компонентов группы витринита постепенно возрастает в среднем от 18 до 30 кг/мм², а дальше, в интервале III—VI стадии метаморфизма, не меняется.

Учитывая, что на низких стадиях метаморфизма (от I₁ до III₁) отражательная способность витринита возрастает медленно, в ряде случаев микротвердость витринита может быть дополнительным признаком, позволяющим заметить возрастание

Таблица 1

Стадии метаморфизма и диагнезе углей

Приблизительное соответствие маркам углей Донбасса	Стадия метаморфизма	Обозначение стадий метаморфизма	Микротвердость группы витринита в кг/мм ²
Бурый	Нулевая	O ₁	от 12 до 14
		O ₂	" 13 до 18
		O ₃	" 14 до 19
Длиннопламенный	Первая	I ₁	от 17 до 20
		I ₂	19 до 23
		I ₃	23 до 28
Газовый	Вторая	II ₁	от 25 до 30
		II ₂	" 26 до 32
		II ₃	" 31 до 33
Жирный	Третья	III ₁	от 22
		III ₂	до 35
		III ₃	
Коксовый	Четвертая	IV ₁	от 22
		IV ₂	до 35
		IV ₃	
Отощенный спекающийся	Пятая	V ₁	от 22
		V ₂	до 35
		V ₃	
Тощий	Шестая	VI ₁	от 22
		VI ₂	до 35
		VI ₃	36—40
Антрацит	Седьмая	VII ₁	56—80
		VII ₂	80—127
		VII ₃	

стадии метаморфизма, в тех случаях, когда повышение отражательной способности еще не заметно. Начиная со стадии метаморфизма VI₃, то-есть при переходе от тощих углей к антрацитам, снова наблюдается значительное возрастание микротвердости.

Таким образом, микротвердость витринита в процессе метаморфизма от нулевой до седьмой стадии метаморфизма возрастает, примерно, в пять раз. При этом на низких стадиях метаморфизма наблюдается незначительное постепенное повышение микротвердости, а на высоких — резкое возрастание ее.

3. Изменение микротвердости в зависимости от различной восстановленности среды углеобразования

Известно, что одним из факторов, определяющим технологические свойства углей, является химический характер среды накопления, в которой происходило разложение органического вещества растений-торфообразователей. В настоящее время установлено, что угли одной и той же стадии метаморфизма и одинакового петрографического состава, обладают неодинаковой спекаемостью, что, по-видимому, обусловлено различной восстановленностью среды, в которой происходило накопление и превращение исходного растительного материала в торфяной стадии углеобразования.

В. В. Видавский в 1941 г. при исследовании химико-технологических свойств углей Донбасса впервые установил для этого бассейна наличие двух типов углей, отличающихся по степени восстановленности. Эта работа была продолжена сотрудниками ДонУГИ П. Я. Самойлович, Е. И. Зайцевой, М. М. Лившиц, В. З. Ершовым и Н. М. Двужильной. Ими также было установлено влияние на химико-технологические свойства углей химического характера среды разложения, обозначенное как «степень восстановленности». Большая степень восстановленности проявляется в лучшей спекаемости и в наличии в угле мелких включений сульфидов.

Двужильная и Лившиц, кроме того, установили, что угли более восстановленные характеризуются меньшей механической прочностью по сравнению с углями менее восстановленными.

И. И. Аммосовым в 1940 г. при исследовании петрографических особенностей углей Прокопьевско-Киселевского месторождения Кузбасса было установлено наличие двух типов углей, различных по степени восстановленности. При этом оказалось, что пробы углей, отобранных из пластов, расположенных в верхней и нижней части стратиграфической толщи, являются

более восстановленными по сравнению с пробами углей, отобранных из пластов, находящихся в средней части угленосной толщи.

При исследовании микротвердости выбирались пробы углей, находящихся на одной и той же стадии метаморфизма, но принадлежащие к различным по стратиграфическому положению пластам. При этом оказалось, что величина микротвердости компонентов группы витринита, проб углей, отличающихся по степени восстановленности, различна. Микротвердость витринита углей более восстановленных, независимо от стадии метаморфизма колеблется от 22 до 27 кг/мм², в то время как микротвердость витринита проб углей, менее восстановленных, изменяется в диапазоне от 30 до 35 кг/мм². Та же закономерность наблюдается при изучении проб углей Донецкого бассейна.

Таким образом, величина микротвердости может служить признаком, позволяющим определить степень восстановленности углей.

Методика определения типа угля по восстановленности в настоящее время еще недостаточно разработана. Поэтому использование микротвердости для быстрого определения степени восстановленности представляет обильный практический интерес.

4. Изменение петрографических особенностей вещества углей при окислении

Отрицательное влияние, которое окисление оказывает на свойства углей, ставит перед исследователями задачу детального изучения их свойств и особенностей. При окислении ископаемые угли изменяют свои технологические свойства и нередко превращаются в малоценное сырье, непригодное для нужд и потребностей народного хозяйства.

В настоящее время вопрос об окислении является предметом особого внимания, в результате которого накоплен значительный экспериментальный материал, изложенный в ряде работ (В. И. Забавин, Т. А. Кухаренко, И. В. Еремин, А. И. Хрисанфова и др.). Несмотря на это окисление углей изучено еще далеко недостаточно и всякое исследование в этой области является актуальным и имеет большое теоретическое и практическое значение.

В работе проведено изучение изменений микротвердости витринита при окислении в естественных условиях. При этом были исследованы 4 серии углей проб Кузбасса разных стадий метаморфизма, отобранных с различных глубин зоны окисления. На

каждой пробе было сделано по 20 отпечатков. Полученные данные сведены в таблицу № 2.

В результате работы установлено, что диапазон колебаний микротвердости при окислении органических веществ витринита очень сильно увеличивается, что подтверждает положение, установленное И. В. Ереминым о неравномерности распространения окисления в углях. Из таблицы видно, что микротвердость неокисленных проб колеблется незначительно (проба № 7 первой серии, проба № 12 второй серии, проба № 20 третьей серии, проба № 26 четвертой серии), в то время как микротвердость тех же углей окисленных проб изменяется в широком диапазоне. Это указывает на значительную дифференциацию вещества угля при его окислении.

После того, как было установлено, что микротвердость витринита быстро изменяется при окислении углей возникла необходимость в разработке способа количественной оценки изменений микротвердости. Для этого были исследованы 3 серии свежесобраных проб углей Кузбасса различных стадий метаморфизма. На каждой пробе угля были нанесены 100 отпечатков прибором ПМТ-3, полученные через определенные равные интервалы. Из 100 определений были вычислены средне-арифметические значения микротвердости и средне-квадратичные отклонения. В виду того, что микротвердость окисленных проб колеблется в широких пределах, все полученные значения были сгруппированы по равным интервалам изменений микротвердости. Каждый интервал равен 4 единицам. Полученные данные, выраженные в процентах, сведены в таблицу № 3. Изменение микротвердости, соответствующей длиннопламенному углю, представлено в серии проб № 5. Проба 26 — неокисленная. Микротвердость витринита колеблется в ней от 22 до 27 кг/мм². Среднее значение микротвердости равно 23,7 кг/мм². Микротвердость проб 25, 24 и 23, оторбанных из средней части зоны окисления, колеблется в широких пределах. Максимум колебаний наблюдается в витрините пробы 24. В угле проб 22 и 21, отобранных из верхней части зоны окисления пределы колебаний микротвердости витринита уменьшены, а средне-арифметические значения микротвердости снижаются.

Из таблицы 3 видно, что микротвердость витринита коксового угля пробы 6, представляющей неокисленный уголь, колеблется от 22 до 28 кг/мм². Микротвердость витринита окисленных проб изменяется в широком диапазоне. Однако максимум колебаний наблюдается в витрините пробы №1, отобранной из самой верхней части зоны окисления. Отсюда можно сделать предположение, что процессы окисления на средних стадиях метаморфизма происходят медленнее, чем на низких стадиях метаморфизма.

Таблица 2

Наименование и №№ проб	Глубина отбора проб в м	Марка угля	Среднее значение микротвердости в кг/мм ² в м	Пределы колебаний микротвердости в кг/мм ²
1	2	3	4	5

Серия первая

Красулинское месторождение, пл. Вышележащий:				
проба № 7	32,0	Д-Г	25,6	от 23,8 до 26,4
проба № 6	22,0	Д-Г	28,9	от 20,5 до 40,0
проба № 4	11,0	Д-Г	27,1	от 18,1 до 37,6
проба № 2	5,0	Д-Г	22,5	от 14,0 до 30,3
проба № 1	4,0	Д-Г	15,2	от 12,1 до 25,0

Серия вторая

Чертинское месторождение, шх. Чертинская:				
проба № 12	30,0	Г	31,1	от 29,1 до 32,0
проба № 11	10,0	Г	35,4	от 25,1 до 38,6
проба № 10	3,4	Г	33,6	от 18,1 до 40,0
проба № 9	1,3	Г	23,1	от 15,1 до 35,4
проба № 8	0,8	Г	17,4	от 12,5 до 26,7

Серия третья

Томь-Усинское месторождение:				
проба № 20	33,0	К	28,7	от 27,5 до 30,2
проба № 18	23,0	К	24,5	от 13,5 до 32,8
проба № 17	17,0	К	26,4	от 14,6 до 40,2
проба № 16	14,0	К	25,1	от 18,8 до 30,5
проба № 15	12,0	К	20,0	от 12,8 до 35,4
проба № 14	9,0	К	22,0	от 14,1 до 40,1
проба № 13	6,0	К	23,4	от 12,6 до 46,5

Серия четвертая

Николаевское месторождение, Шуштулепская:				
проба № 26	43,0	Т	30,4	от 28,1 до 31,5
проба № 25	26,0	Т	27,5	от 22,7 до 38,6
проба № 23	20,0	Т	26,1	от 15,3 до 40,0
проба № 22	14,0	Т	23,5	от 18,5 до 35,6
проба № 21	7,0	Т	21,3	от 13,5 до 27,1

Серия 5. Кузбасс, Граматеинский разрез, стадия метаморфизма I₃ марка Д

№.№ про- бы	Глубина отбора проб в м	Среднее значе- ние микро- твердо- сти в кг/мм ²	Средне- квadra- тное откло- нение	Изменение микротвердости в %											Свыше 100 кг мм ²
				11—15 кг мм ²	16—20 кг мм ²	21—25 кг мм ²	26—30 кг мм ²	31—35 кг мм ²	36—40 кг мм ²	41—45 кг мм ²	46—50 кг мм ²	Свыше 50 кг мм ²			
1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
26	35	23,7	1	—	—	95	5	—	—	—	—	—	—		
25	17	29,6	4,2	—	5	30	25	30	10	—	—	—	—		
24	15	26,8	12	9	8	24	24	10	14	6	—	—	—		
23	9	25,2	4,6	—	17	45	23	10	3	1	3	1	—		
22	5	21,4	2,1	4	52	40	4	—	—	—	—	—	—		
21	4,5	19,2	2	8	60	30	2	—	—	—	—	—	—		
Серия 6. Кузбасс шахта Маненка, стадия метаморфизма IV ₂ , марка К.															
6	63	26,5	1,5	—	—	10	90	—	—	—	—	—	—		
5	38	23,6	3	2	6	42	48	2	—	—	—	—	—		
4	31	25,2	3,5	—	4	48	38	8	—	—	—	—	—		
3	26	23,8	4	2	22	30	40	6	—	—	—	—	—		
2	21	21,2	4	6	42	32	14	4	—	—	—	—	2		
1	16	23,4	16	18	25	30	14	3	4	2	—	—	2		
Серия 7. Шахта Шушгулепская. Стадия метаморфизма VI ₂ , марка Т.															
38	80	32,5	1,2	—	—	—	5	95	—	—	—	—	—		
37	60	28,4	6,1	—	15	17	22	35	9	2	—	—	—		
36	43 по уклону	27,3	13,4	4	15	33	18	12	9	4	3	—	2		
35	35 по уклону	25,1	13	2	19	46	25	6	—	—	1	—	1		
34	10	24,6	4	2	10	48	34	6	—	—	—	—	—		
33	5	24,3	6,4	3	15	53	18	5	3	1	—	—	—		

Микротвердость витринита тощего угля неокисленной пробы № 38 изменяется от 29 до 35 кг/мм². Микротвердость витринита окисленных проб также колеблется в широких пределах. Максимум колебаний имеет уголь пробы 36, 35 и 33.

Таким образом установлено, что при окислении угля в условиях естественного залегания пластов, происходит быстрое изменение микротвердости витринита, вероятно, связанное с изменением его молекулярной структуры. При этом диапазон колебаний микротвердости очень сильно увеличивается, в то время как в неокисленном угле колебания микротвердости незначительны и выражены в 5—6 кг/мм².

Установленный характер изменений микротвердости может быть использован как хороший диагностический признак отличия окисленных углей от неокисленных, а также для характеристики глубины зоны окисления при проведении геолого-разведочных работ.

5. Микротвердость компонентов группы фюзинита

Компоненты, объединяемые в группу фюзинита, характеризуются большим разнообразием строения, которое особенно отчетливо можно наблюдать при изучении их в отраженном свете с применением масляной иммерсии при увеличении микроскопа от 400 до 700. Это различие выражается в оттенках цвета, в отражательной способности, в высоте микрорельефа, в форме залегания и других особенностях. Общим признаком для всех этих микрокомпонентов, позволяющим объединить их в одну группу, является черный непрозрачный цвет в тонких шлифах и отсутствие спекаемости на всех стадиях метаморфизма. Кроме того, рядом авторов установлено, что компоненты группы фюзинита дают меньший выход летучих веществ и первичной смолы, но содержат больше углерода, чем другие петрографические компоненты. Одновременно установлено отошающее действие компонентов этой группы при коксовании. Однако группу фюзинита не следует рассматривать как вредные примеси при коксовании. Работы, проведенные в Лаборатории петрологии угля ИГИ АН СССР и ВУХИНа подтвердили, что компоненты группы фюзинита при оптимальном содержании способствуют увеличению крепости кокса, а также оказывают влияние на его пористость и трещиноватость.

При исследовании микротвердости компонентов группы фюзинита отпечатки наносились с применением «индикатора». В работе установлено, что микротвердость этой группы мало изменяется в процессе метаморфизма. Однако, отдельные микрокомпоненты, входящие в эту группу, имеют микротвердость, которая колеблется в широких пределах. Так, например, микротвердость фюзинита изменяется в диапазоне от 30 до 80 кг/мм²

на одной и той же стадии метаморфизма, а микротвердость семифюзинита от 20 до 40 кг/мм². Микротвердость микринита колеблется от 25 до 70 кг/мм². Наибольшей микротвердостью из группы фюзинита обладает склеротинит (округло-угловатые тела). В склеротините выделено две разновидности. Первая характеризуется неровной поверхностью покрытой углублениями округлой или угловатой формы, напоминающими клеточное строение растений. Форма их округло-угловатая или округлая. Микротвердость этой разновидности колеблется от 150 до 230 кг/мм². Этот тип округло-угловатых тел предлагаем назвать жемчужинит в память крупнейшего углепетрографа Ю. А. Жемчужникова. Ко второй разновидности относятся тела с гладкой поверхностью и более угловатой формой. Микротвердость их изменяется от 80 до 180 кг/мм².

Природа округло-угловатых тел до настоящего времени окончательно не установлена. Однако происхождение их из каких-то растительных остатков у большинства углепетрографов не вызывает сомнения. Е. Штах считает их спорами. И. И. Аммосов предполагал, что природа округло-угловатых тел различна, т. е. одни из них могут быть склероциями грибов, другие сосудистыми пучками. Е. С. Корженевская полагает, что округло-угловатые тела являются выделениями растений подобными смол или камедей. К тому же выводу приходит и Г. М. Луцихин. Н. А. Иванчин-Писарева считает, что эти тела представляют собой участки механической ткани растений, наиболее устойчивые и менее подверженные разрушению. Л. П. Нефедьева толкует их как спорангии. А. Дюпарк считает, что происхождение склероций различное, т. к. встречаемые склероции представляют большое разнообразие форм, видов и размеров. Дюпарк высказал предположение, что склероции это таллофиты (грибы, морские водоросли, лишайники), возможно также, по его мнению, что это смолистые зернышки или даже остатки животного мира.

Различие в форме, отражательной способности и большие колебания в микротвердости наводят на мысль, что происхождение округло-угловатых тел различное. Мы считаем, что, по видимому, одни из них образовались из склероций грибов, другие из участков механической ткани с сильно утолщенными клеточными стенками. Возможно также, что некоторые округло-угловатые тела, характеризующиеся наибольшей твердостью, происходят из каменистых клеток, которые часто встречаются в различных частях растений, в тех местах, где необходимо увеличить прочность растительных тканей. В состав оболочки каменистых клеток, кроме лигнина, входят минеральные вещества, а именно, соли извести и кремнезема сильно повысившие их твердость.

В настоящее время по Международной терминологии углей и в номенклатуре, принятой на Всесоюзном совещании углепетрографов, для округло-угловатых тел предложен термин склеротинит. Однако, ввиду отсутствия единого мнения на их происхождения, термин склеротинит считаем неудачным и предлагаем его заменить на полигенитит (от греческих слов poly — много, genes — происхождение).

После того, как было установлено, что микротвердость группы фюзинита значительно колеблется у отдельных микрокомпонентов, нами было проведено разделение в тяжелых жидкостях пробы угля Кузбасса шахта 3, пласт Мощный по методике, разработанной И. И. Аммосовым. Данная проба содержала свыше 60% компонентов группы фюзинита. Полученные результаты сведены в таблицу 4. Было установлено, что микротвердость компонентов группы фюзинита связана с удельным весом фракции. Как видно из таблицы в легкие фракции с удельным весом 1,28 (всплывшая и осевшая) концентрируются компоненты группы фюзинита, микротвердость которых колеблется от 20 до 40 кг/мм², т. е. главным образом семивитринит и семифюзинит. В фракции с средним удельным весом от 1,30 до 1,36 концентрируются в основном фюзинит и микринит, а в самые тяжелые с удельным весом 1,39 и 1,40 — склеротинит.

Таким образом, данный метод позволяет выделить отдельные микрокомпоненты группы фюзинита. Как видно из проведенного исследования, компоненты, объединяемые в группу фюзинита, кроме визуальных признаков, наблюдаемых в микроскопе, обладают различной микротвердостью. Поэтому компоненты данной группы нуждаются в дальнейшей дифференциации и глубоком изучении их химико-технологических свойств. При дифференциации отдельных микрокомпонентов группы фюзинита микротвердость может быть важным диагностическим признаком.

Таблица 4

Наименование	Удельный вес фракции	Микротвердость в кг/мм ²
Кузбасс шахта 3 пласт Мощный	всплывшая	1,28
	осевшая	1,28
	»	1,30
	»	1,32
	»	1,34
	»	1,36
	»	» 1,38 + 1,39
	»	» 1,40
		от 20,6 до 35,0
		от 22,7 до 39,0
		от 26,5 до 40,8
		от 32,0 до 59,2
		от 38,8 до 75,6
		от 42,0 до 89,4
		от 57,2 до 120
		от 80 до 200

6. Микротвердость компонентов группы лейптинита

Компоненты группы лейптинита характеризуются небольшой микротвердостью. Для первой стадии метаморфизма, соответствующей длиннопламенному углю, величина микротвердости колеблется от 12,6 до 15,4 кг/мм².

Для углей газовых (II стадии метаморфизма) микротвердость спор и смоляных телец изменяется от 13,4 до 19,6 кг/мм², т. е. наблюдается некоторое увеличение микротвердости.

В углях третьей стадии метаморфизма также наблюдается незначительное повышение микротвердости, которая колеблется на этой стадии от 15,6 до 24,3 кг/мм².

К сожалению, прибор ПМТ-3 не позволяет применять поляризованный свет, а компоненты группы лейптинита, начиная с четвертой стадии становятся неотличимы от вещества группы витринита. Поэтому дальнейшее изменение микротвердости спор и смоляных телец проследить не удалось.

7. Микрохрупкость углей

Результаты исследования физико-механических свойств углей находят все большее применение при оценке свойств угля как геологического тела и как сырья для технологической переработки.

Хрупкость является важным показателем для характеристики физико-механических свойств углей, т. к. дает представление о механической устойчивости углей по отношению к различным разрушающим факторам.

Понятие хрупкости часто смешивают с механической прочностью. Однако это неверно, так как понятие механической прочности является более широким и, по-видимому, зависит как от твердости, так и от хрупкости углей.

На возможность исследования хрупкости веществ методом вдавливания алмазной пирамиды впервые указал Бернгард. Он показал, что для хрупких веществ можно подобрать нагрузку, при которой все полученные отпечатки будут без трещин. При постепенном увеличении нагрузки количество отпечатков с трещинами будет увеличиваться, и, наконец, при определенной нагрузке для каждого вещества все полученные отпечатки будут с трещинами.

Н. Ю. Икорникова разработала методику исследования микрохрупкости корунда. Эта методика с небольшими изменениями была применена нами для исследования микрохрупкости углей.

Исследование хрупкости (точнее микрохрупкости) проводилось по аншлифам, изготовленным из кусков угля. На каждой

пробе угля наносилось по 100 отпечатков, при разных нагрузках. Для каждой нагрузки подсчитывалось число отпечатков с трещинами и без них. Полученные результаты сведены в табл. 5.

Из табл. 5 видно, что угли крайнего метаморфического ряда, а именно I и II, а также VI и VII стадий метаморфизма являются менее хрупкими, чем угли средней стадии метаморфизма. Максимум хрупкости имеют угли коксовые. Кроме того, пробы углей одной и той же стадии метаморфизма более восстановленные характеризуются большей микрохрупкостью, чем пробы углей менее восстановленные.

Таким образом, величины микротвердости и микрохрупкости витринита могут служить признаками, позволяющими определять степень восстановленности углей.

Обсуждение результатов

На основании проведенного исследования можно предположить, что изменение микротвердости петрографических компонентов есть внешнее выражение изменений, происходящих в их тонкой молекулярной структуре. Молекулярная структура углей до настоящего времени изучена еще далеко недостаточно. Это в значительной степени связано с неоднородностью ископаемых углей, которая создает большие трудности при изучении их молекулярной структуры. Поэтому выдвинутые в этой главе положения можно рассматривать только как гипотетические.

Ряд современных ученых считают, что вещество угля является смесью высокомолекулярных соединений, состоящих из конденсированного ядра ароматической структуры и связанных с ядром сложных атомных группировок — периферийной части, в состав которых кроме углерода, входят атомы водорода, кислорода, азота, серы и фосфора.

В. И. Касаточкин с сотрудниками и Л. Л. Нестеренко высказали предположение, что структурные единицы 3-х основных групп петрографических компонентов отличаются между собой по степени конденсированности ядер и по количеству и характеру периферийных группировок. Л. Л. Нестеренко считает, что макромолекула фюзинита имеет наиболее конденсированное ядро и самую короткую периферийную часть, в то время как макромолекула лейптинита имеет, наоборот, наименее конденсированное ядро и более развитые боковые цепи. Макромолекула витринита по конденсированности ядра и количеству периферийных цепей занимает промежуточное положение.

При сравнении микротвердости 3-х основных групп компонентов можно видеть, что наибольшую микротвердость имеют компоненты группы фюзинита, наименьшую — компоненты груп-

Таблица 5

Стадия метаморфизма	Марка угля	Степень восстановленности	Нагрузка на индентор, в г.	Общее количество отпечатков	Количество отпечатков без трещин	Количество отпечатков с трещинами
I	Д	—	10	100	100	—
			20	100	90	10
			50	100	60	40
II	Г	менее восстановленный	10	100	90	10
			20	100	70	30
			50	100	50	50
II	Г	более восстановленный	10	100	70	30
			20	100	60	40
			50	100	20	80
III	Пж	менее восстановленный	10	100	70	30
			20	100	40	60
			50	100	—	100
III	Пж	более восстановленный	10	100	30	70
			20	100	20	80
			50	100	—	100
IV	К	менее восстановленный	10	100	50	50
			20	100	30	70
			50	100	—	100
IV	К	более восстановленный	10	100	20	80
			20	100	—	100
			50	100	—	100
V	Пс	менее восстановленный	10	100	70	30
			20	100	50	50
			50	100	—	100
V	Пс	более восстановленный	10	100	30	70
			20	100	10	90
			50	100	—	100
VI	Т	менее восстановленный	10	100	90	10
			20	100	90	10
			50	106	50	50
VI	Т	более восстановленный	10	100	60	40
			20	100	50	50
			50	100	10	60
VII	Антрацит	—	10	100	100	—
			20	100	100	—
			50	100	100	—

пы лейптинита, а компоненты группы витринита занимают промежуточное положение.

Работами Махадевана, В. И. Касаточкина, Ван Кревелена и др. было установлено, что в процессе метаморфизма происходит увеличение размера углеродных сеток, за счет разложения периферийных группировок. При этом протекают реакции как деструкции, так и полимеризации и поликонденсации, которые приводят к формированию более плотной тонкой структуры. Однако структура углей при данном уплотнении может быть подвижной или жесткой. Жесткость структуры связана с присутствием кислорода, который образует поперечные связи между двумя близлежащими слоями углерода (углеродных ароматических сеток), в результате чего ограничивается возможность взаимных перемещений слоев. Наоборот, наличие в цепях водорода придает большую подвижность структуре.

Рядом исследователей установлено (Л. Л. Нестеренко, Е. М. Тайц, А. И. Хрисанфова и др.), что угли низких стадий метаморфизма содержат значительное количество кислорода, придающего жесткость структуре. Поэтому угли бурые и длиннопламенные при невысокой микротвердости обладают значительной пластичностью вещества.

Нестеренко полагает, что, начиная с III стадии метаморфизма, количество кислорода в боковых цепях молекул витринита уменьшается и является минимальным в углях марки К (т. е. на IV стадии метаморфизма), а количество водорода увеличивается. Поэтому в соответствии с этим представлением можно предположить, что на средних стадиях метаморфизма боковые цепи приобретают подвижность, межмолекулярные промежутки увеличиваются, что создает возможность перемещения углеродных сеток. Этим, вероятно, можно объяснить хрупкость и трещиноватость углей средних стадий метаморфизма (максимум хрупкости в IV стадии метаморфизма).

Таким образом, при метаморфизме, по-видимому, происходит два процесса: первый — увеличение размеров углеродных сеток за счет разложения боковых цепей и процесс упорядоченности сеток. Первый процесс протекает монотонно. Наряду с этим идет второй процесс, состоящий в уменьшении кислорода в боковых цепях, содержание которого достигает минимума для углей IV стадии метаморфизма. Содержание водорода в боковых цепях при этом наоборот, увеличивается. Одновременное протекание двух структурно-химических процессов, один из которых приводит к уплотнению и упрочнению вещества, а другой, наоборот, сообщает структуре подвижность, по-видимому, приводит к тому, что микротвердость компонентов группы витринита от II до VI стадии метаморфизма изменяется мало. Зна-

ительное возрастание микротвердости наблюдается только в интервале от VI₃ до VII₂ стадий метаморфизма.

При переходе от тощих углей к антрацитам относительное содержание кислорода в боковых цепях снова возрастает в результате чего процесс уплотнения приводит к резкому увеличению твердости вещества угля.

Микротвердость группы фюзинита мало изменяется в процессе метаморфизма. Это, по-видимому, объясняется тем, что глубокие изменения вещества фюзинита происходят еще на ранних стадиях углеобразования. Поэтому компоненты этой группы имеют более жесткую структуру, чем вещество компонентов группы витринита и особенно лейптинита.

Значительные колебания микротвердости группы фюзинита в углях одной и той же стадии метаморфизма, вероятно, связаны с происхождением каждого микрокомпонента этой группы из различных растений и в различных условиях превращения.

В ы в о д ы

1. Разработана методика получения четких отпечатков на всех петрографических компонентах углей, путем применения «индикатора».

2. Установлено, что петрографические компоненты угля значительно отличаются между собой по микротвердости. При этом наибольшую микротвердость имеют компоненты группы фюзинита, наименьшую — компоненты группы лейптинита. Компоненты группы витринита занимают промежуточное положение.

3. Наиболее показательным изменением микротвердости витринита. Она изменяется в процессе диагенеза, эпигенеза и метаморфизма. Изменение микротвердости витринита на низких и высоких стадиях метаморфизма может быть использовано, как один из признаков определения стадий метаморфизма.

4. Микротвердость витринита может быть признаком, позволяющим установить тип угля по восстановленности, при равной стадии метаморфизма и отсутствии окисления. В работе показано, что микротвердость углей более восстановленных колеблется от 22 до 27 кг/мм² независимо от стадии метаморфизма, а микротвердость углей менее восстановленных изменяется в диапазоне от 30 до 35 кг/мм².

5. В работе показано, что при окислении углей в условиях естественного залегания пластов происходит быстрое изменение микротвердости витринита. При этом пробы окисленных углей имеют микротвердость, которая колеблется в широких пределах, в то время как максимум колебаний в микротвердости для неокисленных проб составляет 5—6 кг/мм². Поэтому данный метод может быть использован для отличия окисленных проб углей от неокисленных.

6. В работе установлено, что микротвердость группы фюзинита мало изменяется в процессе метаморфизма. Однако отдельные микрокомпоненты, входящие в эту группу, имеют микротвердость, которая колеблется в широких пределах. Например, микротвердость фюзинита изменяется в диапазоне от 30 до 80 кг/мм² на одной и той же стадии метаморфизма, а микротвердость семифюзинита от 20 до 40 кг/мм². Микротвердость микринита колеблется от 25 до 70 кг/мм². Наибольшей микротвердостью обладает склеротинит — от 80 до 230 кг/мм².

7. Компоненты группы лейптинита имеют сравнительно небольшую микротвердость, которая незначительно возрастает в процессе метаморфизма от I до III стадии.

8. Группа витринита имеет различную микрохрупкость, изменяющуюся в зависимости от стадии метаморфизма и степени восстановленности. При этом угли крайнего метаморфического ряда являются относительно пластичными, а угли средних стадий метаморфизма — хрупкими. Максимум хрупкости имеют угли IV стадии метаморфизма, т. е. коксовые. Угли более восстановленные на всех стадиях метаморфизма характеризуются большей микрохрупкостью, по сравнению с углями менее восстановленными.

9. Высказано предположение о причине изменений микротвердости петрографических компонентов углей в зависимости от стадии метаморфизма на основе современных представлений о молекулярной структуре угля.

Считаю своим долгом выразить глубокую благодарность руководителю работы профессору И. И. Аммосову, а также кандидату технических наук И. В. Еремину за консультации и ценные замечания.

За помощь по оформлению диссертации выражаю благодарность сотрудникам Лаборатории петрологии Э. Э. Иванову, В. В. Костиковой, А. И. Николаевой, Б. Г. Зубанову, Б. Н. Варенцову и Р. И. Графовой, а также зав. лабораторией Центрально-Казахстанского геологического управления А. А. Кузнецовой.

**Список печатных работ автора,
отражающих основные положения диссертации**

1. И. И. Аммосов, С. А. Мусял. Изменение микротвердости углей в зависимости от их происхождения. Изв. АН СССР, отделение технических наук, № 11, 1958 г.
2. С. А. Мусял. Микротвердость ископаемых углей. Труды ИГИ, т. VIII, 1959 г.
3. И. И. Аммосов, С. А. Мусял. Отражательная способность, как одна из главных особенностей ископаемых углей, ДАН, т. 84, 1952 г.
4. И. И. Аммосов, С. А. Мусял. Микротвердость петрографических компонентов ископаемых углей.
Перспект работ по геологии горючих ископаемых. АН СССР, 1959 г.