

потоке $\pm 4,5\%$. Поглощение рентгеновских лучей при напряжении 4 кВ на пути 18 мм при 0,1 от нормальной плотности достигает около 20%.

Описываемый метод поглощения может быть с успехом применён для калибровки сопел в большом диапазоне плотностей невозмущённого потока путём соответствующего подбора длин волн рентгеновского излучения. Получение длин волн порядка 8 кВ и больше лимитируется поглощением в окошках рентгеновской трубки.

Для исследования изображений потока в ударной волне требуются более узкий диаметр пучка и большая его интенсивность, чем это имело место при получении ориентировочных измерений, приведённых на рис. 2.

Г. Г.

НОВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ О «ДИСЛОКАЦИЯХ» В МЕТАЛЛЕ

В современной теории механических свойств металлов важную роль играет понятие о так называемых «дислокациях». Дислокация — это линейный изъём решётки; она характерна тем, что в каком-то из рядов

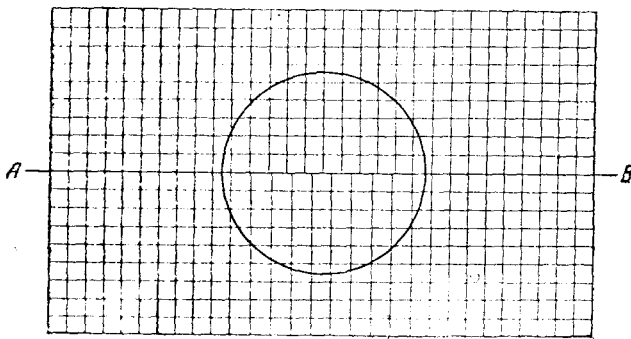


Рис. 1.

решётки присутствует лишний ион или, наоборот, нехватает иона. На рис. 1 изображено расположение атомов (узлы решётки) при дислокации. Внутри круга над линией АВ (вдоль неё) клеток (атомов) на одну больше, чем под ней. Нетрудно видеть, что напряжение, необходимое для того, чтобы сдвинуть дислокацию на одно межуатомное расстояние, очень мало по сравнению с напряжением, необходимым для относительного сдвига плоскостей кристалла (примерно в 10^6 раз меньше). Действительно, пары атомов, расположенные симметрично по обе стороны от центра дислокации (рис. 2, атом Б), испытывают со стороны верхней плоскости равные и противоположные силы. Следовательно, если атомы вблизи центра дислокаций смещены на равные расстояния, то половина их испытывает силы, противодействующие смещению, а другая половина — силы, содействующие смещению (см. рис. 2), так что

в первом приближении работа, затраченная на перемещение дислокации, равна нулю, т. е. дислокации весьма подвижны. Напряжённое состояние в металле характеризуется числом дислокаций и их расположением. Теория дислокаций объясняет ряд закономерностей в механических свойствах металлов (см.^{1,2}).

Изменение напряжений в образце связано с передвижением дислокаций по металлу. При этом движении возникают силы сопротивления (взаимодействие дислокаций с атомами решётки, между собой, с атомами примеси и т. д.), поэтому движение дислокаций — процесс необратимый, оно ведёт к рассеянию энергии и к появлению внутреннего трения.



Рис. 2.

Если такое объяснение эффекта внутреннего трения правильно, то при некоторых условиях (периоде колебаний, равном времени установления напряжённого состояния) внутреннее трение должно достигать максимума^{1, 3, 4}. Однако такого максимума внутреннего трения до самого последнего времени наблюдать не удавалось. Это можно объяснить высокой подвижностью дислокаций в чистых металлах, а стало быть, и очень малым временем релаксации. В сплавах, однако, дислокации должны двигаться медленнее. Дело в том, что состояние, при котором атом примеси расположен в дислокации, энергетически выгоднее, чем состояние, при котором атом примеси и дислокация разделены⁵. Поэтому, с одной стороны, дислокации присоединяют к себе атом примеси, а с другой, — в тех местах, где расположены атомы примеси, движение свободных дислокаций значительно тормозится. По этим двум причинам время релаксации растёт и максимума внутреннего трения следует ожидать, даже в условиях комнатной температуры, при сравнительно небольших частотах колебаний. Недавно сотруднику Института технической физики Академии наук Китайской Народной Республики в Пекине Цзян-Суй-ке удалось впервые наблюдать этот максимум на кривых зависимости внутреннего трения от температуры и от напряжения⁶. Коэффициент внутреннего трения определялся в его опытах как поделённый на π логарифмический декремент свободных крутильных колебаний образца ($\frac{\delta}{\pi} = Q^{-1}$). Исследуемый образец был изготовлен путём сплавления в вакууме алюминиевого бруска (Al чистоты 99,991%) с шариками электролитической меди. Химический анализ показал, что в полученном сплаве содержится 0,5% Cu и менее чем 0,01% Fe и Si. После соответствующей термической и механической обработки образцу была придана форма стержня длиной около 30 см и диаметром 0,83 мм. Затем этот стержень был отожжён при 300°C (время отжига 1 час). Металлографическое исследование после отжига показало, что процесс рекристаллизации в образце уже начался, но далеко ещё не закончен, большинство зёрен неправильной формы, с искажением границ.

Отожжённый образец помещался в сконструированный автором ⁷ прибор для крутильных колебаний, и затем измерялись амплитуды последовательных малых отклонений. Со стержнем было скреплено, как обычно, небольшое зеркальце; луч света, отражённый от зеркальца, падал на шкалу, расстояние между зеркальцем и шкалой составляло 3 м. При максимальной амплитуде колебаний смещение светового зайчика по шкале не превышало 3 см. На рис. 3 (кривая *a*) показаны последовательные амплитуды свободных крутильных колебаний образца при $t = 50^\circ \text{C}$. На оси абсцисс обозначены порядковые номера колебаний, по оси ординат отложены соответствующие смещения светового луча по шкале. Тангенс угла наклона касательной к этой кривой равен при малом затухании логарифмическому декременту колебаний. Из графика видно, что коэффициент внутреннего трения (Q^{-1}) вначале мал, затем возрастает, проходит через максимум и вновь падает. Автор называет внутреннее трение, подчиняющееся такому закону, аномальным. Оно наблюдается, однако, не всегда. В чистом Al без примеси меди такой аномалии внутреннего трения не обнаружено ⁸. Если исследованный сплав подвергнуть вторичному отжигу (в течение 2 час. при 400°C), то эффект аномального внутреннего трения также пропадёт. При таком отжиге происходит полная рекристаллизация образца и зёрна приобретают правильную структуру. Закон затухания колебаний меняется (рис. 3, кривая *b*): наклон кривой, а стало быть, и коэффициент внутреннего трения, в высокой степени постоянны.

Амплитуда крутильных колебаний связана с величиной напряжений в образце, так что зависимость внутреннего трения от амплитуды можно свести к зависимости внутреннего трения от напряжений. На рис. 4 показана полученная таким образом из кривой *a* рис. 3 зависимость внутреннего трения от величины напряжений в образце при 50°C . Необходимо отметить, что кривые этого типа зависят также от «истории» образца — от приложенных к нему в прошлом напряжений и от времени, протекшего после отжига. Тем не менее большое число опытов, сделанных автором при самых различных условиях, показывает, что само существование максимума на кривых зависимости внутреннего трения от напряжения и от температуры не подлежит никакому сомнению. Это вполне согласуется с теорией дислокаций. Число «заторможенных» дислокаций, утративших свою подвижность, зависит от числа атомов примеси (в данном случае — меди) и от холодной обработки, которой был подвергнут образец. Когда напряжение ещё очень мало, большинство «заторможенных» дислокаций не успевает за один период колебаний сместиться на сколько-нибудь значительное расстояние, так что потери на внутреннее трение малы. Когда напряжение в образце, наоборот, весьма велико, «заторможенные» дислокации отрываются от окружающих их атомов меди. Приобретая, таким образом, значительную подвижность, они при своём движении рассеивают мало энергии, так что внутреннее трение тоже мало. В промежуточном случае (при средних напряжениях), когда время релаксации того же порядка, что и период колебаний, коэффициент внутреннего трения значителен.

Автором также исследована при нескольких заданных напряжениях зависимость внутреннего трения от температуры, причём изучалась температурная зависимость коэффициента аномального внутреннего трения, вычисляемого как разность между полным внутренним трением (кривая *a*, рис. 3) и нормальным внутренним трением (кривая *b*, рис. 3). Полученная зависимость изображена на рис. 5. Характерно наличие на кривой резонансного максимума. Этот максимум автор также объясняет торможением дислокаций атомами меди. При низких температурах подвижность атомов меди мала, мала и подвижность связанных с ними дислокаций. За период дислокации смещаются очень мало. При времени

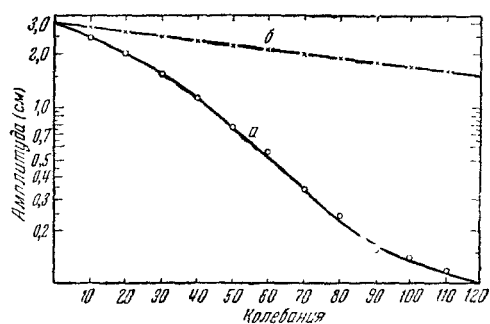


Рис. 3.

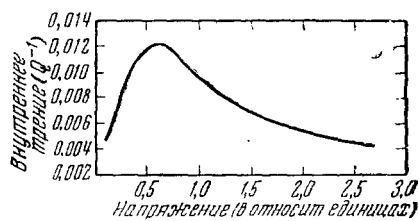


Рис. 4.

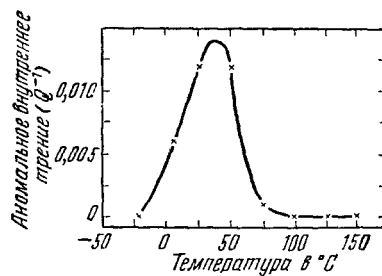


Рис. 5.

релаксации, сравнимом с периодом колебаний, внутреннее трение максимально. При этих температурах дислокация успевает за период сместиться на значительное расстояние и в то же время сопротивление её движению со стороны атомов меди ещё велико. При более высоких температурах расстояние, пройденное дислокацией за период, возрастает, но зато резко падает сопротивление её движению со стороны захваченных ею атомов меди. Потери за период падают, внутреннее трение опять уменьшается.

М. Г.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Я. И. Френкель, Введение в теорию металлов, гл. 22, 2 изд., Гостехиздат, 1950.
2. Ф. Зейтц, Физика металлов, гл. 6 и 10, Гостехиздат, 1947.
3. Zener, Elasticity and Anelasticity of Metals, Univ. of Chicago Press., 1948.
4. T. S. Ké, Trans. Amer. Inst. Min. and Met. Engrs. **176**, 448 (1948).
5. Cottrell, Report on the Strength of Solids, Phys. Soc. London, 1948, стр. 30.
6. T. S. Ké, Science Report of Academia Sinica, Peking, **3**, 61 (1950).
7. T. S. Ké, Phys. Rev. **71**, 533 (1947).
8. T. S. Ké, Trans. Amer. Inst. Min. and Met. Engrs. **188**, 575 (1950).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ФОТОГРАФИЧЕСКОГО ПОЧЕРНЕНИЯ

В числе усилителей, применяемых в фотографии, употребляются растворы, содержащие соли урана (например, азотнокислый уранил¹). В процессе усиления урановые соли откладываются в местах почернений фотоэмульсии. Поэтому, если к снимку, обработанному урановым усилителем, контактно приложить чувствительную к α -лучам пластинку, то под действием α -частиц получится копия фотографического изображения.

В реферируемой работе² снимок (из магнитного спектрографа) с тремя линиями с интенсивностями 1:0,2:0,003 усиливался урановым раствором. Применялся обычный уран с естественной смесью изотопов. На копии, полученной контактным способом в результате трёхдневной экспозиции, можно было визуальнo различить все три спектральные линии. Однако копия была слабее оригинала.

Увеличение активности поглощённого снимком урана приводит к усилению копии. Замена одного и того же весового количества урана в естественной смеси изотопов на изотоп U^{234} (период полураспада $T = 3 \cdot 10^5$) увеличивает число α -частиц, излучаемых в 1 сек., в 7500 раз. Таким образом, применение обогащённого урана во много раз усиливает эффективность излагаемого способа копирования.

Автор работы², не располагая обогащённым ураном, добавил в фотографический усилитель к 10 мг урана 10 мкг нитрата Pu^{239} ($T = 2,41 \cdot 10^5$). Если считать, что плутоний поглощается почернениями так же, как и уран, то в этом случае активность снимка увеличилась бы в 40 раз. На опыте за полчаса контактной печати получи-