

А.М. Игнатова, А.П. Скачков

Пермский государственный технический университет

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТВЕРДОСТИ АНИЗОТРОПНЫХ ЛИТЫХ СИНТЕТИЧЕСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ НАНОСКЛЕРОМЕТРИИ

Впервые опробован метод наносклерометрии для оценки твердости наноструктурных составляющих анизотропных литых синтетических минеральных сплавов. Установлены оптимальные параметры испытаний для определения топологии поверхности и твердости наноструктурных составляющих этих материалов. Показана целесообразность использования метода наносклерометрии для определения твердости наноструктурных составляющих анизотропных литых синтетических минеральных сплавов.

Существует восемь основных методов определения твердости материалов (метод Бринелля, Роквелла, Виккерса, Шора, Аскера, Кузнецова – Герберта – Ребиндера, Польди, Мооса) [1].

Известные методы определения твердости основаны на сравнительной оценке реакции материала на воздействие на него острием заведомо более твердого материала, при этом воздействие может быть двух видов: надавливание и царапание.

Надавливание заключается во внедрении индентора из высокотвердого материала в одну конкретную точку на поверхности исследуемого материала. Используют разные по форме и размеру инденторы, величину твердости оценивают в зависимости от глубины проникновения индентора в материал или по площади отпечатка на его поверхности. Надавливание – нетрудоемкий и быстрый метод определения твердости, однако его нецелесообразно использовать для оценки хрупких материалов, поскольку при испытании они разрушаются.

Царапание (склерометрия) заключается в сравнительной оценке твердости исследуемого материала с другим, более твердым, по форме и глубине царапины, оставленной эталонным материалом на поверхности исследуемого. Царапание – значительно более трудоемкий метод, однако он позволяет оценивать свойства хрупких и анизотропных материалов.

Интерес к проблеме определения твердости и интерпретации получаемых данных не угасает с начала XX в., так как по величине твердости можно оценивать важные технологические характеристики материала, например износостойкость. Однако для материалов с наноразмерными и наномасштабными структурными составляющими использование вышепере-

численных методов с применением традиционного оборудования невозможно, поскольку размеры объектов исследования не соотносятся с размерами инденторов научного оборудования [1]. В связи с этим актуальным становится изыскание наиболее приемлемых методик, основанных на царапании, при оценке твердости, в частности, анизотропных литых синтетических минеральных сплавов.

Целью настоящей работы является опробование метода наносклерометрии для оценки твердости наноструктурных составляющих анизотропных литых синтетических минеральных сплавов (симиалов), а также использование этого метода для идентификации наноструктурных составляющих этих сплавов.

Метод наносклерометрии подразумевает царапание поверхности материала при постоянной нагрузке на индентор. В настоящей работе наносклерометрические испытания проводились измерительным комплексом NanoTest 600 (Micro Materials Ltd., Англия), общий вид представлен на рис. 1 [2].

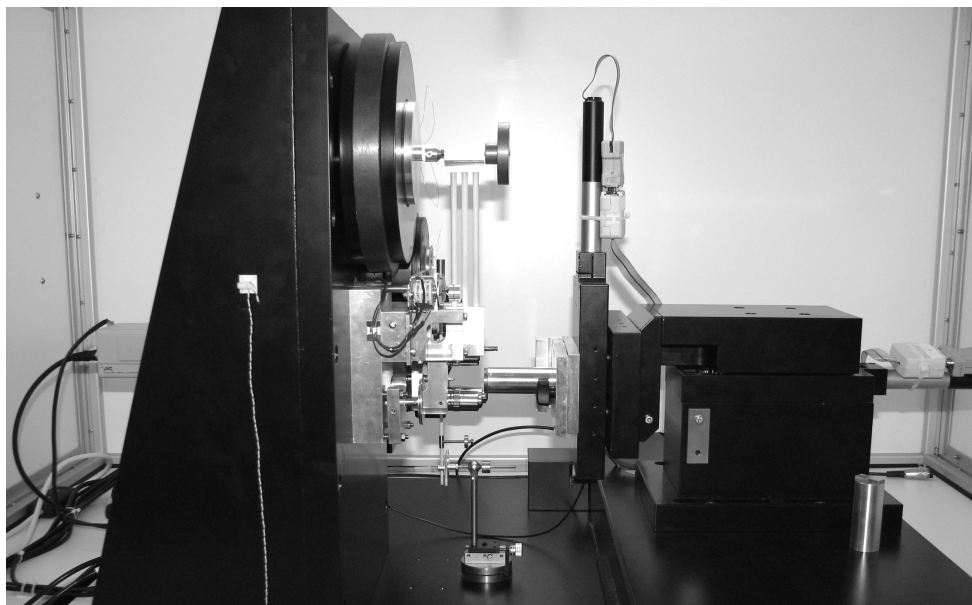


Рис. 1. Общий вид установки NanoTest 600

В качестве исследуемых образцов материала использовались петрографические шлифы литых синтетических минеральных сплавов, полученных по технологии каменного литья на основе горнблендита (пустая порода, образованная при обогащении железной руды).

Эксперимент на приборе NanoTest 600 проводили по следующей схеме. Стандартный петрографический шлиф закрепляли на подложке клеем. Оптическим микроскопом, входящим в состав измерительного комплекса, выби-

рали площадку размером 100×100 мкм на поверхности образца, на ее площади визуально выделяли несколько структурных составляющих (рис. 2), одну из которых, опираясь на косвенные признаки, идентифицировали как частицу пироксена (светлое пятно на фото) [2]. На этом участке было проведено два типа испытаний.



Рис. 2. Участок исследования на поверхности литого синтетического минерального сплава, $\times 1000$

В задачи первого испытания входило снятие топологии поверхности образца, для этого на нем было проведено 20 сканирований с шагом по второй координате 5 мкм с минимальной нагрузкой на конический алмазный индентор 0,1 мН. При этом с высокой точностью (1 нм) регистрировалось перемещение индентора по нормали к поверхности. После каждого сканирования индентор смещался относительно начальной точки сканирования вдоль второй координатной линии. Полученные результаты обрабатывались с помощью программного обеспечения комплекса и математического пакета, в результате чего было получено изображение топологии исследуемой поверхности (рис. 3, размеры участка приведены в мкм, а высоты – в нм).

Второй тип испытаний заключался в нанесении индентором царапин на поверхность исследуемого участка при постоянной нагрузке 200 мН. Первоначально нагрузка была возрастающей, она изменялась по линейному закону,

от 0 до достижения рабочего значения (200 мН), поэтому при оценке результатов часть участка длиной 10 мкм, где испытание стартовало, не учитывали.

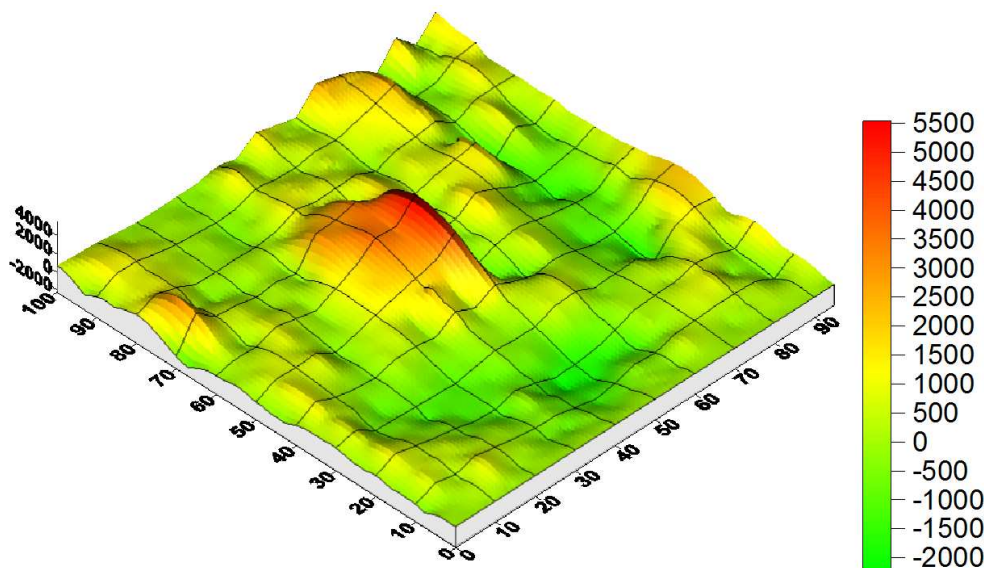


Рис. 3. Топографическое изображение поверхности исследуемого участка на поверхности образца литого синтетического минерального сплава

На рис. 4 представлено графическое выражение результатов первого и второго испытания, полученное при автоматической обработке результатов экспериментов с помощью программного обеспечения, поставляемого с измерительным комплексом. Черная линия на графике характеризует первое испытание, заключающееся в определении топологии поверхности образца, она показывает изменение высоты рельефа. Красная линия характеризует второе испытание (царапание) и показывает изменение глубины царапины. На графике отрицательные значения глубины соответствуют возвышениям на поверхности исследуемого участка поверхности материала.

Данные, полученные в ходе второго испытания, также были обработаны с помощью математического пакета (рис. 5). Указанные на изображении величины высоты определялись как разность между начальной геометрией вдоль линии эксперимента и перемещением индентора с учетом приложенной нагрузки. Эту величину интерпретировали как глубину царапины.

В ходе второго испытания, в частности, установлено, что переходная зона от пироксена к основной массе материала литого синтетического минерального сплава является крайне «мягкой», причем настолько, что в сечении царапины на этом участке явно присутствуют наплывы, характерные для пластичных материалов.

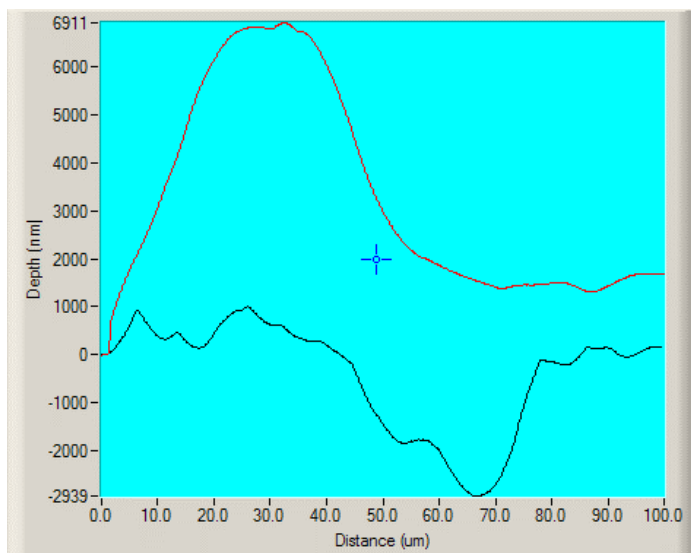


Рис. 4. Графическая зависимость, характеризующая результаты первого и второго испытаний, проведенных на исследуемом участке поверхности образца литого синтетического минерального сплава

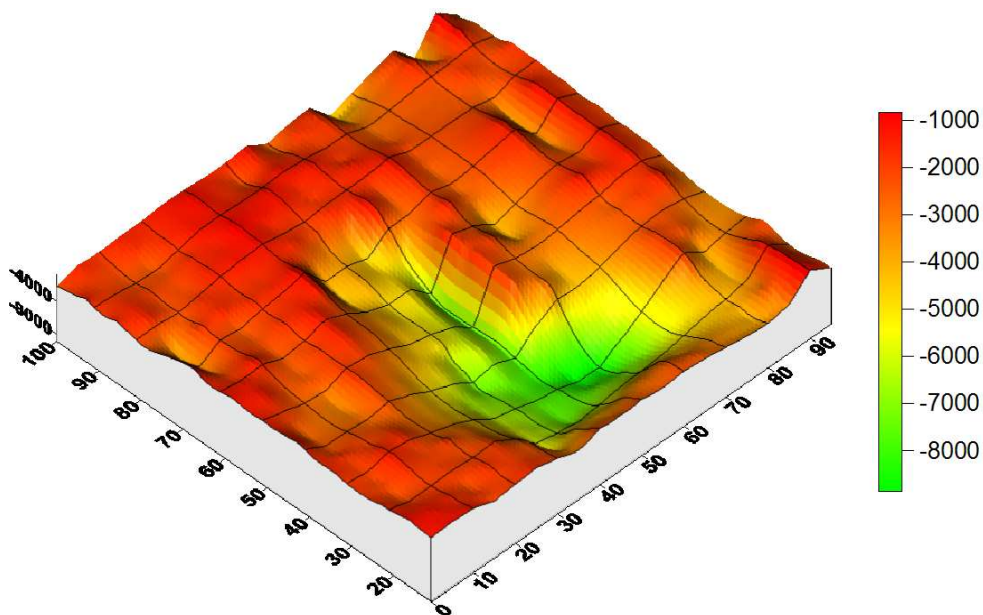


Рис. 5. Топографическое изображение исследуемого участка поверхности литого синтетического минерального сплава после склерометрических испытаний

Образование напылов в ходе склерометрических испытаний затрудняет изучение царапин на материале и, как следствие, интерпретацию результатов, поскольку в зависимости от того, учитывается величина напыла при

оценке глубины царапины или нет, могут быть получены разные данные. При изучении твердых материалов, каковыми являются литые синтетические минеральные сплавы, напльвы практически не образуются, что позволяет однозначно толковать результаты испытания.

При совместной оценке результатов двух испытаний, например, установлено, что литой синтетический минеральный сплав на основе горнблендита в высокой степени анизотропный, но при этом, в силу разупорядоченности структурных составляющих, которая в нашем случае объясняется с точки зрения технологии изготовления, разница свойств не имеет конкретного направления. Другими словами, отсутствует четко выраженная разница между механическими характеристиками материала в зависимости от направления приложения нагрузки, тем не менее структурные составляющие совершенно по-разному ей сопротивляются.

Наличие резкого перепада характеристик твердости и пластичности в переходной зоне от одного структурного составляющего к другому говорит, о проявлении анизотропии [3].

Таким образом, в настоящей работе:

- впервые опробован метод наносклерометрии для оценки твердости наноразмерных структурных составляющих анизотропных литых синтетических минеральных сплавов (сминалов) с применением измерительного комплекса NanoTest 600;
- установлены оптимальные параметры испытаний для оценки топологии поверхности сминалов: шаг сканирования 5 мкм, нагрузка на индентор 0,1 мН;
- установлены оптимальные параметры испытаний царапанием для оценки твердости наноразмерных структурных составляющих сминалов: шаг сканирования 5 мкм, нагрузка на индентор 200 мН;
- метод наносклерометрии на базе NanoTest 600 можно рекомендовать для оценки твердости анизотропных литых синтетических минеральных сплавов.

Список литературы

1. Склерометрия/ Под ред. М.М. Хрущева. – М.: Наука, 1968. – 345 с.
2. Игнатова А.М., Ханов А.М., Скачков А.П. Исследование структуры и свойств камнелитых материалов методом наноиндентирования // Вестник ПГТУ. Машиностроение, материаловедение. – Пермь, 2010. – Т. 12. – № 1. – С. 139–150.
3. Головин Ю.И., Тюрин А.И. Микро- и наноконтактное взаимодействие твердых тел: сб. работ обладателей грантов РФФИ. – М., 2006. – URL: <http://www.rfbr.ru/pics/28422ref/file.pdf>

Получено 6.07.2010