



Doctoral Thesis

## Role of deformation on partial melting of metapelitic rocks

**Author(s):**

Tumarkina, Elizaveta

**Publication Date:**

2012

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-007303411> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 20125

**ROLE OF DEFORMATION ON PARTIAL  
MELTING OF METAPELITIC ROCKS**

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

ELIZAVETA TUMARKINA

Dipl.-geochem. (M.Sc.)

Lomonosov Moscow State University, Russia

Date of birth 31.10.1986

citizen of Russian Federation

accepted on the recommendation of

Prof. Burg Jean-Pierre	examiner
Prof. Connolly James A.D.	co-examiner
Prof. Vigneresse Jean-Louis	co-examiner

2011

# Abstract

---

Metapelites are the most common rock type in the Earth crust. Partial melting of muscovite in the presence of quartz is a key process in metapelitic systems. The mineralogy and rheology of such muscovite-quartz systems are known. The feed-backs between deformation and chemical reaction in these systems are poorly understood and yet crucial for the better understanding of metamorphic processes. This study explores these feed-backs by investigating the effect of shear deformation on quartz-muscovite aggregates, reaction kinetics and with respect to equilibrium assemblage.

Synthetic samples varying in quartz-muscovite ratio (30:70 and 70:30) were used as starting material. Two types of experiments were performed using a Paterson gas-medium: hydrostatic and dynamic. All experiments were conducted at 750°C with a confining pressure of 300 MPa. During the dynamic experiments, samples were deformed at a constant shear strain rate of  $3 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ . Torsion experiments were performed with two different fabric orientations – shear-parallel and shear-orthogonal foliations. Experiments lasted from 1 to 15 hours.

Regardless of the initial foliation orientation, deformation started with elastic hardening, reaching a stress peak at a shear strain of 0.5-1.0. From this point, melting caused weakening; in the case of foliation parallel to shear plane, mechanical equilibrium was achieved at a shear strain equal to 2.5-3.0. In experiments with foliation perpendicular to shear direction, samples continued to strain weaken, but at a lower rate, from  $\gamma \sim 2$  to  $\gamma \sim 7$  at the end of the experiment.

During the first 2.5 hours no difference was observed between hydrostatic and torsion experiments with different foliations, within experimental error. There were also no reaction products. After 3-hours, muscovite and quartz reacted to produce melt, sillimanite, biotite and potassium feldspar. In torsion

## ABSTRACT

experiments with shear-orthogonal foliation, all muscovite was reacted in 7 hours. At the same time, the reaction rate in hydrostatic experiments was twice lower.

Several hypotheses are put forward to explain the difference in reaction kinetics between hydrostatic and torsion experiments: shear heating, strain and surface energies, local pressure drop and lowering effective viscosity. First order estimations eliminated many of the original hypotheses with the exception of the effect of effective viscosity. A numerical model was created to illustrate the mechanism of enhanced reaction kinetics during deformation due to lower effective viscosity.

For the improved understanding of long-term quartz-muscovite system behaviour (up to 30 days), hydrostatic experiments with cold-seal type apparatus were performed on both 30 and 70 % of muscovite systems at 750°C and confining pressures from 200 to 300 MPa. Starting materials for these experiments were created with variable amounts of water in the system. Results showed that water significantly affects the reaction kinetics. At 300 MPa in the 'dry' system (without addition of free water) muscovite and quartz did not react even after 30 days. In the 'wet' system (with 3 wt.% of water) at the same pressure-temperature conditions all muscovite was replaced after 7 days.

Comparison between starting material, data from experimental runs via the Paterson rig, and the results of experiments performed in the cold-seal apparatus showed that the chemical system during torsion experiments was open and experienced loss of water. To protect the system from water loss, a modified experimental assembly was employed via an additional Ni-jacket over the standard Fe-jacket.

This study finds that the reaction kinetics of partial melting in quartz-muscovite is highly affected by deformation and the initial foliation orientation. A decrease in effective viscosity is the most likely physical

## ABSTRACT

mechanism explaining the difference in reaction kinetics. The amount of water in the starting material and the pressure conditions also affect the melting rate.

# Kurzfassung

---

Metapelite sind ein gängiger Gesteinstyp in der Erdkruste. Partielle Schmelzung von Muskovit bei Anwesenheit von Quarz ist ein Schlüsselprozess in metapelitischen Systemen. Während die Mineralogie und Rheologie solcher Systeme bekannt sind, gibt es Lücken im Verständnis des Zusammenspiels zwischen Deformation und chemischen Reaktionen. Diese Interaktionen sind jedoch entscheidend für ein besseres Verständnis metamorpher Prozesse. Die vorliegende Arbeit erforscht diese Interaktionen, insbesondere wird untersucht, welchen Effekt Scherdeformationen auf Quarz-Muskovit- Systeme, Reaktionskinetik, und Gleichgewichtszusammensetzung haben.

Als Ausgangsmaterial werden synthetische Proben mit einem Quarz-Muskovit Verhältnis von 30 zu 70 und 70 zu 30 verwendet. Hydrostatische und dynamische Experimente wurden in einem Paterson Medium bei 750 °C und hydrostatischem Druck von 300 MPa mit einer Dauer zwischen 1 und 15 Stunden durchgeführt. In den dynamischen Experimenten wurden die Proben einer konstanten Verformungsrate von  $3 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$  unterworfen. Torsionsexperimente wurden mit Ausrichtungen parallel und orthogonal zur Materialschieferung durchgeführt.

Unabhängig von der anfänglichen Schieferungsrichtung begann die Deformation mit elastischer Härtung, wobei die Spannungsspitze bei einer Scherverformung von 0.5-1.0 erreicht wurde. Ab diesem Punkt führte Schmelzung zu einer Schwächung des Materials. Bei Schieferung parallel zur Scherebene wurde das mechanische Gleichgewicht bei einer Scherverformung von 2.5-3.0 erreicht. Bei Schieferung orthogonal zur Scherebene wurde die Schwächung langsamer fortgesetzt, von  $\gamma \sim 2$  bis  $\gamma \sim 7$  bei Experimentende.

Während der ersten 2,5 Stunden wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen hydrostatischen und Torsionsexperimenten beider Schieferungsrichtungen beobachtet. Nach drei Stunden reagierten Muskovit

und Quarz und produzierten Gesteinsschmelze sowie die Minerale Sillimanit, Biotit und Alkalifeldspat. In den Torsionsexperimenten mit Scherung orthogonal zur Schieferung wurde der gesamte Muskovit in sieben Stunden konsumiert. Während dieser Zeit war die Reaktionsgeschwindigkeit in den hydrostatischen Experimenten nur halb so gross.

Mehrere Hypothesen werden vorgeschlagen um die Unterschiede zu erklären, welche zwischen der Reaktionskinetik der hydrostatischen und der Torsionsexperimente beobachtet werden. Sie basieren auf Scherheizung, Deformations- und Oberflächenenergie, lokalem Druckabfall und Verkleinerung der effektiven Viskosität. Mit Ausnahme letzterer Hypothese konnten diese Erklärungsversuche durch Schätzungen erster Ordnung ausgeschlossen werden. Ein numerisches Modell wurde erstellt um zu illustrieren, wie tiefere effektive Viskosität während einer Deformation zu erhöhter Reaktionskinetik führt.

Für ein verbessertes Verständnis des Langzeitverhaltens von Quarz-Muskovit-Systemen (bis zu 30 Tage) wurden 30%- und 70%-Muskovit-Systeme in einer cold-seal-Vorrichtung bei 750 °C einem hydrostatischen Druck von 200 bis 300 MPa unterworfen. Das Ausgangsmaterial wurde mit verschiedenen Wassergehalten im System präpariert. Die Resultate zeigen, dass die Reaktionskinetik massgeblich durch diesen Wassergehalt beeinflusst wird. Bei 300 MPa und trockenem System (ohne Zufügen freien Wassers) findet selbst nach 30 Tagen keine Reaktion zwischen Muskovit und Quarz statt. Hingegen war beim nassen System (3% Wasser) bei gleichem Temperatur-Druck-Verhältnis der gesamte Muskovit nach drei Tagen konsumiert.

Vergleiche zwischen Ausgangsmaterial und Daten aus den Experimenten mit den Paterson- und cold-seal-Vorrichtungen zeigen, dass während der Torsionsexperimente das chemische System offen war und einen Wasserverlust erlitt. Um das System vor solch einem Verlust zu schützen, wurde die standardmässige Eisen-Jacke der experimentellen Vorrichtung um eine Nickel-Jacke verstärkt.

## KURZFASSUNG

Zusammenfassend haben diese Untersuchungen ergeben, dass die Reaktionskinetik partieller Schmelzung in Quarz-Muskovit-Systemen stark von der Deformation und der anfänglichen Schieferungsrichtung abhängt. Unterschiede in Reaktionskinetik werden am besten durch verringerte effektive Viskosität erklärt. Die Schmelzrate wird auch durch die Wassermenge im Ausgangsmaterial und den Umgebungsdruck massgeblich beeinflusst.