

Л. И. МИРКИН

**ВОЗНИКНОВЕНИЕ ОРИЕНТИРОВАННЫХ СТРУКТУР
ПРИ ДЕЙСТВИИ ЛУЧА ЛАЗЕРА НА МЕТАЛЛЫ**

(Представлено академиком Ю. Н. Работновым 24 I 1972)

Для современной механики и физики металлов имеет большое значение получение естественных композитов — материалов с резко анизотропными свойствами, возникающими при кристаллизации или термической обработке. Представляло интерес изучение возможностей использования импульсного нагрева металлов и сплавов лучом лазера для получения ориентированных структур. Многочисленные исследования, проведенные ранее (см., например, (1)), показали, что действие светового импульса лазера на металлы и другие непрозрачные для света материалы приводит к нагреву со скоростями, достигающими 10^{10} град/сек, плавлению, испарению и охлаждению после окончания светового импульса со скоростями, порядка 10^6 град/сек. Таким образом, скорости нагрева и охлаждения при действии луча лазера значительно больше, чем скорости, достижимые при обычно применяемых методах нагрева и охлаждения. Целью настоящего

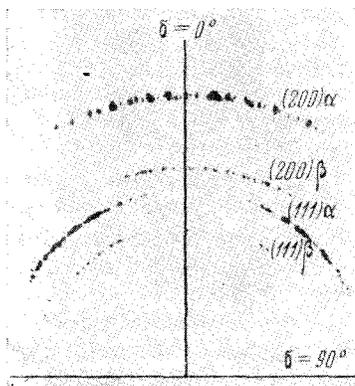


Рис. 1. Рентгенограмма слоя застывшего расплава на никеле после облучения

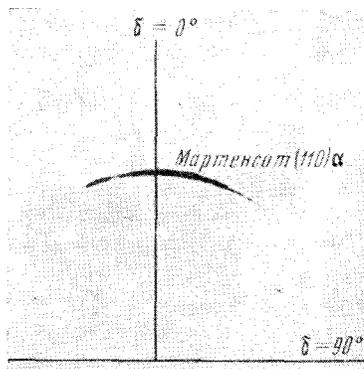


Рис. 2. Рентгенограмма железоникелевого сплава после облучения и последующего охлаждения в жидком азоте

исследования являлась попытка использования этих эффектов для получения слоя с ориентированной структурой на поверхности материалов. Изучались чистые металлы и сплавы с о.ц.к. и г.ц.к. структурой, в том числе стали, сплавы железо — никель, никель, карбиды тугоплавких металлов.

Облучение проводилось с помощью лазера ГОС-30М с длительностью импульса 10^{-3} сек с различными дефокусировками луча. Исследование проводилось металлографическим методом, а также путем рентгеноструктурного анализа на установке УРС-50 ИМ с регистрацией интенсивности сцинтилляционными счетчиками и с фотографической регистрацией на

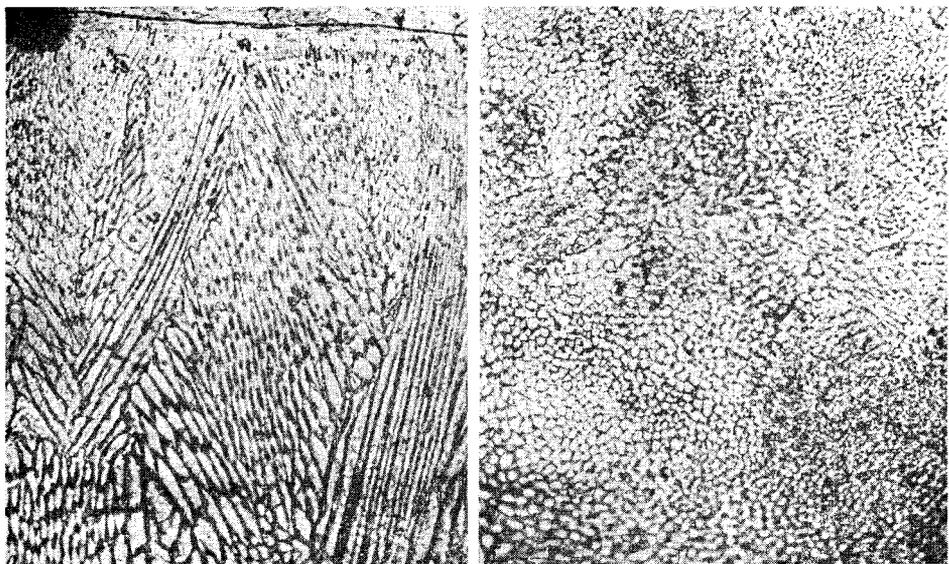


Рис. 3. Микрофотографии слоя застывшего расплава в железо-никелевом сплаве, $900\times$. *а* — сечение вдоль пути луча, *б* — перпендикулярно пути луча

плоскую пленку для нахождения текстурных максимумов. Подробно использованные методики исследования изложены в (2).

Все принятые методики исследования подтвердили, что, подбирая режим фокусировки луча, можно получить на поверхности металлов и сплавов слои с ориентированной структурой. Рассмотрим в качестве примера результаты рентгеноструктурного исследования никеля до и после облучения. До облучения на рентгенограмме, снятой с ионизационной регистрацией, наблюдалось нормальное распределение интенсивностей, например, интенсивности линий (111) и (200) относились примерно как 3:1. После облучения кривая интенсивности линии (111) на рентгенограмме практически исчезла, т. е. интенсивность линии уменьшилась не менее чем в 100 раз, интенсивность линии (200) осталась почти без изменений. Съемка на плоскую пленку с фотографической регистрацией показала, что до облучения линии на рентгенограмме были сплошными и имели равномерную толщину по дебаевскому кольцу, после облучения линии стали точечными и наблюдалась четко выраженная текстура (рис. 1). Исчезновение линии (111) при съемке ионизационным методом связано с тем, что при этом регистрация идет только в экваториальной части линии на рентгенограмме. Таким образом, данные рентгеновского исследования никеля (материала, в котором отсутствуют фазовые переходы в твердом состоянии) подтверждают возникновение преимущественной ориентировки при облучении.

Точечный характер линий на рентгенограммах указывал на возникновение крупнозернистой структуры. Поэтому преимущественную ориентировку можно было выявить и металлографическими методами. В качестве примера можно привести результаты исследования сплава на основе железа с 0,03% углерода и 30% никеля. Для этого сплава характерны аустенитная структура в отожженном состоянии, переход в мартенсит при охлаждении до температур ниже -50°C и обратный переход в аустенит при нагреве. Изучались образцы, предварительно охлажденные в жидком азоте. В результате металлографического исследования сечений облученных образцов вдоль и поперек направлений луча лазера выявлены зоны застывшего расплава и термического влияния с аустенитной структурой.

При этом в зоне расплава структура носила резко анизотропный характер, с кристаллами аустенита, вытянутыми вдоль направления действия луча. В качестве примера на рис. 3 приведены микрофотографии этой зоны при сечении вдоль (рис. 3а) и поперек (рис. 3б) направления луча лазера.

Отметим, что аналогичные эффекты ориентировки наблюдались в зоне расплава и для химических соединений, например, в карбиде ТаС.

Представляло интерес исследовать существование наследования ориентировок поверхностного слоя при фазовых переходах в твердом состоянии. Соответствующие эксперименты показали, что этот эффект действительно существует. В качестве примера на рис. 2 приведена рентгенограмма зоны расплава железо-никелевого сплава после охлаждения в жидком азоте. Из рентгенограммы видно, что после превращения ориентированного аустенита в мартенсит не только возникает ориентированная структура, но и происходит дробление кристаллов, приводящее, как известно ⁽³⁾, к повышению прочностных характеристик.

Отметим, что наиболее четко эффекты ориентировки проявляются в однофазных материалах, где число центров кристаллизации сравнительно невелико. Однако при других видах импульсного нагрева, например насыщении железа углеродом с использованием энергии ударных волн, удается получить ориентированный цементит в аустенито-цементитной структуре.

Таким образом, механизм возникновения ориентированных слоев при действии луча лазера, по-видимому, связан с большими скоростями охлаждения тонкого слоя жидкого металла на поверхности твердого ⁽⁴⁾. Направленный теплоотвод в жидком слое приводит к появлению пластинчатых или игольчатых кристаллов, вытянутых вдоль направления луча.

Представляет интерес нахождение оптимальных условий получения ориентированных слоев для ряда практически важных случаев, например одноосно кристаллизующихся эвтектик.

В заключение автор выражает благодарность О. П. Максимовой за предоставление железо-никелевого сплава, А. М. Аверьяновой и Л. Л. Крапивину за помощь при выполнении экспериментов и И. М. Грязнову за обсуждение результатов.

Научно-исследовательский институт механики
Московского государственного университета
им. М. В. Ломоносова

Поступило
17 I 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Л. И. Миркин, М. Ф. Филипецкий, ДАН, 172, № 3, 580 (1967). ² Н. Н. Качанов, Л. И. Миркин, Рентгеноструктурный анализ, М., 1960. ³ Л. И. Миркин, Физические основы прочности и пластичности, М., 1968. ⁴ В. Ф. Бреховских, А. Н. Кокора, А. А. Углов, Физ. и хим. обработка матер., № 6 (1967).