

В.Ю.АЛИМОВ

МЕХАНИЗМ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ВЕЩЕСТВА ПРИ СДВИГОВЫХ ДЕФОРМАЦИЯХ
ЗЕРНИСТЫХ СРЕД (В ПРИЛОЖЕНИИ К ХРОМИТООБРАЗОВАНИЮ)

Приуроченность пород дунит-гарцбургитового комплекса к линейным зонам сдвиговых деформаций, а хромитовых месторождений - к местам наибольшей концентрации тектонических напряжений указывает на значительную роль метаморфической дифференциации в процессах деплетирования гарцбургитового субстрата и образования хромитов в офиолитах /3, 4, 8/. Вместе с тем в отличие от магматических и метасоматических процессов механизм метаморфической дифференциации разработан недостаточно. В связи с этим представляется важным рассмотреть значение фактора зернистости деформируемого субстрата. Напряженное состояние зернистых сред имеет свои особенности из-за значительной концентрации напряжений в местах контактов зерен. Высокие локальные напряжения возникают прежде всего из-за геометрических факторов, поскольку площадь, к которой приложено внешнее давление, больше суммарной площади контактных областей. Количественно контактная задача была впервые решена Герцем /2/. Среднее давление (P) на площадке касания для плотной упаковки сферических частиц может быть определено следующим образом:

$$P = P_0^{1/3} \left[\frac{4}{3\pi} \frac{E}{(1-\sigma^2)} \right]^{2/3},$$

где P_0 - внешнее давление, E - модуль Юнга, σ - коэффициент Пуассона /5/. Напряжения контактной природы (НКП) проникают в глубь зерна и могут охватывать более половины его объема /9/.

Величины НКП весьма велики и в приконтактных частях зерен приближаются к теоретическому пределу прочности материалов. Для металлов явления, связанные с НКП, проявлены для частиц, не содержащих дислокаций ($R \sim 1$ мкм). В более крупных зернах металлов из-за пластичности, обусловленной высокой подвижностью дислокаций, НКП в значительной мере релаксированы. Минералы гипербазитов хрупкие. Это связано с меньшей подвижностью дислокаций, обусловленной ионным характером химической связи и сложностью структуры /7/. Благодаря этому НКП в минералах гипербазитов будут проявляться при значительно больших размерах зерен, чем в металлах.

Необходимым условием для развития НКП является наличие между зернами взаимовыпуклых контактов. Это условие наиболее полно наблюдается при сдвиговой деформации, когда имеется элемент взаимного вращения зерен. Факторы, ускоряющие процессы перекристаллизации, ограничивают развитие НКП в гипербазитах. К ним относится в первую очередь наличие расплава. Присутствие значительного количества флюида, в первую очередь H_2O , также ограничивает действие НКП. Это особенно должно сказываться при прекращении сдвиговой деформации, когда исчезает избыточное давление на твердый каркас и согласно закону Терцаги происходит его разрушение со снятием напряжений и закрытием пор и трещин /1/.

Из изложенного следует, что системы с развитыми НКП могут существовать в условиях активной сдвиговой деформации при ограниченном количестве флюида и при отсутствии расплава. Эти условия приемлемы для альпинотипных гипербазитов, если учитывать данные по их деформационной истории, относительной сухости верхней мантии и удаленности деплетированных частей гипербазитов от солидуса в РТХ-координатах.

В этих условиях на границах зерен разных фаз развиваются противоположно направленные НКП. Прочностные характеристики минералов пропорциональны упругим постоянным, в первую очередь модулю Юнга. В обстановке сжатия при достижении достаточно больших внешних напряжений ассоциация минералов, значительно различающихся по модулю Юнга, будет неустойчива. К примеру, зерно оливина, "зажатое" между двумя зернами хромита, при нарастании внешней нагрузки будет пластически выдавливаться (высокие температуры) или выкрашиваться (низкие), а зерна хромита — сближаться до соприкосновения. Данный процесс имеет тенденцию к образованию мономинеральных обособлений, расположенных в пространстве последовательно, по мере возрастания НКП и увеличения интенсивности деформаций. Модуль Юнга минерала является, следовательно, основным параметром дифференциации. Отметим, что модуль Юнга для большинства минералов пропорционален температуре плавления, поскольку обе эти величины характеризуют силу межатомной связи. Благодаря этому может создасться впечатление, что мы имеем дело с магматогенной зональностью. Для альпинотипных гипербазитов зональность типа фоновые гарцбургиты-дуниты-хромитовые руды может быть представлена как зональное расположение типоморфных минералов: пироксен ($T_{пл} = 1500^{\circ}\text{C}$, $E = 150 \text{ ГПа}$); оливин ($T_{пл} = 1700^{\circ}\text{C}$, $E = 200 \text{ ГПа}$); рудный хромшпинелид ($T_{пл} > 2000^{\circ}\text{C}$, $E = 290 \text{ ГПа}$) + O_2 , Ru и их сульфиды ($T_{пл} > 2500^{\circ}\text{C}$, $E > 450 \text{ ГПа}$) /7/. Вместе с тем, по имеющимся данным, температура хромитообразования в офиолитах не превышает 1300°C . Поскольку точки плавления основных рудных фаз значительно выше температуры процесса и нет данных, свидетельствующих о существовании обогащенной хромитом эвтектики, следует признать, что процессы плавления не могут в полной мере объяснить околорудную зональность.

Возникновение НКП на границах зерен разных фаз является движущей силой пространственной дифференциации минералов в зонах сдвиговой деформации. Взаимодействие и миграция зерен минералов, обладающих модулями Юнга различной величины, является элементарным актом этой дифференциации.

Изучение деформационных процессов, связанных со значительным развитием НКП, перспективно для детальной разработки как теоретических аспектов процессов деплетирования гарцбургитового субстрата и хромитообразования, так и для новых поисковых критериев на хромиты.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

1. И в а н о в С.Н. Природа границы между верхней и средней частью земной коры и ее значение. Екатеринбург: УрО АН СССР, 1991.
2. У а й т Дж.Э. Возбуждение и распространение сейсмических волн. М.: Недра, 1986.
3. С а в е л ь е в а Г.Н. Габбро-ультрабазитовые комплексы офиолитов Урала и их аналоги в современной океанической коре. М.: Наука, 1987.

4. Строение, эволюция и минерагения гипербазитового массива Рай-Из. Свердловск, 1990.
 5. Федосеев Д.Е., Дерягин Б.В., Варшавская И.Г., Семенова - Тянь-шанская А.С. Кристаллизация алма_з_а. М.: Наука, 1984.
 6. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых. М.: Недра, 1984.
 7. Фридель М. Дислокации. М.: Мир, 1967.
 8. Шмелев В.Р. Гипербазиты массива Сым-Кеу (Полярный Урал). Екатеринбург: УрО АН СССР, 1991.
 9. Грузнов V.G., Тапакон М.Yu., Трусов L.I. Review Plasticity and mass-transfer in contacting nanoparticles // J. materials sciens. 1992. Vol. 27. P.4829-4841.
-