

УДК 622.02 (075.8)

Султаналиева Рая Мамакеевна

канд. физ.-мат. наук, проф. КГТУ им. И. Раззакова

г. Бишкек, КР

E-mail: raia-ktu@mail.ru

РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Аннотация

В статье рассматриваются остаточные микронапряжения в горных породах на уровне кристаллической решетки до и после воздействия тепловых полей. Приводятся результаты экспериментальных исследований структуры и остаточных напряжений рентгенографическим методом.

Ключевые слова

остаточные напряжения, рентгенографический метод, горные породы, термообработка, прочность

Остаточные напряжения могут быть исследованы разными методами, среди них немаловажный интерес представляет рентгенографический метод.

Напряжения остающиеся в породе после какого – либо физического воздействия, будут называться остаточными. Различают остаточные генетические напряжения: напряжения, имеющиеся в породе до воздействия, т. е. обусловленные генезисом породы, и остаточные, наведенные напряжения, возникшие в породе после физической обработки.

Согласно разработанной Н.Н. Давиденковым классификации остаточных напряжений существуют напряжения трех родов [1]. Напряжения первого рода – зональные – уравниваются в объеме всего образца, второго рода – в объеме единичных кристаллов, третьего рода – в пределах некоторого количества атомов.

В горных породах остаточные напряжения могут формироваться при их образовании и длительном нагружении. Рентгенографический метод в основном используется при исследованиях остаточных напряжений в поверхностных слоях. Методы рентгеноструктурного анализа давно применяются в областях металлургии с целью установить внутренние напряжения остающиеся во многих изделиях в результате ряда технологических процессах. Применения этого метода горным породам показало, что и в таких природных минеральных агрегатах существуют остаточные микроскопические напряжения. Речь идет о накапливающейся минеральных агрегатах энергии упругой деформации [2].

Метод рентгеноструктурного анализа основан на изучении дифракционной картины рассеяния рентгеновских лучей исследуемым веществом, которая зависит от взаимного расположения атомов вещества в пространстве. Зная законы рассеяния рентгеновских лучей веществом, по интерференционной картине можно получить данные о структуре вещества и изменении в процессе деформации или после нее и т.д.

Известно, что по типу структур все вещества подразделяются на кристаллические и аморфные. В кристаллических веществах, какими являются большинство горных пород, в отличие от аморфных, атомы располагаются в определенном порядке, который периодически повторяется в трех направлениях.

В отличие от отражение видимого света рентгеновские лучи «отражаются» только в том случае, если выполняется уравнение Вульфа-Брэгга

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (1)$$

Здесь n – порядок дифракции, λ – длина волны рентгеновских лучей, θ – угол рассеяния.

При известной длине волны λ , каждому значению межплоскостного расстояния d будет соответствовать свое значение угла θ , измеряя который можно определить d .

Рентгенографическое определение деформаций и напряжений в минералах позволяет изучить природу физических процессов, протекающих в горной породе, подвергающейся воздействию внешних полей (механических, тепловых и т.д.).

Рентгенографическое определение микродеформации основано на следующем физическом процессе. Считать в соответствии с законом Гука, относительное изменение межплоскостного расстояния d_1 равна:

$$\frac{\Delta d_1}{d} = \frac{\sigma}{E} \quad (2)$$

где σ – величина приложенного напряжения МПа, E – модуль упругости МПа.

Если на образец перпендикулярно оси приложения нагрузки направить пучок монохроматических рентгеновских лучей, то, анализируя дифракционные пики под большими углами, можно определить изменение межплоскостного расстояния d_2 (или близкого к нему), связанного с d_1 через коэффициент Пуассона:

$$\frac{\Delta d_2}{d_2} = -\mu \frac{\Delta d_1}{d_1} = -\mu \frac{\sigma}{E} \quad (3)$$

Изменение межплоскостного расстояния на величину Δd вызывает сдвиг брэгговского отражения на величину $\Delta \theta$ в соответствии с уравнением:

$$\Delta \theta = -\frac{\Delta d}{d} \cdot \operatorname{tg} \theta_0 \quad (4)$$

Подставляя полученное выше выражение $\Delta d / d$, получим:

$$\Delta \theta = \mu \frac{\sigma}{E} \cdot \operatorname{tg} \theta_0 \quad (5)$$

Определяя смещение линий на рентгенограмме, обусловленное действием растягивающих нагрузок, и рассчитав по этому смещению изменение угла $\Delta \theta$, напряжение σ вычисляют по формуле:

$$\sigma = \frac{E}{\mu} \cdot \operatorname{ctg} \theta_0 \cdot \Delta \theta \quad (6)$$

Для оценки величины остаточных напряжений в метаморфических горных породах используют метод наклонной съемки [3,4].

Наблюдаемое в случае остаточных напряжений изменение положения дифракционного пика, выражаемое через величину $\Delta(2\theta)$, связано с относительной деформацией следующим образом:

$$\frac{\Delta d}{d} = -\operatorname{ctg} \theta_0 \frac{\Delta(2\theta)}{2} \quad (7)$$

$$\text{Отсюда} \quad \sigma_{\psi} = \frac{E \cdot \operatorname{ctg} \theta_0 (2\theta_0 - 2\theta_{\psi})}{2(1+\mu) \cdot \sin^2 \psi} \quad (8)$$

где E и μ – модуль упругости и коэффициент Пуассона породы.

По данной методике нами исследовались структурные состояния и остаточные напряжения в образцах, извлеченных из разных месторождений в виде кернов, в исходном состоянии и после термической обработки. При нагревании в породе развиваются термомеханические напряжения, идет процесс испарение влаги, релаксация остаточных напряжений и т.д. Термообработка образцов проводилась для оценки влияния теплового поля и остаточных напряжений на механические свойства, особенно на прочность горных пород. Ниже приводятся деформационные характеристики горных пород до и после термообработки.

Таблица 1

Характеристики деформационных свойств горных пород

Название и место отбора породы	Состояние породы	Номер образца	Модуль упругости $E \cdot 10^{-5}$, МПа	Коэффициент Пуассона, μ
Песчаник (Рогун)	исходное	2	0,39	0,20
	после термообработки	1	0,28	0,30
	после термообработки	4	0,33	0,30
Гранит (Кыртабылгы)	исходное	10	0,85	0,25
	после термообработки	6	0,20	0,30
Мрамор (Новороссийск)	исходное	12	0,76	0,18
	после термообработки	7	0,30	0,40
Кварц (Вост. Коунрад шахта №6, г.220)	исходное	13	0,75	0,23
	исходное	14	0,75	0,23
Гранит (Вост. Коунрад шахта №6, г.150)	исходное	15	0,43	0,27
	исходное	16	0,43	0,27

Результаты структурных параметров и остаточных микронапряжений получены в лаборатории “Исследования физических процессов в горных породах” МГГИ (г. Москва) с использованием рентгеновского дифрактометра типа ДРОН-2 и ЭВМ, специальной программы.

На основе анализа положение и формы профилей дифракционных пиков с использованием Фурье-анализа распределения интенсивности получена информация о среднем размере блока мозаики D , о величине относительной деформации кристаллической решетки ε , плотности дислокации на границе блока ρ_D , плотности дислокации внутри блока мозаики ρ_ε , средней плотности дислокации ρ_{cp} , напряжения внутри зерна $\rho_{в.з}$, напряжения на границе зерна $\sigma_{2.3}$, вероятности дефектов упаковки α и двойниковых дефектов γ , расстояние между дислокациями на границе блока r_D , расстояния между дислокациями внутри блока r_ε . Результаты измерения этих параметров приведены в табл. 2. На основе результатов исследований структуры и остаточных напряжений можно сделать следующие выводы:

1. В результате термической обработки в неоднородных горных породах происходит значительное уменьшение модуля упругости.

2. Плотность дислокации на границе блока мозаики зависит обратно пропорционально от размера блока.

3. В кальцитах плотность дислокаций от термообработки увеличивается в 2-5 раз, растягивающие остаточные напряжения III рода преобразуются в значительные сжимающие напряжения, напряжения растяжения внутри и на границах зерен уменьшаются в 2-3 раза.

Параметры структуры и остаточных напряжений минералов горных пород

Название и место отбора породы	Название минерала	Состояние и номер образца	D, \dot{A}	$\rho_0 \cdot 10^{-10}$ см ²	η_D \dot{A}	η_ε \dot{A}	$\varepsilon \cdot 10^{-3}$	$\rho_k \cdot 10^{-12}$ см ²	$\rho_{op} \cdot 10^{-12}$ см ²	$\alpha \cdot 10^3$	$\gamma \cdot 10^3$	$\sigma_{в.з} \cdot 10^3$ Мбар	$\sigma_{с.з} \cdot 10^3$ Мбар
Гранит Кырлабылга	кварц	исходн.,10	254	47			-8,8	123	7,6	27	51	40	1,64
		после т.о.,7	398	19			-3,6	18	1,8	16	7,4	10,3	0,61
Мрамор Новороссийск	кальцит	исходн.,12	566	9,4			9,2	17,5	1,3	2000	3000	11	0,80
		после т.о.,7	324	29			-8,2	17,1	2,2	2000	3000	4,8	0,26
Песчаник Рогун	кальцит	исходн.,2	784	5,0			8,9	15	0,85	2000	3000	1,4	6,46
		после т.о.,4	239	52,0			-1,3	47	5,0	2000	2900	8,6	1,95
	кварц	исходн.,2	651	7,1			-0,68	0,57	0,20	2,8	3,3	0,61	5,5
		после т.о.,4	594	8,5			-1,4	2,35	0,45	8,3	9,4	2,2	19
		исходн.,2 ¹	385	20,2	223	78	-3,97						
Кварц Вост. Коунрад	кварц	после т.о.,1	376	21,2	217	76	-3,42						
		пос. т.о.,4 ¹	535	10,5	309	73	4,11						
Гранит Вост. Коунрад	кварц	исходн.,2	458	14,3	264	150	-2,93						
		исходн.,2	511	11,5	295	302	-1,48						
Гранит Вост. Коунрад	кварц	исходн.,2	554	9,8	320	171	-1,99						
		исходн.,2	688	6,3	397	116	-3,02						

Список использованной литература:

1. Давиденков Н.Н. Об измерении остаточных напряжений/ Н.Н.Давиденков // Заводская лаборатория, №2.- 1950.- С.188-192.
2. Зильбершмидт М.Г. Механизм изменения структурного состояния горных пород при внешнем воздействии // Физические свойства горных пород и процессов: Материалы Всесоюзной конф. М., 1984.
3. Freedman M.X-ray analysis of residual elastic strain in quartzose rocks.-Proc. 10 th Symp. Rock Meck. Fustintex, New-Iork, 1972.
4. Комяк Н.И., Мясников Ю.Г. Рентгеновские методы и аппаратура для определения напряжений. М.: Машиностроение, 1972.

© Р.М.Султаналиева, 2015

УДК553.981.2

Трофимова Галина Ивановна

канд. г.-м., наук, доцент ТГАСУ,

г. Ленинск-Кузнецкий, РФ

E-mail: galcka.trofimova2013@yandex.ru

Черемисина Варвара Геннадьевна

канд. пед. наук, доцент КРИПКиПРО,

г. Кемерово, РФ

E-mail: warwara82@mail.ru

**ОРГАНИЗАЦИЯ В КУЗБАССЕ ПРОМЫСЛОВОЙ ДОБЫЧИ МЕТАНА ИЗ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ
КАК СОВРЕМЕННАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНАЯ ЗАДАЧА**

Спутник шахтёрской профессии – метан, на протяжении долгого времени рассматривался с точки зрения обеспечения безопасности горных работ. И только недавно в нашей стране заговорили о метане совершенно в другом – технологическом, экологическом, социальном и экономическом аспектах, как о возможном и необходимом энергоносителе.

Рост мирового энергопотребления при ограниченных ресурсах первичных энергоносителей обуславливает необходимость рационального использования традиционных и нетрадиционных источников энергии с учетом экологических последствий их добычи и применения. В русле рассматриваемого вопроса актуальным на сегодняшний день является исследование свойств природного газа – метана.