

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ ПОСЛЕ СДВИГОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

© 2002 г. С. С. Абсалямов, В. Н. Хайбуллин

Башкирский государственный университет, г. Уфа

Поступила в редакцию 22.01.2001 г.

Приведены результаты экспериментального изучения температурной зависимости намагниченности насыщения $\sigma_s(T)$ железистых кварцитов Кольского полуострова после сдвигового воздействия под давлением. Присутствие ступеньки на кривой нагревания на воздухе маггемитизированных магнетитов из железистых кварцитов после обработки их в условиях сдвигового воздействия под давлением обусловлено фазовым переходом маггемита в гематит с более низким значением намагниченности насыщения.

Ключевые слова: давление, сдвиг, намагниченность, кварцит.

Известно, что сдвиговое воздействие под давлением {ВД + СД) приводит к резкому изменению физических свойств твердых тел: изменяются механические, магнитные и электрические свойства [Gleiter, 1995]. После ВД + СД наблюдаются значительные изменения даже таких фундаментальных свойств, как намагниченность насыщения и температуры Кюри ферромагнитных металлов и сплавов [Mulyukov, Korznikova, Nikitin, 1996]. Систематическое изучение физических свойств горных пород в условиях сдвиговой деформации под давлением проведено Ярославским М.А. [Ярославский, 1982]. В работе [Валеев, Абсалямов, 2000] приведены результаты изучения закономерностей разрушения остаточной намагниченности магнетитовых руд после ВД + СД. Установлено значительное уменьшение (до 30%) величины намагниченности насыщения магнетита после ВД + СД [Абсалямов, Каримов, 1999]. При нагреве мелких частиц гематита, полученных ВД + СД, в определенной области температур происходит резкий рост намагниченности насыщения, что объясняется частичным восстановлением гематита до магнетита [Абсалямов, Мulyukov, 2000]. Учитывая, что степень маггемитизации магнетита образцов железистых кварцитов зависит от условий регионального динамометаморфизма, большой интерес для расшифровки природы физико-химических процессов преобразования горных пород представляет изучение их магнитных свойств после сдвигового воздействия под давлением.

В нашей работе приведены данные исследования магнитных свойств и температурной зависимости намагниченности насыщения ($\sigma_s(T)$) магнетитов из железистых кварцитов Приимандровского железорудного района Кольского полуострова после сдвиговых воздействий под давлением.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты химического и спектрального анализа магнетитовых руд из железистых кварцитов (в дальнейшем железистые кварциты), приведенные в работе [Горяинов, Балабонин, Тюремов, 1990], показывают, что железистые кварциты представляют собой своеобразную и устойчивую геохимическую систему с параметрами состава, достаточно выдержанными для этих пород из самых различных регионов и геологических обстановок. В их составе резко преобладают оксиды Fe и Si, концентрации оксидов Mg, Ca, Al реже других элементов обычно составляют первые проценты, а Ti, Na, K, P - доли процента. Состав железистых кварцитов изменчив по содержанию Fe₂O₃, в меньшей степени SiO₂, FeO, MnO. Содержание Fe_{общ}, напротив, значительно более устойчиво.

В лабораторных условиях сдвиговое воздействие на горные породы под давлением создается на установке Брнджмена [Брнджмен, 1955; Ярославский, 1982]. Установка состоит из неподвижной и поворотной наковален, между которыми помещается испытуемый образец. Наковальни снабжены устройствами для приложения осевой нагрузки и поворота. Обработка повышенным давлением (ВД) и сдвиговым воздействием под давлением производилась по схемам: I. $P_0^+ P_0^-$; II. $P_0^+ \sigma_1^+ \sigma_1^- P_0^-$, где $P_0 = 1000$ МПа. знак "+" означает приложение давления P или начало сдвигового воздействия а и знак "-" означает снятие давления или окончание сдвигового воздействия. Значения намагниченности насыщения, коэрцитивной силы и разрушающего поля определялись на

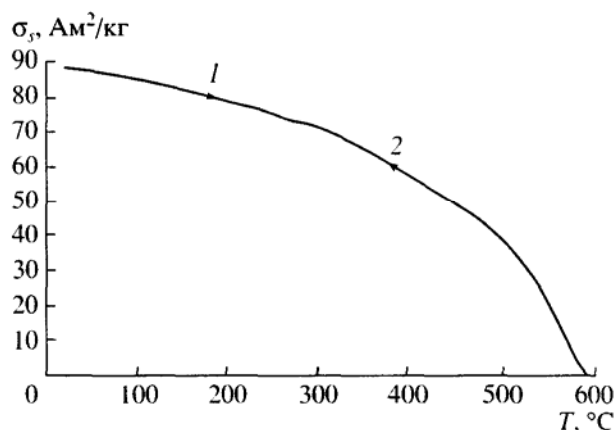


Рис. 1. Температурная зависимость намагниченности насыщения железистого кварцита в исходном состоянии: 1 – нагрев, 2 – охлаждение.

вибрационном магнитометре. Температурную зависимость намагниченности насыщения в воздухе и в вакууме 1.5×10^{-3} Па измеряли на автокомпенсационных магнитных микровесах в поле с напряженностью 240 кА/м [Мулюков, Шарипов, Абсаламов, 1998]. Скорость изменения температуры при записи кривых $\sigma_s(T)$ составляла $4^\circ\text{C}/\text{мин}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На рис. 1 приведена кривая температурной зависимости намагниченности насыщения железистых кварцитов в исходном, крупнокристаллическом состоянии. Температура Кюри, определенная экстраполяцией наиболее крутого участка кривой $\sigma_s(T)$ на ось температур, равна 590°C . На рис. 2 приведены кривые $\sigma_s(T)$ железистых кварцитов после воздействия повышенных давлений (1 – кривая нагрева, 2 – кривая охлаждения) и сдвигового воздействия под давлением (3 – кривая нагрева, 4 – кривая охлаждения). Следует отметить, что кривые $\sigma_s(T)$ железистых кварцитов после воздействия ВД (по схеме I) и ВД + СД (по схеме II) отличаются от кривых $\sigma_s(T)$ образца в исходном состоянии. После обработки образцов в условиях ВД и ВД + СД на кривой нагрева в интервале температур от 330°C до 380°C появляется ступенька. Высота ступеньки после обработки в условиях ВД + СД значительно больше по сравнению с действием одного лишь давления. При этом ширина интервала температур, где происходит спад намагниченности (ступенька), после воздействия ВД + СД в два раза меньше, чем после воздействия ВД.

На рис. 3 представлены кривые σ_s железистого кварцита после обработки в условиях ВД + СД, полученные при нагреве и охлаждении в вакууме.

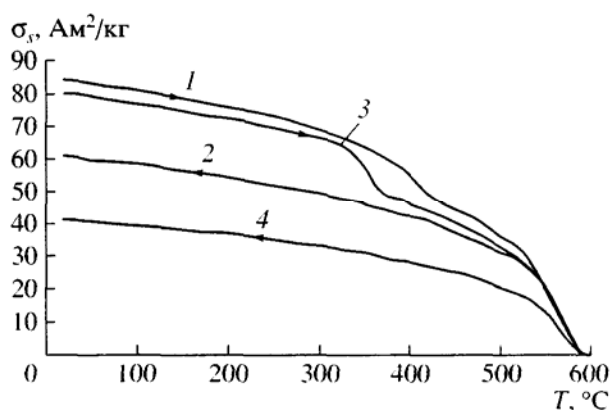


Рис. 2. Температурная зависимость намагниченности насыщения железистого кварцита после давления ($P = 1000$ МПа), после обработки в условиях ВД + СД ($P = 1000$ МПа, $\alpha = 720^\circ$): 1, 2 – нагрев–охлаждение после давления, 3, 4 – нагрев–охлаждение после ВД + СД.

При нагреве в вакууме 1.5×10^{-3} Па характер кривых нагрева и охлаждения образцов железистых кварцитов, подвергнутых сдвиговому воздействию под давлением, отличаются от кривых $\sigma_s(T)$, снятых на воздухе. Ступенька на кривой нагрева в вакууме после обработки железистого кварцита в условиях ВД + СД отсутствует. После цикла нагрев–охлаждение в вакууме наблюдается увеличение величины σ_s на 19%.

Известно, что размер частиц ферромагнитных минералов значительно влияет на их магнитные свойства. Чтобы изучить влияние размерного фактора на характер кривой температурной зависимости намагниченности насыщения железистых кварцитов были сняты кривые $\sigma_s(T)$ в зависимости от времени измельчения в ступке. Полученные данные приведены на рис. 4. При среднем размере частиц порошка 63 мкм (кривая 1) наблюдается небольшая ступенька на кривой нагрева $\sigma_s(T)$ в интервале температур 340 – 380°C . С уменьшением размеров частиц до 22 мкм наблюдается увеличение высоты ступеньки более чем в два раза. При размерах – 6 мкм уменьшение величины намагниченности насыщения достигает 40% от первоначальной величины, и ступенька перемещается в интервал температур 310 – 330°C .

В таблице приведены величины намагниченности насыщения σ_s , коэрцитивной силы H_c , разрушающего поля H_{cr} и относительной остаточной намагниченности σ_{rs}/σ_s железистых кварцитов (обр. К-236/66, К-236/592) в исходном состоянии, а также после воздействия ВД и ВД + СД. Для сравнения также представлены значения H_c , H_{cr} , σ_s и σ_{rs}/σ_s железистых кварцитов после измельчения в ступке. Как видно из таблицы, обработка в условиях ВД + СД и измельчение в ступке приводит к резкому увеличению значения коэрцитивной силы, разрушающего поля, относительной остаточ-

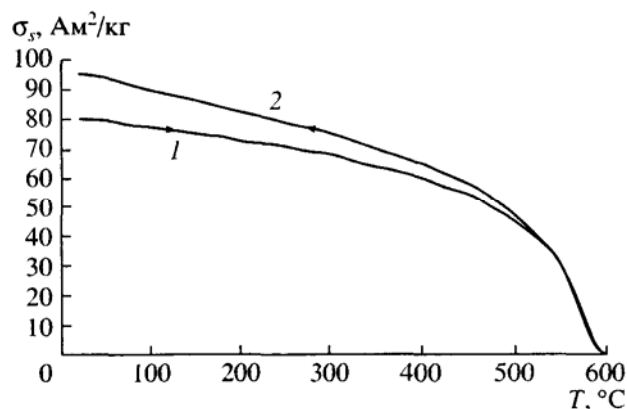


Рис. 3. Температурная зависимость намагниченности насыщения железистого кварцита в вакууме 1.5×10^{-3} Па после обработки в условиях ВД + СД ($P = 1000$ МПа, $\alpha = 720^\circ$): 1 – кривая нагрева, 2 – кривая охлаждения.

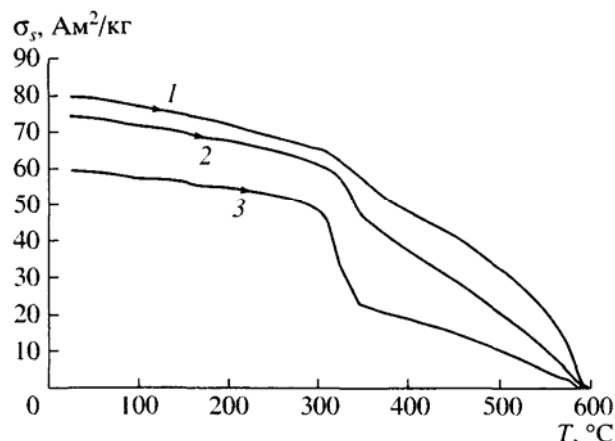


Рис. 4. Температурная зависимость намагниченности насыщения железистого кварцита в зависимости от размера кристаллитов: 1, 2, 3 – размер кристаллитов 63, 22 и 6 мкм соответственно.

ной намагниченности и к уменьшению величины намагниченности насыщения.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Переходя к обсуждению особенностей температурной зависимости намагниченности насыщения железистых кварцитов, в первую очередь заметим, что в исходном состоянии образцы представлены в крупнокристаллическом состоянии и что кривые $\sigma_s(T)$ крупнокристаллического железистого кварцита при нагреве и охлаждении совпадают. Это говорит о том, что крупнокристаллический магнетит из железистых кварцитов является устойчивым до достаточно высоких температур. Фазовый переход присутствующего маггемита в гематит наблюдается в большом интервале температур.

Присутствие ступеньки на кривой нагрева образцов после воздействия ВД, ВД + СД показывает, что в процессе нагрева в железистых кварцитах в температурном интервале резкого спада на-

магниченности маггемит превращается в гематит с более низким значением намагниченности насыщения. Образование гематита подтверждается данными рентгеноструктурного анализа. Изучение зависимости распада от размера частиц порошка железистых кварцитов свидетельствует о том, что основным контролирующим фактором фазового перехода маггемита в гематит является при нагреве на воздухе уменьшение размера частиц. Поэтому наблюдаемая ступенька на кривой нагрева на воздухе железистых кварцитов обусловлена переходом маггемита в гематит, который происходит в более узком интервале температур с уменьшением размеров частиц, образовавшиеся в процессе дробления при сдвиговом воздействии под давлением.

Известно, что уменьшение размеров частиц порошка способствует увеличению доступа кислорода из-за относительного увеличения доли поверхности и тем самым способствует более интенсивному фазовому переходу маггемита в гематит. Сдвиговое воздействие под давлением способствует более интенсивному дроблению магнетитовых руд

Таблица

Образец	Состояние	$\sigma_s, \text{Am}^2/\text{кг}$	σ_{rs}/σ_{so}	$H_c, \text{кА/м}$	$H_{cr}, \text{кА/м}$
К-236/66	исходный	88.7	0.026	1.2	6.2
	1000 МПа	84.4	0.103	10.7	42.0
	1000 МПа, 720°	80.0	0.313	32.3	54.0
	измельчение в ступке	59.4	0.257	15.1	51.2
К-236/592	исходный	83.0	0.031	45.0	10.5
	1000 МПа	75.9	0.132	17.1	47.1
	1000 МПа, 720°	67.7	0.309	5.0	56.4
	измельчение в ступке	57.1	0.192	16.9	42.2

из железистых кварцитов по сравнению с действием одного лишь давления. Поэтому переход маггемита в гематит образца после воздействия ВД + СД происходит в узком интервале температур с большим спадом величины намагниченности насыщения. После нагрева и охлаждения в вакууме увеличение величины намагниченности насыщения объясняется превращением маггемита в магнетит [Багин и др., 1971; Печерский, 1985].

ВЫВОДЫ

Появление ступеньки на кривой зависимости намагниченности насыщения от температуры при нагреве на воздухе маггемитизированных магнетитов из железистых кварцитов после обработки их сдвиговым воздействием под давлением обусловлено фазовым переходом маггемита в гематит с более низким значением намагниченности насыщения.

Установлено, что обработка сдвиговым воздействием под давлением маггемитизированных магнетитов из железистых кварцитов приводит к более интенсивному переходу маггемита в гематит при нагреве на воздухе по сравнению с действием одного лишь давления.

Интенсивный фазовый переход маггемита в гематит в более узком интервале температур обусловлено уменьшением размеров частиц железистого кварцита в результате дробления в процессе сдвигового воздействия под давлением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абсалямов С.С., Мулюков Х.Я. Устойчивость гематита в частицах малых размеров // Докл. РАН. 2000. Т. 375. № 4. С. 469–471.
- Абсалямов С.С., Гареева М.Я. Магнетизм горных пород при высоких термодинамических параметрах. Уфа.: Изд. Башгосуниверситета. 1997. 170 с.
- Абсалямов С.С., Каримов А.И. Температурная зависимость намагниченности насыщения магнетита после совместного воздействия высоких давлений и деформаций сдвига // Вестник Башкирского университета. 1999. № 3(1). С. 31–33.
- Багин В.И., Гендлер Т.С., Кузьмин Р.Н., Рыбак Р.С. Исследование магнитных свойств и эффекта Мессбауэра при температурных превращениях сидерита // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1971. № 11. С. 71–81.
- Валеев К.А., Абсалямов С.С. Остаточная намагниченность магнетита при воздействии высоких давлений и сдвиговых деформаций // Физика Земли. 2000. № 3. С. 59–65.
- Горяинов П.М., Балабошин Н.Л., Тюреминов В.А. Типы железорудных ансамблей и их геомагнитная систематика. Апатиты. 1990. 170 с.
- Мулюков Х.Я., Шарипов И.З., Абсалямов С.С. Автоматические вакуумные магнитные микровесы // Приборы и техника эксперимента. 1998. № 3. С. 149–150.
- Ярославский М.А. Реологический взрыв. М.: Наука. 1982. 193 с.
- Печерский Д.М. Петромагнетизм и палеомагнетизм. М.: Наука. 1985. 127 с.
- Gleiter H. Nanostructured materials: state of the art and perspectives // Nanostruct. Mater. 1995. V. 6. P. 3–14.
- Mulyukov Kh. Ya., Korznikova G. F., Nikitin S. A. Magnetization of Nanocrystalline Dysprosium: Annealing Effects // J. Appl. Phys. 1996. V. 79. № 11. P. 8584–8587.