

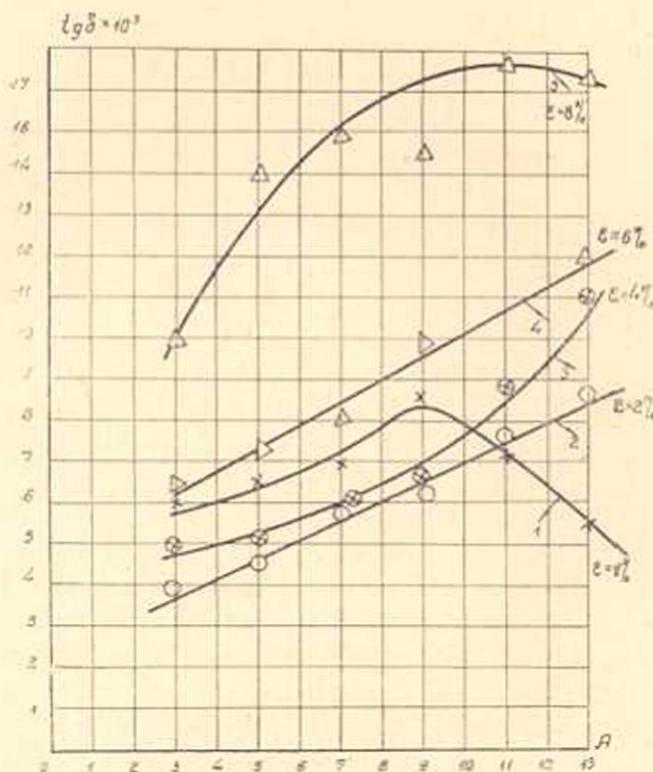
А. А. Дургарян, А. М. Мецбурян

Внутреннее трение алюминия в зависимости от амплитуды колебания, предварительной пластической деформации и времени

Исследования зависимости внутреннего трения от амплитуды колебаний для меди Рилом [1], монокристаллов олова и висмута, а также предварительно пластически деформированной меди Швидковским и Дургаряном [2], показали, что внутреннее трение ($\text{tg}\delta$) зависит от амплитуды колебания нелинейно; в этой зависимости обнаружено также явление гистерезиса [2]. Установлено, что $\text{tg}\delta$ в зависимости от предварительной пластической деформации имеет максимум [2], [3], [4]. Эти измерения проводились на частотах порядка нескольких десятков килогерц. Характер упомянутых явлений в теории дислокаций объясняется двумя механизмами. Во-первых, вязким механизмом внутреннего трения (Виртман и Келер [3]), на основании которого получается, что максимум зависимости внутреннего трения от предварительной пластической деформации есть функция частоты; при этом с увеличением частоты максимум смещается в область больших деформаций, что подтверждается в ряде экспериментальных работ [2, 3, 4], проведенных с частотами в несколько десятков килогерц.

Второй механизм теории дислокаций, обусловленный свойствами петли гистерезиса статической диаграммы напряжение—деформация, устанавливает, что зависимость внутреннего трения от предварительной пластической деформации не является функцией частоты. Не зависит от частоты также и нелинейный характер амплитудной зависимости [1, 2, 5]. Таким образом, экспериментально установленные факты, при измерении на высоких частотах $\text{tg}\delta$ в зависимости от предварительной пластической деформации, находятся в согласии с теорией, базирующейся на вязком механизме. Однако, соответствующие измерения на низких частотах, насколько нам известно, не проводились. Амплитудная зависимость $\text{tg}\delta$ при высоких частотах [1, 2] объясняется гистерезисным механизмом, но и в этой области почти отсутствуют измерения на низких частотах.

В настоящей работе приводятся результаты исследования зависимости $\operatorname{tg} \delta$ от амплитуды колебания и от величины предварительной пластической деформации (кручением) на частотах ~ 1 гц, методом крутильных колебаний [8].



Фиг. 1. Зависимость внутреннего трения A' от амплитуды колебаний. Кривые 1 и 5 сняты при обратном порядке измерений.

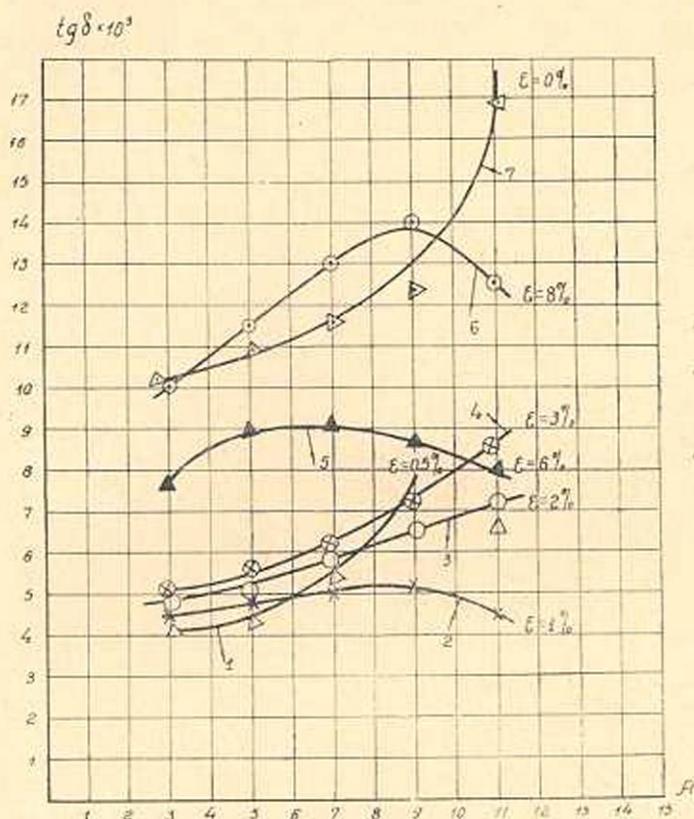
На фиг. 1 и 2 приводятся результаты измерения зависимости $\operatorname{tg} \delta$ от амплитуды колебания (A —в относительных единицах) для крупнозернистых, отожженных образцов алюминия и образцов, предварительно пластически деформированных на разные величины после отжига.

Первое, что можно отметить—это нелинейная зависимость $\operatorname{tg} \delta$ от амплитуды колебаний, также как и в случае высоких частот [1, 2, 5].

Нелинейный характер амплитудной зависимости внутреннего трения на частоте 1 гц для алюминия (фиг. 3) ранее был получен одним из авторов [6].

Второй важный результат—это наличие максимумов на кривой внутреннее трение—амплитуда колебаний (фиг. 1, 2), причем эти максимумы выявляются, когда измерение проводится в обратном порядке, т. е. начинается с больших амплитуд с дальнейшим постепенным

уменьшением ее. Это явление объясняется на основе механизма, упомянутого в работах [1, 2, 6]. Действительно, когда при измерении амплитуда колебаний увеличивается, образуются новые дислокации и, следовательно, увеличивается рассеянная энергия, а при обратном

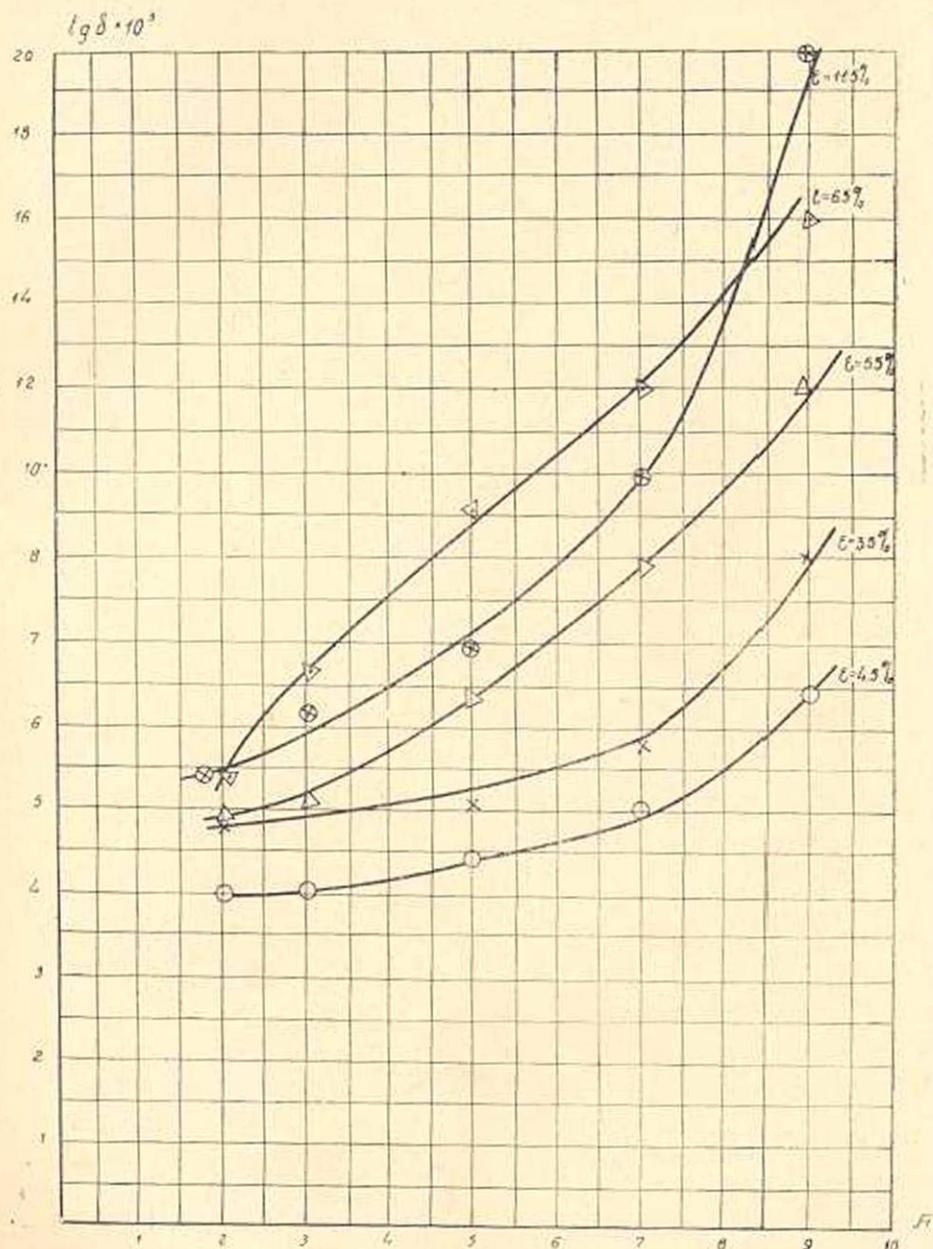


Фиг. 2. Зависимость внутреннего трения Al от амплитуды колебаний. Кривые 2, 5, 6 сняты при обратном порядке измерений. Отличие от данных, приведенных на фиг. 1, обусловлено большим отжигом образцов.

ходе измерений, когда амплитуда колебаний уменьшается, вновь образованные дислокации не сразу выходят на границу или уничтожаются, вследствие чего значение внутреннего трения, уменьшаясь, всегда будет больше, чем при тех же амплитудах в прямом порядке измерений.

Если измерения начинаются сразу с больших амплитуд колебаний, то при этом образуются новые дислокации; с уменьшением амплитуды (но при все еще относительно больших значениях ее) продолжается образование новых дислокаций, следовательно, увеличивается и внутреннее трение. До максимального значения внутреннего трения число образующихся дислокаций постепенно уменьшается, после максимума новые дислокации вообще не образуются, а число

имеющихся дислокаций уменьшается за счет их частичного уничтожения и выхода на границу зерен и блоков. Это наводит на мысль, что образование новых дислокаций при колебаниях происходит со



Фиг. 3. Зависимость внутреннего трения A' от амплитуды колебаний [6].

временем, а скорость их образования, уничтожения и выхода на границу—кончена.

Наблюдения одних и тех же явлений на низких и высоких час-

тотах говорят в пользу гистерезисного механизма зависимости внутреннего трения от амплитуды колебаний. Отметим также, что на исследованных частотах порядка герца, как и на высоких частотах исследованных ранее, наблюдается изменение характера амплитудной зависимости $\text{tg}\delta$ и его абсолютного значения в зависимости от предварительной холодной обработки.

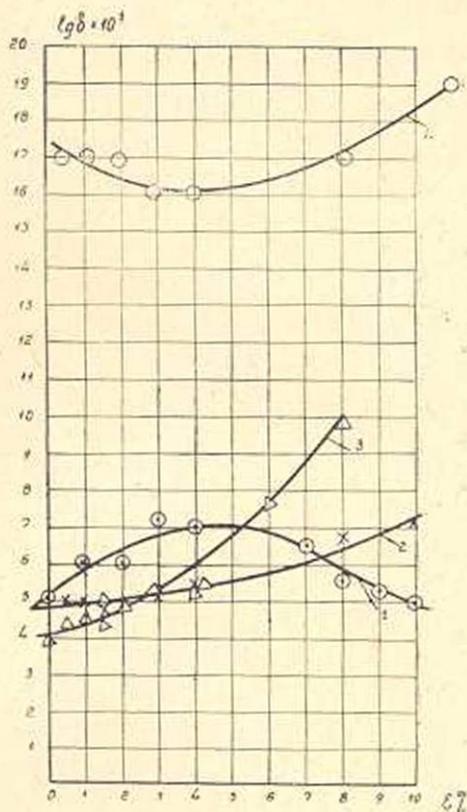
На фиг. 4 приводятся результаты измерения $\text{tg}\delta$ в зависимости от предварительной пластической деформации (ϵ) на частоте $\sim 0,3-1,5$ гц для поликристаллических, предварительно отожженных образцов длиной 300 мм и диаметром 0,8 мм, состоящих из 10-15 кристалликов. У разных образцов средняя величина кристалликов была различная. Как видно из фиг. 4, кривые, которые получены для частоты 1,5 гц проходят много выше, чем кривые для частоты 0,3 гц. Этот пример и результат, полученный ранее одним из авторов (фиг. 5) [6], показывает, что зависимость $\text{tg}\delta$ от ϵ имеет нелинейный характер, как это наблюдалось и для частот в несколько десятков килогерц.

В результатах, приведенных на фиг. 5, для каждого образца измерения проводились дважды. Первое измерение проводилось через 0,5 часа после предварительной пластической деформации, а второе — через 24 часа.

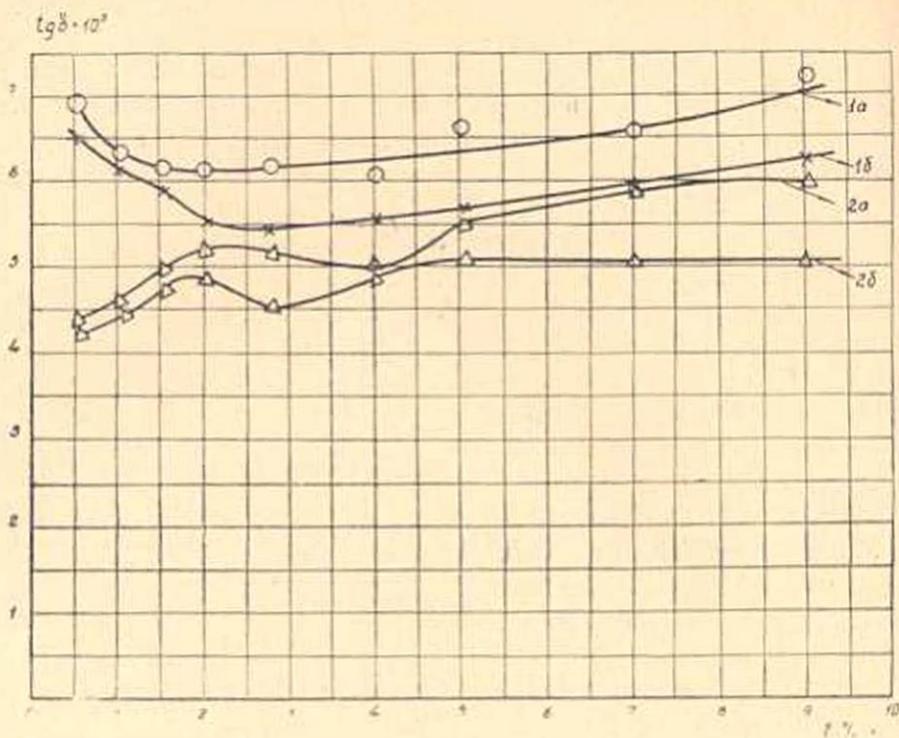
Как видно из фиг. 5, характер кривой от этого не меняется, хотя значение $\text{tg}\delta$ уменьшается со временем.

Для проверки временной зависимости $\text{tg}\delta$ у различно деформированных образцов и оценки времени, необходимого для получения устойчивых значений $\text{tg}\delta$, был поставлен опыт (фиг. 6) [6].

Этот опыт показывает, что при заданных деформациях уже через 2,5 часа значение $\text{tg}\delta$ почти не меняется со временем. Результаты, приведенные на фиг. 4, получены измерением через 24 часа после каждой пластической деформации. Аналогичные результаты по временной зависимости $\text{tg}\delta$ при различных предварительных деформациях получены также В. С. Постниковым [7] для сплава Fe-W.

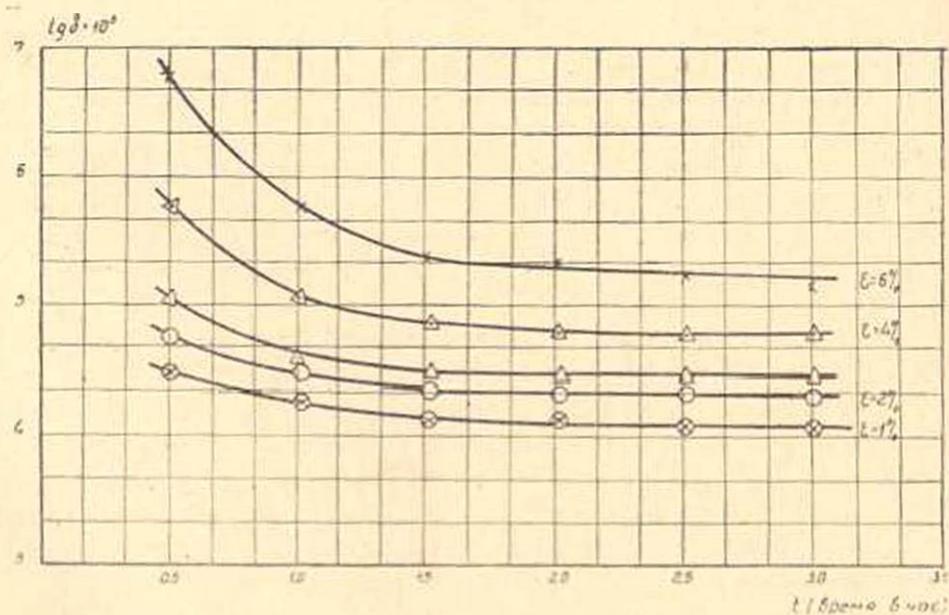


Фиг. 4. Зависимость внутреннего трения A' от предварительной пластической деформации для различных степеней отжига образцов: Кривые 1, 2, 3 сняты при частоте 0,3 гц, а кривая 4—1,5 гц.



Фиг. 5. То же, что и на фиг. 4.

Кривые 1 и 2 отличаются разной степенью отжига образцов. Кривые 1а и 2а сняты через 0,5 часа после каждой деформации, кривые 1б и 2б—через 24 часа.



Фиг. 6. Временная зависимость внутреннего трения Al для различно предварительно пластически деформированных образцов.

Полученный различный характер зависимости $\lg \delta$ от ε объясняется разницей в величине предварительного отжига и, по всей вероятности, различной величиной зерен в этих образцах.

Сопоставление полученных результатов с результатами для высоких частот [2, 3, 4] показывает, что они оба имеют одинаковый характер зависимости. Однако, если на высоких частотах наблюдается частотная зависимость положения максимума (что говорит в пользу теории вязкого механизма Виртмана и Келера [3] для высоких частот), то в случае низких частот, несмотря на наличие подобных результатов (см. фиг. 5), определенного вывода в пользу вязкого механизма сделать нельзя, т. к., с одной стороны теория Виртмана и Келера относится к высоким частотам и, с другой стороны, в силу большой разницы частот (отличие в 10^5 раз) можно думать, что при низких частотах действует некий другой механизм.

Выяснение этого вопроса требует дальнейших экспериментальных и теоретических исследований.

Ереванский государственный университет

Поступила 19 X 1959

Ա. Գ. ԴՈՒՐԳԱՐՅԱՆ, Լ. Մ. ՄԵԾՐՈՒՐՅԱՆ

ԱՆՅՈՒՄԻՆԻ ՆԵՐՔԻՆ ՇՓՄԱՆ ԿԱԽՈՒՄԸ ՏԱՏԱՆՄԱՆ ԱՄՊԼԻՏՈՒԴԱՅԻՑ. ՆԱԽՆԱԿԱՆ ՊԼԱՍՏԻԿ ԴԵՖՈՐՄԱՑԻԱՅԻՑ ԵՎ ԺԱՄԱՆԱԿԻՑ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Ներկա հոդվածում ուսումնասիրվում է Al -ի լարի ներքին շփումը՝ կախված տատանման ամպլիտուդայից, նախնական պլաստիկ դեֆորմացիայից և ժամանակից մեկ հերց հաճախականության մասակալքում ոլորման տատանումների մեթոդով [8]:

Պարզվում է, որ եթե ամպլիտուդային կախումը (ֆիգ. 1, 2, 3) կարելի է բացատրել նույն մեխանիզմով, ինչ որ բարձր հաճախականությունների դեպքում [1, 2] (դիսլոկացիոն տեսության հիստերեզիսային մեխանիզմ), ապա ներքին շփման բնույթը՝ կախված նախնական պլաստիկ դեֆորմացիայից (ֆիգ. 4, 5), ցածր հաճախականությունների համար պարզ չէ:

Ներքին շփումը՝ կախված տատանման ամպլիտուդայից, կարող է ունենալ նաև մաքրիմում (ֆիգ. 1, 2), որը նույնպես բացատրվում է ներքին շփման հիստերեզիսային մեխանիզմով:

Բացի այդ, հոդվածում բերվում է տարբեր նախնական դեֆորմացիաներ ունեցող լարերի ներքին շփման կախումը ժամանակից (ֆիգ. 6):

ЛИТЕРАТУРА

1. Read T. A. The Internal friction of single metal crystals, Phys. Rev. 58, 371, 1940.
2. Швидковский Е. Г., Дургарян А. А. Зависимость внутреннего трения и модуля упругости от амплитуды колебаний и предварительной холодной обработки для некоторых металлов. Научные доклады высшей школы, физико-математические науки, 5, 217, 1958.
3. Weertman Y. and Koehler I. S. Internal friction and Jaungs modulus of cold-worked copper single crystals, Journ. Appl. Phys. 24, 624, 1953.
4. Швидковский Е. Г., Дургарян А. А., Тяпунина Н. А. О механизме внутреннего трения в пластически деформированных кристаллах. Научные доклады высшей школы, физико-математические науки, 5, 172, 1958.
5. Nowick A. S. Variation of Amplitude-Dependent internal friction in single crystals of copper with frequency and temperature, Phy. Rev. 80, 249, 1950.
6. Дургарян А. А. Кандидатская диссертация. Исследования внутреннего трения и модуля Юнга некоторых металлов. Москва, физ. фак. МГУ, 1948.
7. Постников В. С., Лебедев Р. С. Влияние пластической деформации на внутреннее трение сплавов железо-вольфрам. Ф. М. М., том VIII, вып. 1, стр. 95, 1959.
8. Ке Тин-Суй. Опытное доказательство вязкого поведения границ зерен в металлах. Упругость и неупругость металлов. Изд. И. Л., Москва, 1954, стр. 198 (Phys. Rev. 71, 533, 1947).