

ИСКУССТВО МЕТАЛЛОГРАФИИ: ВОЗМОЖНОСТЬ АНАЛИЗА МЕТАЛЛОВ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫМИ МЕТОДАМИ

Государственное научное учреждение «Физико-технический институт НАН Беларуси»,
Минск, Беларусь

В практике металловедов встречаются различного рода задачи, предполагающие анализ как металлов и сплавов (алюминиевых, медных, железоуглеродистых и т.д.), так и различных иных материалов, в частности – пленок, покрытий, композиций смешанного типа, биметаллов, неметаллических монокристаллов. Эти объекты, как правило, можно анализировать только с применением специальных методов анализа.

Преимуществом современной регистрирующей аппаратуры является наличие различных фильтров, поляризаторов и специальных приспособлений, которые дают возможность получать контрастные черно-белые и цветковые изображения структуры. Это позволяет специалистам высокой квалификации надежно идентифицировать получаемые изображения.

Применение специальных методов анализа не всегда требуется для традиционных, широко распространенных промышленных сплавов, анализ которых не вызывает особенных затруднений. В частности, на рисунке 1 представлена микроструктура литого (в кокиль) сплава Al-5%Cu в различных масштабах увеличения, что позволяет полностью различить детали строения: характер ликвации, морфологию зерен и фаз.

Сплавы, более сложные по составу и морфологии фаз, требуют зачастую, нетрадиционного подхода.

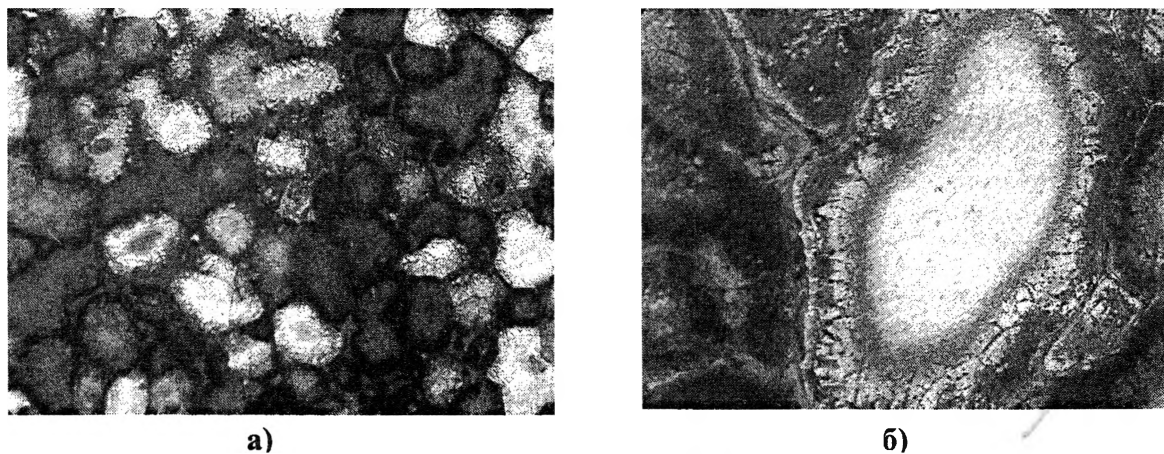
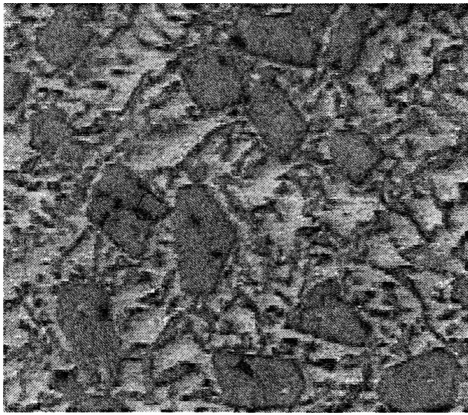
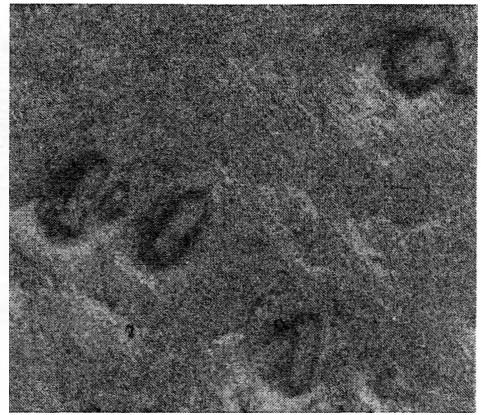


Рис.1. Микроструктура сплава Al-5%Cu; а- х78, б- х310

При наличии первичных кристаллов кремния и эвтектики заэвтектические силумины, достаточно наработанные сплавы, не вызывают трудностей (Рисунок 2а). Однако, при нарушении технологии получения отливки (несоблюдение химического состава) вероятно появление побочных особенностей структуры. В частности на рисунке 2б представлена структура сплава Al-5%Cu, загрязненного кремнием. В случае использования метода дифференциального интерференционного контраста кремниевые включения приобретают рельеф и окраску, отличную от окраски матрицы.



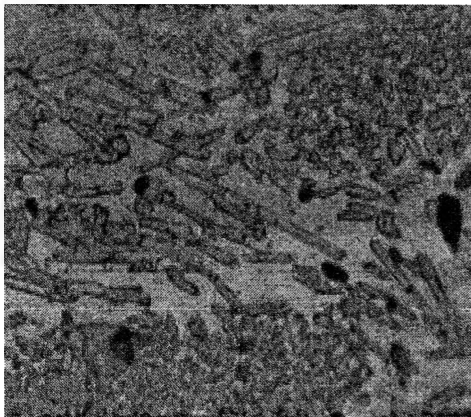
а)



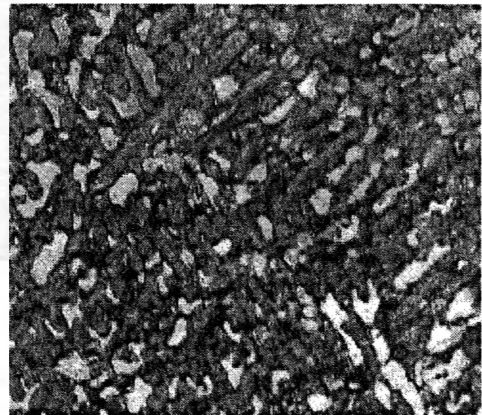
б)

Рис.2. Микроструктура литых алюминиевых сплавов:
а- заэвтектический силумин, х310; б- сплав Al-5%Cu, х160

При исследовании прецизионных сплавов важна цветовая гамма (Рисунок 3) изображения, определяющая, в каждом конкретном случае, кристаллографическую направленность фаз, отвечающих за реализацию эффекта «памяти формы».



а)

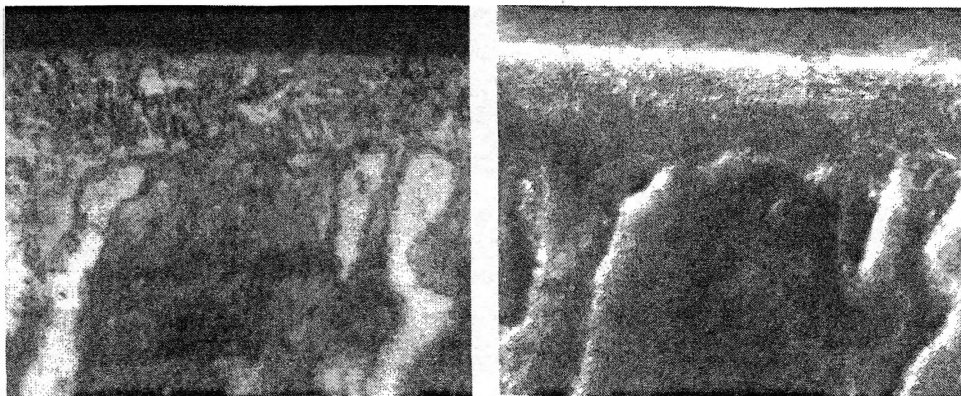


б)

Рис.3. Микроструктура сплавов с эффектом памяти формы (нитинол), х 310

Помимо использования большого увеличения (до $2000\times$), при исследовании слоистых структур необходимо использование специальных приемов. Метод темного поля дает возможность получения высококонтрастного изображения при большой разрешающей способности объектива и натурального вида окрашенных объектов. Методика исследования в темном поле предполагает использование дополнительной диафрагмы, задерживающей центральные лучи, попадающие в объектив. При этом свет, отраженный от плоской поверхности, не попадает в объектив. Поверхность при этом кажется темной. Объективом фиксируется свет, отраженный от неплоскостных участков. Сравнение изображений, полученных в светлом и темном поле, позволяет идентифицировать эффекты деформаций в перлитной структуре (Рисунок 4). На этом рисунке в темнопольном изображении зерно перлита, имеющее равномерный темный тон, можно идентифицировать как плоский объект. В светлопольном изображении в этом зерне наблюдается зональность (отмечено стрелкой), сформировавшаяся в результате плазменного упрочнения.

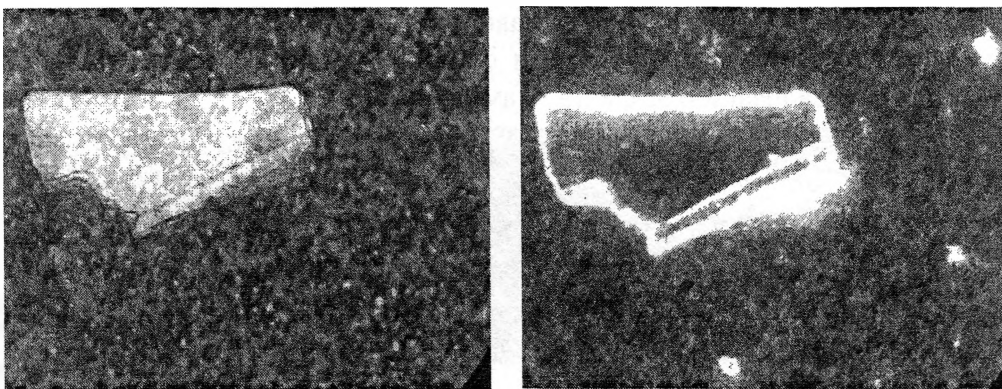
В условиях темнопольного изображения хорошо фиксируются остеклованные включения в стали ШХ15, а также дефекты структуры - пористость, включения неконтролируемых примесей (рис5.).



а)

б)

Рис.4. Микроструктура стали 45 после упрочнения азотистой плазмой; x1500



а)

б)

Рис.5. Остеклованное включение в стали ШХ15 в светлом поле (а) и темном поле (б); x1500 x0,6

В наибольшей степени специальные методы анализа востребованы для исследования объектов, «нетрадиционных» для металлургов. Как правило, анализ объемных объектов на металлографических микроскопах не производится. Для этой цели используются микроскопы серии МИН или МБИ, преимуществом которых является большая глубина резкости, позволяющая фокусировать все детали объекта. Рисунок 6а иллюстрирует возможность анализа монокристаллов с использованием метода темного поля. В светлопольном изображении видна только грань в центральной части объекта, попадающая «в резкость». Тот же принцип позволяет исследование алмазного порошка (Рисунок 6б), наблюдая при этом конкретные кристаллографические плоскости (грani).

«Экзотическим» объектом для металлурга является бумага. На рисунке 7 представлена структура писчей бумаги в обычном свете и в темном поле. При светлопольном изображении хорошо наблюдается структура волокон, их взаимное расположение. Темнопольное изображение дает возможность наблюдать тонкую структуру волокна, строение поверхности в целом, наличие пор, несплошностей.

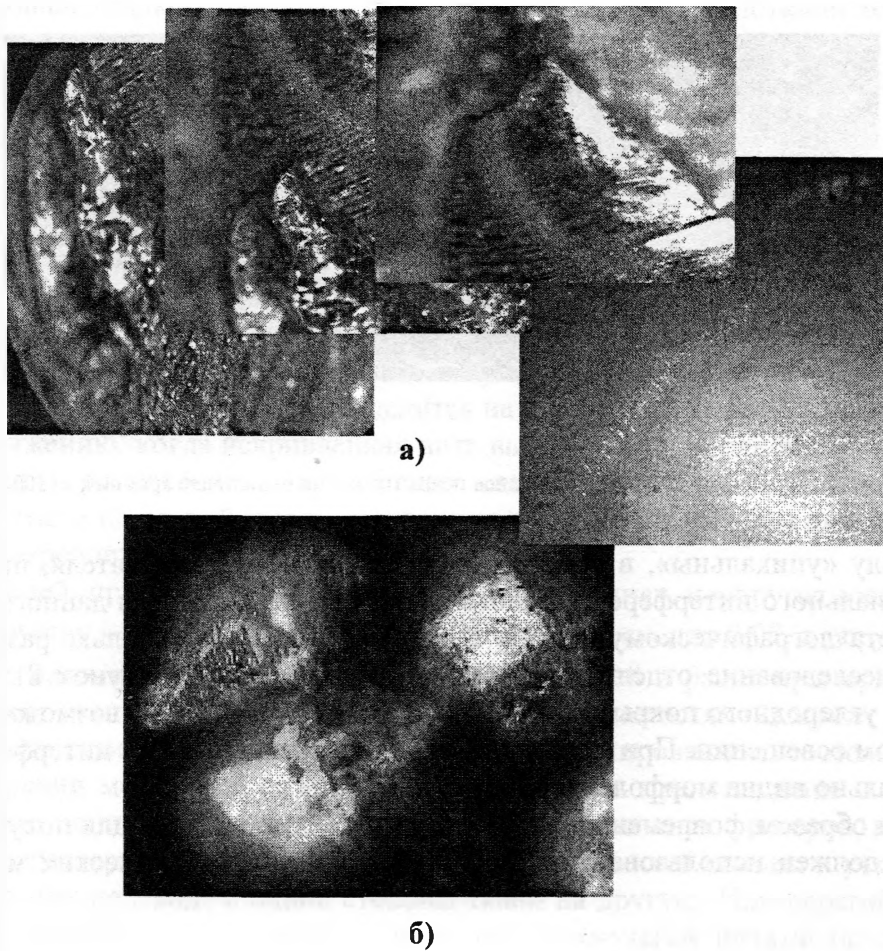


Рис.6. Изображения кристаллов:
 кристалл иттриево-бариевого граната в темном и светлом поле (а),
 кристаллы никелированного алмазного порошка (б); а- x160, б-х310

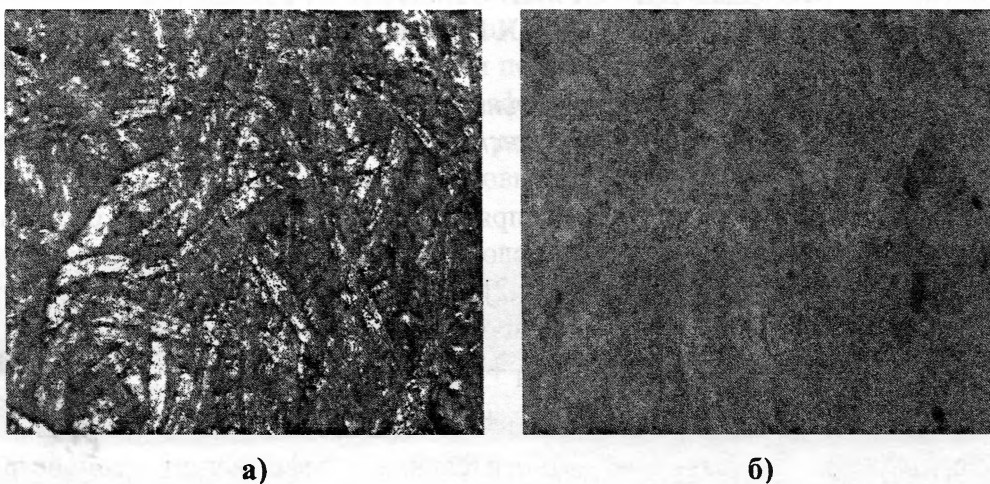
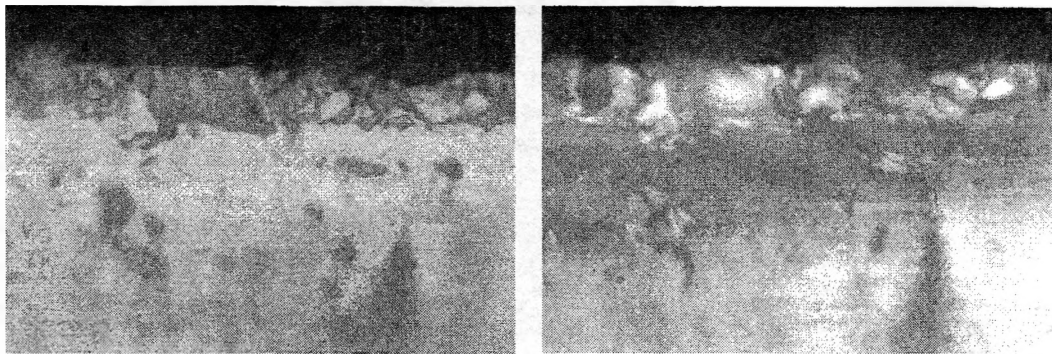


Рис.7. Структура бумаги в светлом поле (а) и темном поле (б); x140



а)

б)

Рис.8. Углеродное покрытие на монокристалле кремния; x1500

К числу «уникальны», в особенности для нашего исследователя, принадлежит метод дифференциального интерференционного контраста. Методология данного метода применительно к металлографическому анализу в настоящее время еще только разрабатывается. Тем не менее, исследование отдельных объектов уже возможно (Рисунок 8). Так, поверхность (зону слоя) углеродного покрытия на монокристалле кремния 111 возможно рассматривать в естественном освещении. При использовании дифференциального интерференционного контраста детально видна морфология подслоной зоны.

Таким образом, современный исследователь в своей работе для получения адекватного результата должен использовать широкий спектр металлографических методик исследования.

УДК 539.374

Василевич Ю.В., Сахоненко В.М., Сахоненко С.В.

МОДЕЛЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРЕПРЕГОВ В УСЛОВИЯХ РАВНОВЕСИЯ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния элементов изделий, представляющих собой многослойную композицию тканого материала и полимерного связующего (препрег), показали [1,2], что при действии внешней нагрузки зависимость между напряжениями и деформациями описывается соотношениями:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{11} &= s_{11}\sigma_{11} + s_{12}\sigma_{22} + \gamma_{11}, \\ \varepsilon_{22} &= s_{21}\sigma_{11} + s_{22}\sigma_{22} + \gamma_{22}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\varepsilon_{11}, \varepsilon_{22}$ и σ_{11}, σ_{22} – относительные деформации семейств взаимно-перпендикулярных нитей и соответствующие напряжения; γ_{11}, γ_{22} – постоянные, определяемые экспериментально для исследуемого препрега; s_{ij} ($i, j = 1, 2$) – постоянные упругости композита.

Отметим, что зависимости (1) отличаются от уравнений обобщенного закона Гука введенными постоянными величинами.