

УДК 620.19

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ДЕФЕКТА НАПЫЛЕНИЯ ХРОМА НА СТЕКЛЕ С ПОМОЩЬЮ СКАНИРУЮЩЕЙ ТУННЕЛЬНОЙ МИКРОСКОПИИ

Антони Борисович Сырицкий

*Студент 4 курса,
кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.С. Кошкин,
кандидат технических наук, ассистент кафедры «Метрология и
взаимозаменяемость»,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ) - один из мощных современных методов исследования морфологии и локальных свойств поверхности твердого тела с высоким пространственным разрешением. За последние 10 лет сканирующая зондовая микроскопия превратилась из экзотической методики, доступной лишь ограниченному числу исследовательских групп, в широко распространенный и успешно применяемый инструмент для исследования свойств поверхности и измерения топографии. В данной работе будут освещены результаты исследований на сканирующем туннельном микроскопе.

Перед началом исследований была поставлена задача проанализировать возможности сканирующего зондового микроскопа НТК «Умка-02Е» в области обнаружения и изучения дефектов на поверхности проводящих материалов. Предметом исследования был выбран образец напыления хрома на подложку из стекла. Измерение топографии поверхности проводились по методу постоянного тока с помощью кусанного платино-иридиевого зонда. Метод постоянного тока предполагает поддержание в процессе сканирования постоянной величины туннельного тока с помощью системы обратной связи. При этом вертикальное смещение сканера (сигнал обратной связи) отражает рельеф поверхности. По сравнению со вторым возможным методом, а именно методом постоянной высоты, использованный метод обеспечивает лучшее воспроизведение поверхности, вследствие чего и был выбран для проведения измерений. Добавим, что при сканировании поверхности использовались следующие параметры:

- Размер скана $0,995 \times 0,995$ мкм
- Разрешение скана 512×512 точек
- Параметры туннельного тока $U_{\text{tun}} = 0,27$ В
 $I_{\text{tun}} = 0,2$ нА

Полученный результат приведен на рис. 1.

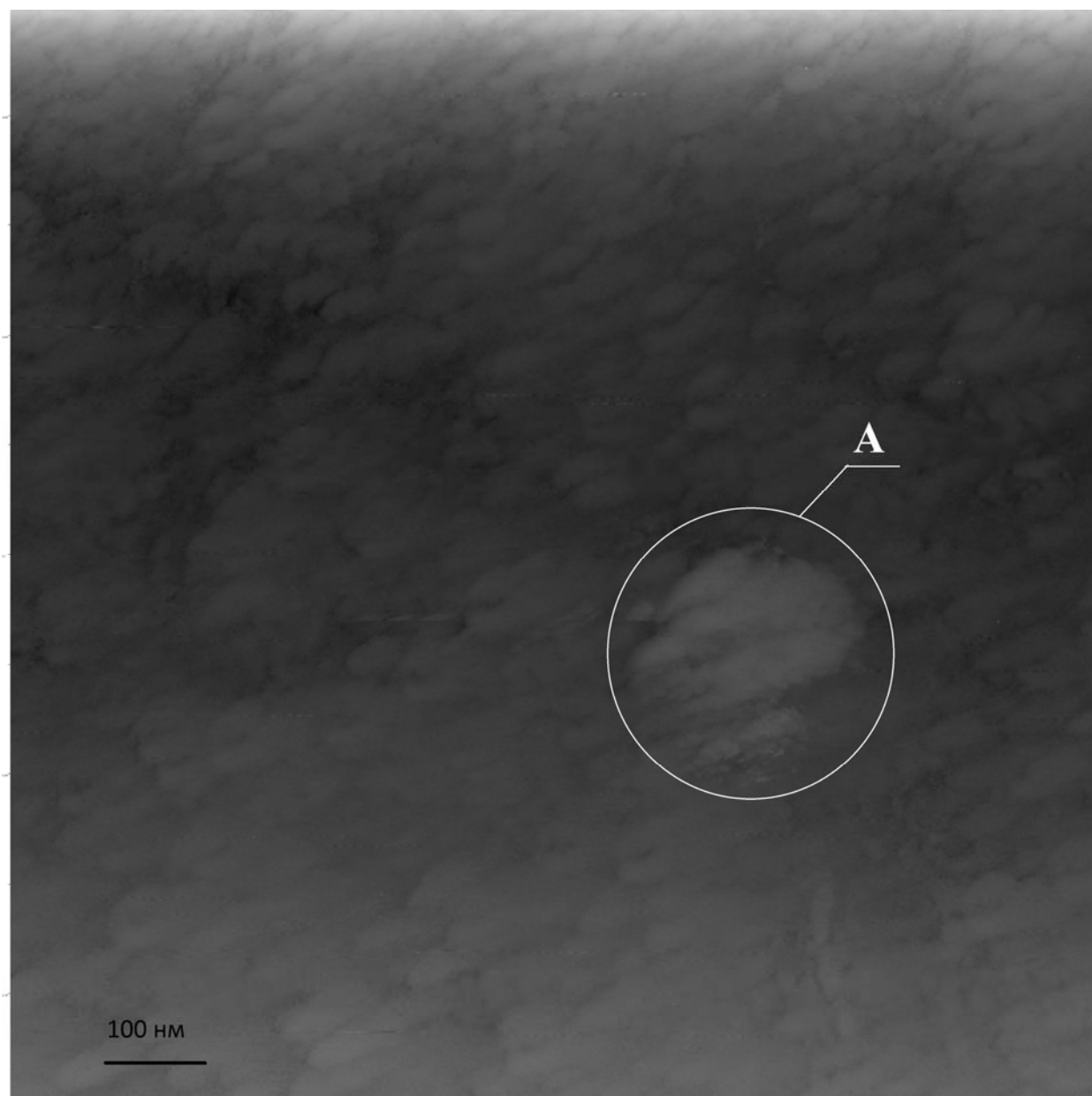


Рис.1. Полученный скан. А – Область с предполагаемым дефектом

На полученном изображении поверхности можно отметить область А, выделяющуюся своим рельефом на фоне остальной поверхности. Было предположено, что это поверхностный микродефект напыления. Для подтверждения этого были проведены исследования с помощью стандартных инструментов программного обеспечения микроскопа. Результаты приведены на рис. 2 и 3.

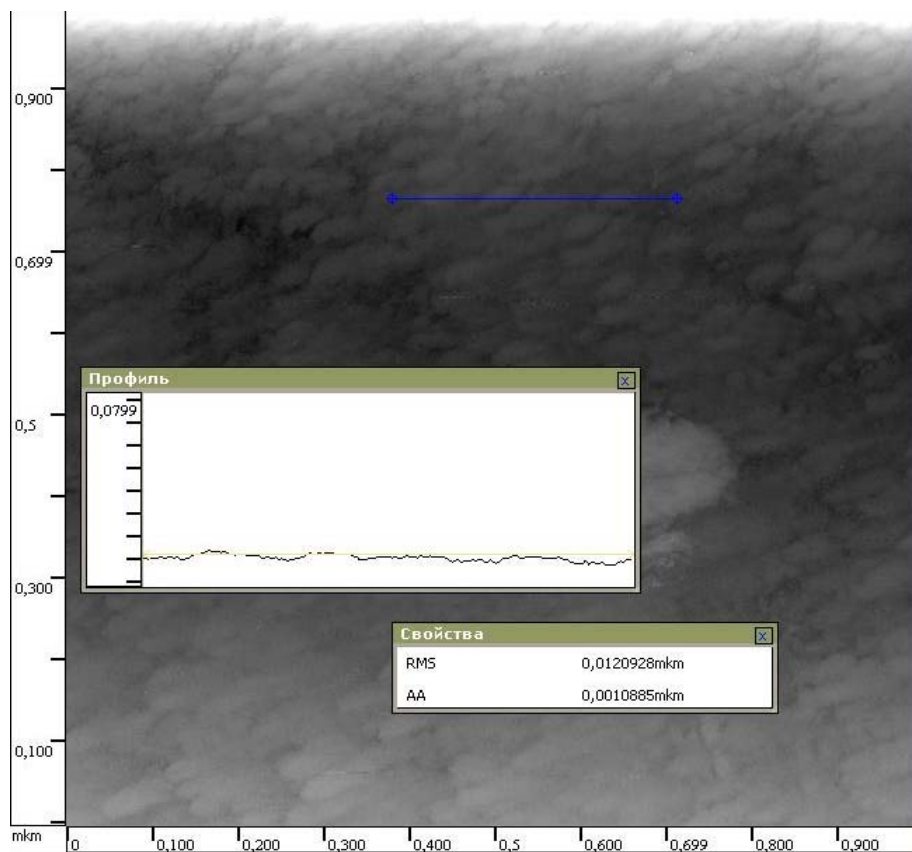


Рис. 2. Измерение профиля поверхности в бездефектной зоне

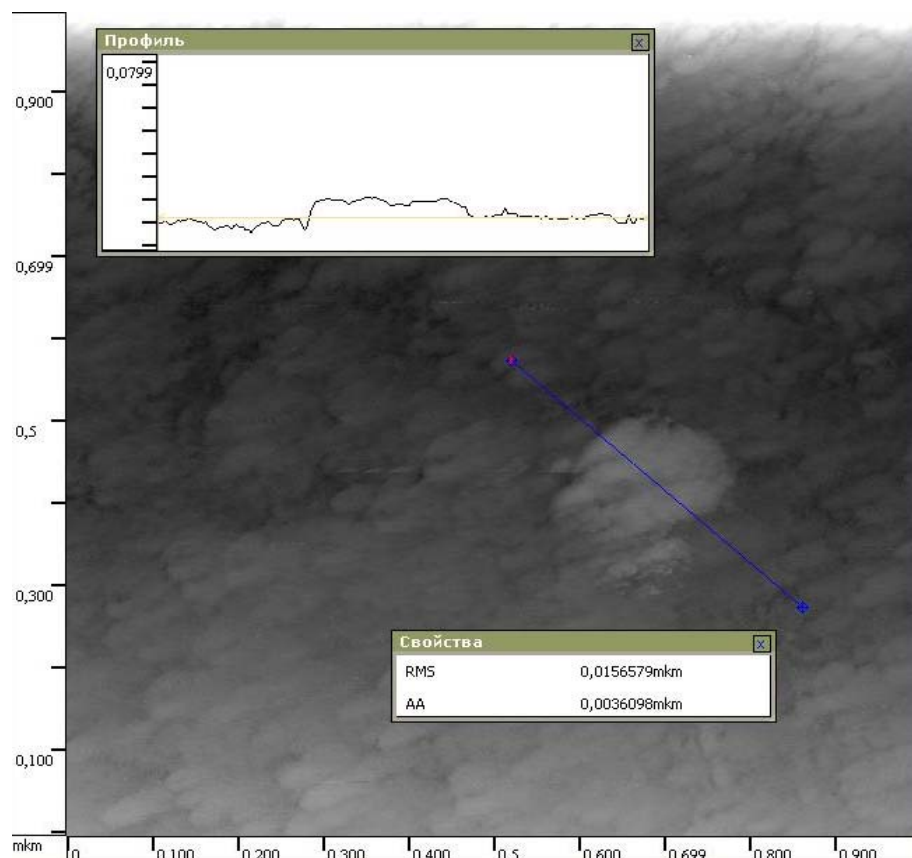


Рис. 3. Измерение профиля поверхности в зоне дефекта

На рис. 2 видны результаты измерения профиля поверхности в зоне без дефектов, а на рис. 3 в зоне дефекта. На рис. 3 в центре профилограммы видно резкое изменение профиля поверхности, указывающее на наличие дефекта в этом месте. Это доказывает предположение о том, что рассматриваемый участок поверхности является микродефектом. С помощью стандартных инструментов программного обеспечения можно измерить ряд параметров топографии поверхности, связанных с наличием дефекта. Например: среднеквадратичное действующее значение профиля поверхности, измеренного вне зоны дефекта составляет $\approx 0,012$ мкм, а среднеквадратичное действующее значение профиля поверхности, включающей в себя зону дефекта составляет $\approx 0,016$ мкм.

В зависимости от области применения данной поверхности необходимо оценить годность участка с данным дефектом. Главными показателями при этом являются длина, ширина, высота и площадь дефекта. Данные параметры также могут быть измерены с помощью стандартных инструментов программного обеспечения микроскопа (рис. 4). При этом форму дефекта можно аппроксимировать двумя фигурами: прямоугольником и эллипсом – в зависимости от формы микронеровности. Для рассматриваемого дефекта была выбрана для аппроксимации форма эллипса и получены следующие результаты: ширина микродефекта по оси Y=213,45 нм, длина по оси X=146,64 нм, высота по оси Z ≈ 10 нм, площадь поверхности, ограниченной аппроксимирующим эллипсом = 0,09833 мкм².

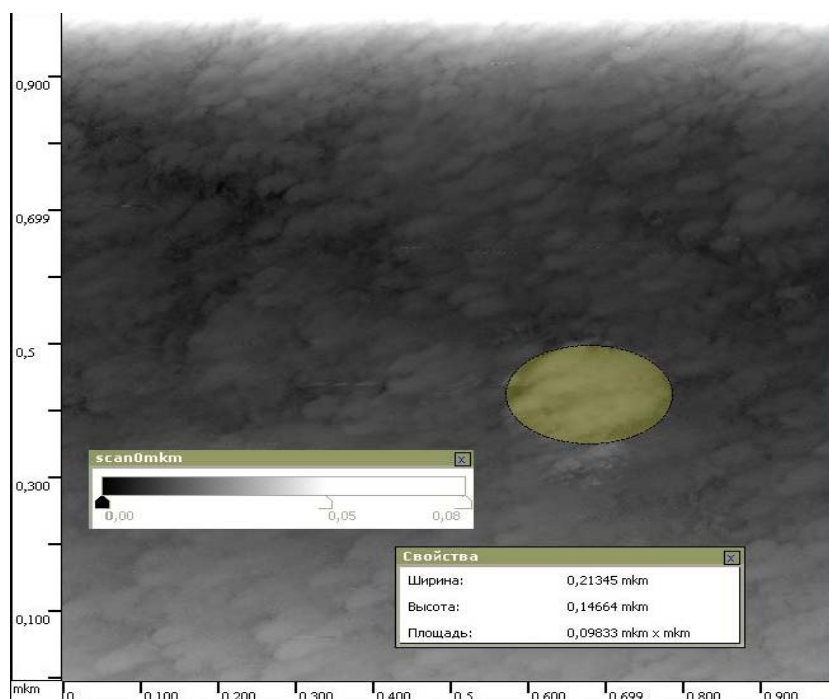


Рис. 4. Измерение площади дефекта

Также для оценки свойств топографии поверхности микродефекта предлагается использовать 3D визуализацию его поверхности. Программное обеспечение сканирующего туннельного микроскопа НТК «Умка-02Е» позволяет провести 3D визуализацию поверхности тремя способами: без фильтрации шумов, с фильтрацией шумов усреднением и с фильтрацией шумов медианной фильтрацией. Сравним эти методы на примере нашего дефекта (рис. 5, 6, 7).



Рис. 5. Без фильтрации шумов

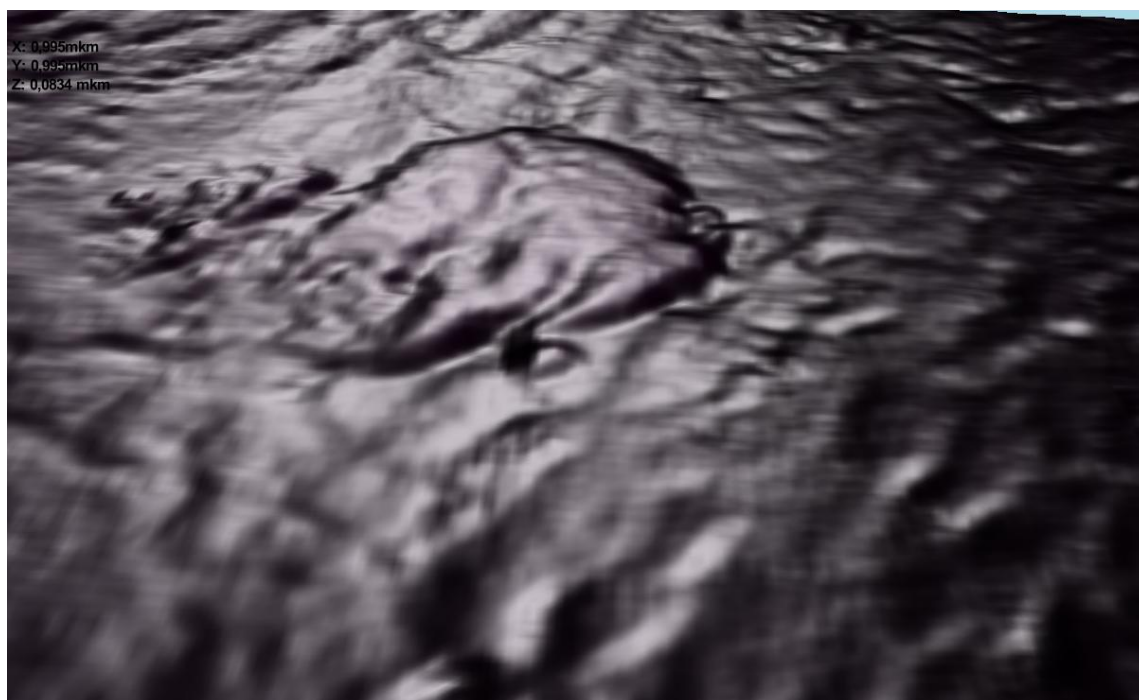


Рис. 6. С фильтрацией шумов усреднением

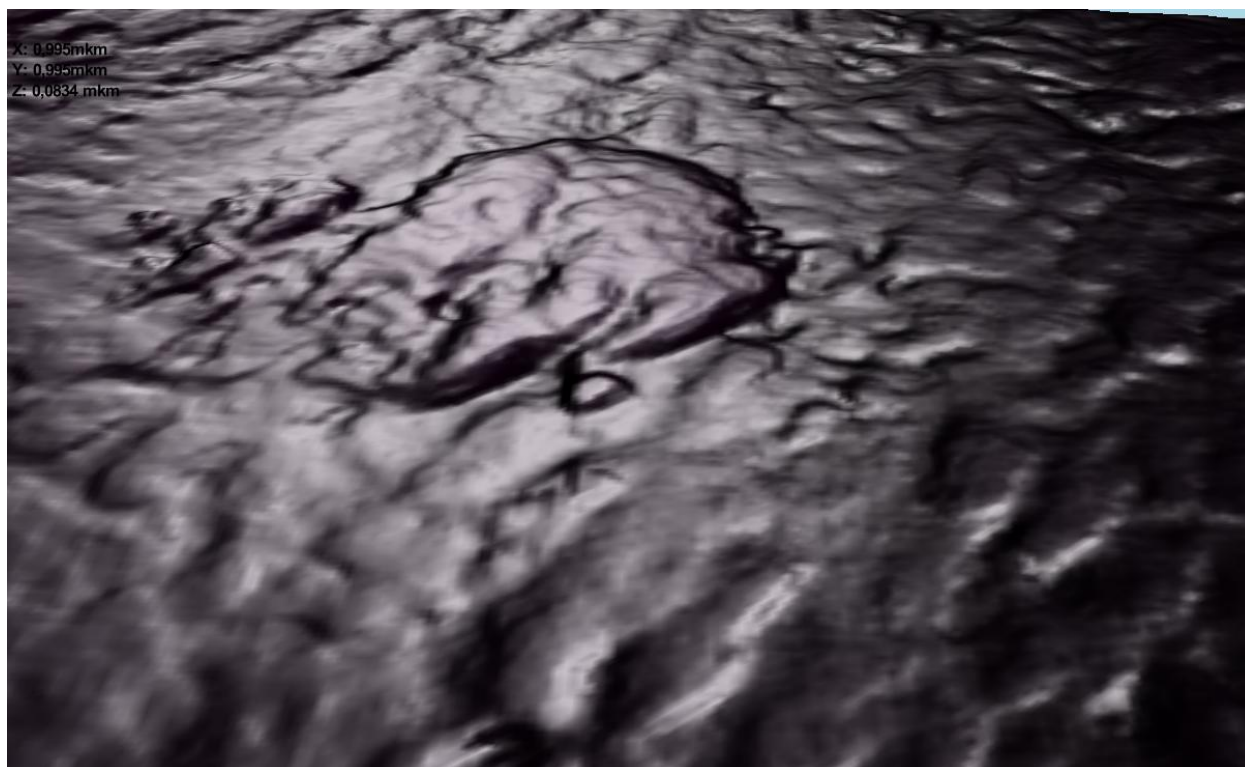


Рис. 7. С фильтрацией шумов медианной фильтрацией

Анализируя качество и отчетливость полученных изображений, можно утверждать, что при использовании метода медианной фильтрации визуальная оценка полученной 3D модели будет произведена точнее, чем при использовании других двух методов. Также для повышения объективности оценки трехмерной визуализации объекта предусмотрена возможность передвижения и поворота модели относительно осей X, Y и Z, то есть дефект можно рассмотреть со всех сторон. Данные возможности не отражены на рис. 5, 6, 7; на рисунках представлено изображение модели в фиксированном положении и с одной и той же точки на всех рисунках.

Так как хром является самым твердым металлом из чистых металлов (без примесей), напыления хрома на различные поверхности представляет большой интерес в частности в области нанотрибологии и смежных с ней областях. Также представляется интересным использование напыления хрома при создании металлорежущего инструмента, в частности режущих пластин для металлообработки. Микротвердость хрома (7500...11000 МПа) сравнима с микротвердостью кубического нитрида бора (эльбора) (7500...9500 МПа), впаивание кристаллов которого распространено в производстве металлорежущих пластин. Этот материал имеет крайне высокие твердость и абразивную способность и обладает высокой теплостойкостью, что позволяет говорить о его высокой износостойкости. Достоинство напыления хрома по сравнению с кристаллом эльбора заключается в возможности достижения более высокой микротвердости, а также хром обладает низким коэффициентом трения, что связано с его мелкозернистой структурой, гладкостью и малой вязкостью. Так, коэффициент трения скольжения хрома по хрому при граничной смазке составляет 0,12, хрома по стали — 0,16, стали по стали — 0,20. Недостатком же является тот факт, что твердость хромовых покрытий снижается при повышении температуры свыше 350 °С, что приводит к невозможности использования пластин, покрытых хромом в случаях, когда температура в зоне резания превышает 350 °С. Однако при некоторых режимах резания это условие может быть соблюдено.

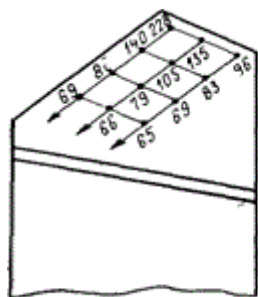


Рис. 8. Температурное поле на поверхности резца

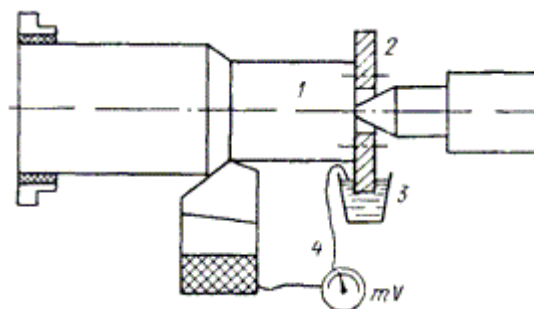


Рис. 9. Схема естественной термопары

На рис. 9 показана схема измерения температуры с помощью естественной термопары, состоящей из самого изделия и режущего инструмента (рис. 10). В процессе резания в месте контакта разнородных материалов изделия и резца вследствие нагрева возникает электродвижущая сила. Ток в этом случае направляется по обрабатываемой детали 1 через медное кольцо 2, а затем через ртуть в ванне 3, служащей для контакта вращающегося кольца 2 с проволокой 4. При этом милливольтметр покажет напряжение термотока, по которому можно судить о температуре резания. Обрабатываемое изделие изолировано от патрона и заднего центра, а резец от суппорта — при помощи прокладок. На рис. 8 представлено температурное поле на передней поверхности резца, полученное при следующих режимах резания: $v = 38$ м/мин, $t = 2$ мм; $s = 0,54$ мм/об. Как видно из рисунка максимум градиента температур составляет 228 °С. Это позволяет утверждать, что покрытие хрома, нанесенное на переднюю поверхность резца при некоторых параметрах скорости, глубины резания и подачи будет работать без потери твердости.

Если рассматривать результаты исследования поверхности напыления хрома с точки зрения нанометрологии, то возникает необходимость оценки погрешностей, самой существенной из которых представляется погрешность, связанная с качеством заготовки зонда, при помощи которого производится сканирование. Элементы исследуемой поверхности, которые меньше диаметра площадки острия зонда, через которую туннельный ток попадает на сканируемую поверхность (так называемое «пятно проводимости»), воспроизводятся с искажениями, как бы осредняются с соседними областями. Возникает необходимость оценки формы и размеров иглы. Собственная же погрешность прибора не превышает 1 \AA .

Опираясь на приведенные выше результаты исследований, можно сделать вывод о том, что сканирующий туннельный микроскоп подходит в качестве прибора контроля качества напылений проводящих металлов. С его помощью возможно получение изображений исследуемой поверхности с высоким разрешением и их обработка, причем это возможно как в режиме 2D отображения информации о топологии поверхности, так и в режиме 3D модели поверхности. По результатам анализа полученных с помощью сканирующего туннельного микроскопа данных в зависимости от требований к поверхности можно провести оценку годности исследуемого образца, а также сделать выводы о возможных причинах возникновения дефекта, опираясь на данные, полученные при изучении трехмерной модели.

Литература

1. Миронов В.К. Основы сканирующей зондовой микроскопии. М.: Техносфера, 2004.
2. Неволин В.Л. Зондовые нанотехнологии в электронике. М.: Техносфера, 2006.

3. *Карташев В. А., Карташев В. В.* Исследование движения иглы туннельного микроскопа относительно поверхности // Нано- и микросистемная техника. - 2008. - №6. - С. 13-19.
4. *Золотаревский В.С.* Механические свойства металлов. М.: МИСИС, 1998.
5. *Вульф А.М.* Резание металлов. - М.: Машиностроение, 1973
6. *Резников А.Н.* Теплофизика резания. - М.: Машиностроение, 1969
7. *Грановский Г.И.* Резание металлов. - М.: Высшая школа, 1985