

НАНОИНДЕНТОРЫ HYSITRON – МЕХАНИЧЕСКОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ В НОВОМ ИЗМЕРЕНИИ

NanoIndentation (Наноиндентирование – NI) – название метода, который позволяет проводить измерения на уровне микрометра и суб-нанометра. Поскольку условия измерения очень малых и больших глубин сильно различаются, стандарт ISO 14577 предполагает три уровня – нанодиапазон для всех углублений с глубиной менее 200 нм, микродиапазон от 200 нм до 2 Н и макродиапазон для сил свыше 2 Н [1,2].

ВВЕДЕНИЕ

Тестирование твердости – традиционный способ определения механических свойств малых объемов материалов. Алмазную пирамиду известной формы с заданной нагрузкой вдавливают в поверхность. Если тестируемый материал твердый, индентор делает маленькое углубление с небольшой контактной площадью. Традиционно контактную площадь определяют с помощью светового микроскопа, однако за последние 15 лет все чаще используется метод измерения углублений с помощью специальных приборов. Такой подход позволяет регистрировать во время эксперимента силы и смещения. Благодаря автоматизации измерений метод име-

ет множество преимуществ по сравнению с традиционными. Он позволяет измерять глубину проникновения, поскольку оптическое разрешение светового микроскопа больше не является фактором ограничения при анализе очень мелких углублений.

В статье приведены результаты экспериментов, в которых использовались диапазоны NI и MicroIndentation (микроиндентирование – MI).

Микроскопия со сканирующим датчиком (SPM или AFM) использует современную концепцию микроскопии. Для получения топографической карты исследуемой зоны *in situ* осуществляется растровое сканирование индентера по мере перемещения по образцу. Данная функция обеспечивает получение четкой картины поверхностной зоны, позволяющей проводить тестирование прочности мелких объектов с наивысшей точностью. Благодаря высокой точности позиционирования возможно тестирование с высоким пространственным разрешением образцов, имеющих небольшую глубину проникновения (рис.1).

Дамасская сталь славится сочетанием твердости с хорошей трещиностойкостью. Классическая технология изготов-

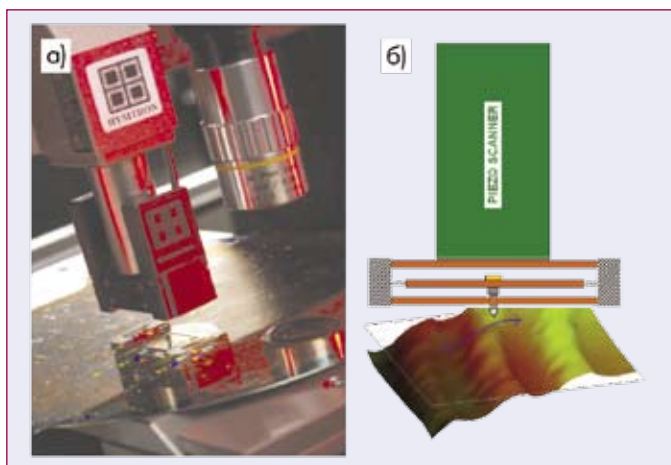


Рис.1 Метод Hysitron Transducer; а) видео-оптика для навигации по образцу, сканер и датчик; б) получение изображения *in situ* с помощью индентора и пьезосканера www.intertech-corp.ru



Рис.2 Нож из дамасской стали (оптическое изображение образца после полировки и гравировки). Петер Я. Штинен, www.stienen-damast.de

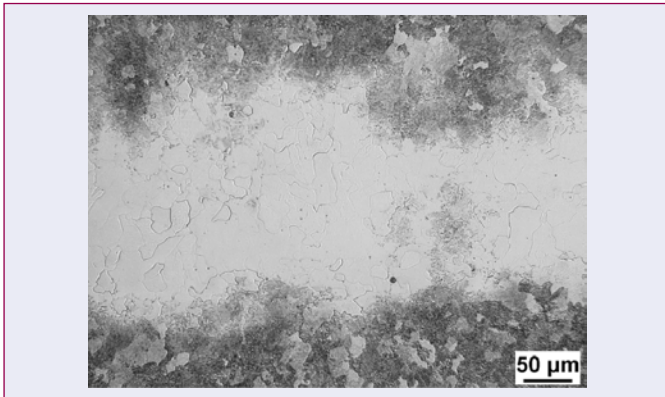


Рис.3 Микрофотография, полученная с помощью светового микроскопа; слоистая структура дамасской стали. Темная часть – перлитная сталь 1.2842 (ферритный сплав St37) www.intertech-corp.ru

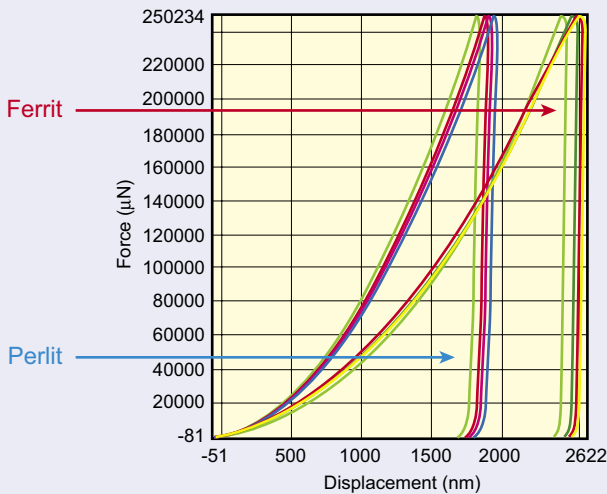
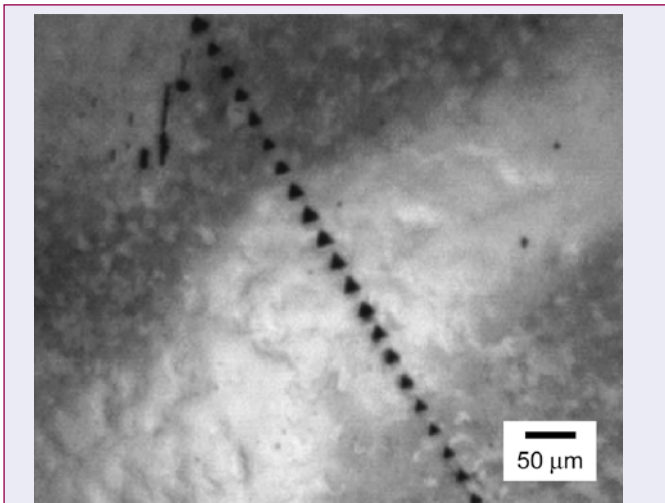


Рис.4 Линия углублений в слоистой структуре; кривые смещения нагрузки для двух стальных сплавов; разница в твердости очевидна вследствие различной глубины проникновения www.intertech-corp.ru

ления дамасской стали предполагает получение металла из кусков двух стальных сплавов, которые нагревают в печи, а затем куят, чтобы из отдельных кусков сформировать один твердый блок. Когда рабочий кусок становится достаточно

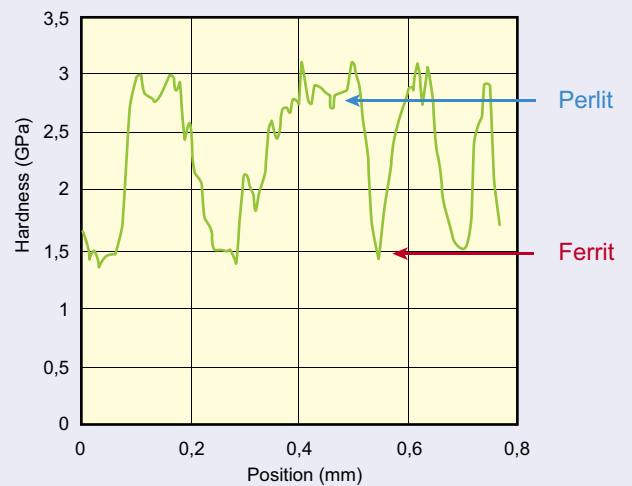
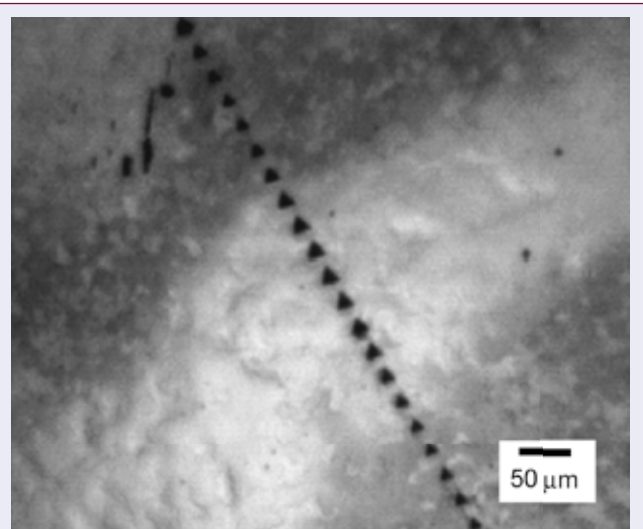


Рис.5 Линия углублений в слоистой структуре; твердость как функция положения. www.intertech-corp.ru

тонким, его сгибают и сваривают путем дальнейшейковки. Таким образом получается ламеллярная структура, обуславливающая повышенную твердость и трещиностойкость материала. Сплавы обычно используют для создания очень долговечных ножей и других инструментов (рис.2).

ТЕСТИРОВАНИЕ ТВЕРДОСТИ ДАМАССКОЙ СТАЛИ

Исследованный образец изготовлен кузнецом Петером Я. Штиненом (www.stienen-damast.de). Были использованы два стальных сплава – 1.2842 и St37.

Дамасская сталь имеет двухуровневую слоистую структуру. На одном уровне толщина отдельного слоя стали варьирует между 50 мкм и 1 мм, в зависимости от количества этаповковки. Механические свойства слоев протестированы путем создания ряда глубоких углублений (рис.4 и 5). При использовании силы 25 г (250 мН) прочность варьирует между 3 Гпа для перлита (HNV ~280) и 1,5 ГПа для феррита (HNV ~140).

В то время как феррит является однородным, перлит представляет собой ферритную матрицу с отложениями кар-

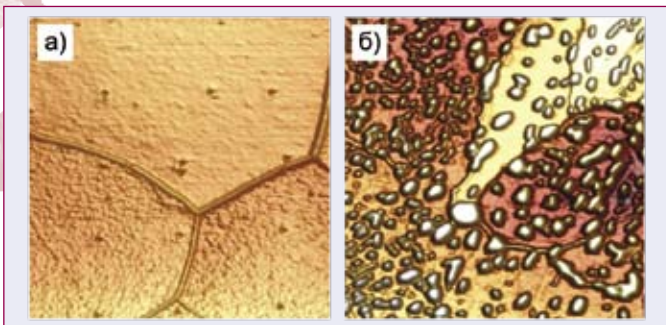


Рис.6 Феррит с отложениями карбида железа в местах соединения гранул (St37, 10×10 мкм); Перлитная фаза, закаленная (1.2842, 10×10 мкм) www.intertech-corp.ru

бида железа. Для определения механических свойств обеих фаз использован нанотест на твердость. На рис.6 представлены изображения двух составляющих матрицы in situ. На рис.6а изображена ферритная матрица с отложениями карбида железа в местах соединения гранул. Рис.6б демонстрирует закаленный перлит с отложениями карбида железа, имеющими закругленную форму.

Комбинация получения изображения in situ с технологией NI позволяет протестировать две составляющие перлитной фазы. Тестирование было проведено с использованием геометрии Cube-Corner с радиусом кончика около 50 нм. Такие параметры особенно подходят для анализа небольшой глубины. На рис.7 представлено углубление на отложениях карбида железа, которое обнаружено посредством получения изображения in situ. Сравнить углубления, сделанные на двух составляющих матрицы, позволяет рис.8. Анализ углублений (рис.9) демонстрирует, что твердость отложений карбида железа значительно выше, чем феррита.

Представленные результаты позволяют лучше изучить механическое поведение дамасской стали. Сочетание мягкой матрицы с равномерно распределенными мелкими и очень твердыми включениями обеспечивает сплаву повышенную твердость и очень хорошую трещиностойкость.

Результаты анализа методом NI показывают, что карбид железа является очень твердым, а феррит – мягким. Значение микротвердости для стали 1.2842, равное 3 ГПа, пред-

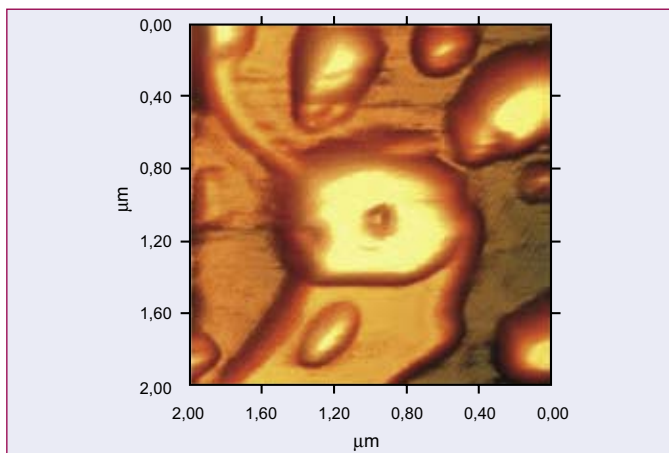


Рис.7 Углубление на поверхности отложений карбида железа www.intertech-corp.ru

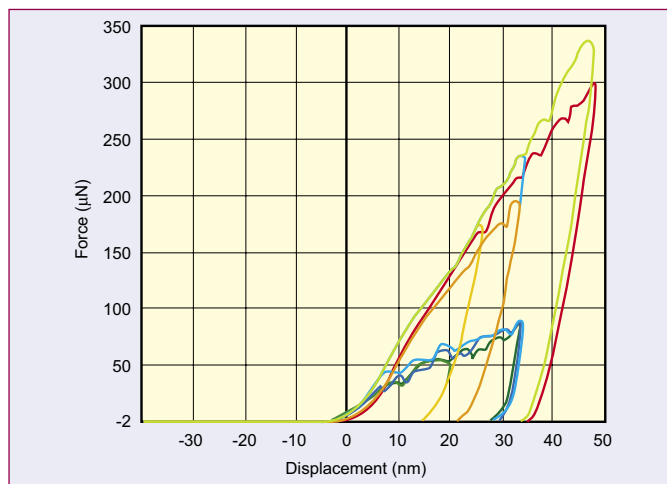


Рис.8 Кривые смещения нагрузки для феррита (синий/зеленый) и отложений карбида железа (оранжевый/розовый)

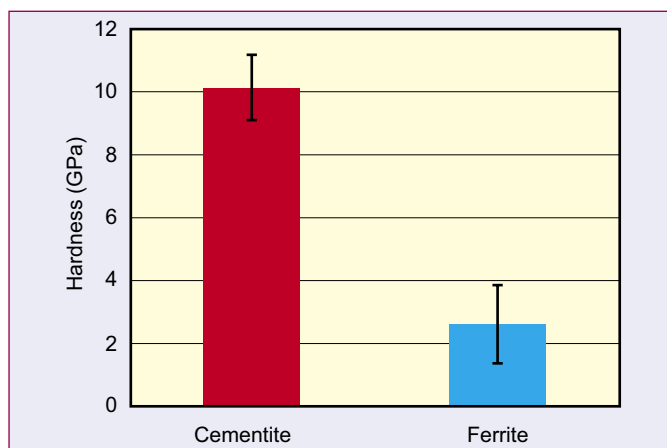


Рис.9 Твердость отложений карбида железа и феррита www.intertech-corp.ru

ставляет собой среднее значение для двух составляющих – карбида железа и феррита.

Возможность исследования двух различных фаз сплава методом NI в дальнейшем окажет большое влияние на разработку новых материалов. Метод делает возможным определение влияния сплавообразующих элементов на твердость одной фазы. Статистический анализ углублений позволяет изучить процесс формирования сплава и влияние количества определенной фазы.

Hysitron Inc., Готфрид Хаген Штрассе 60, 51105, Кельн (Германия), Intertech corporation.

Московское представительство:

127015, Москва, Б.Новодмитровская, 36/4. Офисный центр "Хрустальный". Тел.: (495) 232-4225, 783-3590 (многоканальный), Факс.: (495) 783-3591; Моб.: (916) 809-5951 www.intertech-corp.ru

ЛИТЕРАТУРА

1. W.Oliver & G.Pharr; J. Mat. Res. (1992)
2. ISO 14577 – Metallic Materials – Instrumented Indentation Test for Hardness and Materials Parameters; Part I,II,III & IV.