

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ МЕДИ ПАЛЛАДИЕМ НА ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ

Н.В. Камышанченко^{1}, И.А. Беленко¹⁾, В.Е. Пеньков¹⁾, И.М. Неклюдов²⁾*

¹⁾Белгородский государственный университет

²⁾Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»

Кристаллическая медь всегда была востребована не только как материал, удобный для проведения научных экспериментов, но и как материал, нашедший широкое применение в промышленности. В последние годы, особенно после принятия целевой программы «Международный термоядерный реактор ИТЭР» [1,2] и с изучением возможности использования в качестве конструкционных материалов [3], вопросы, связанные с упрочнением меди легированием, занимают в научных исследованиях приоритетное положение.

Известно, что легирование заметно влияет на кинетику движения и распределения дислокаций и сопровождается значительным изменением характеристик деформационного упрочнения. Наличие примесей оказывает существенное влияние не только на изменение характера дислокационной структуры, но и на состояние границ зёрен, на процессы передачи деформации через границу зерна. Поэтому представлялось интересным исследование влияния легирования на физико-механические свойства металла.

Одним из способов исследования упругих и прочностных свойств металлов является исследование амплитудной зависимости внутреннего трения. Измерения внутреннего трения при различных частотах, амплитудах деформации и температуре опыта позволяют получить дополнительную информацию о свойствах дефектов, их расположении в материале, о взаимодействии дефектов друг с другом и, кроме того, самые разнообразные сведения о внутренних перестройках в микроструктуре материала, когда на него оказывается внешнее воздействие. Получить такую обширную информацию другими методами трудно, а иногда и просто невозможно.

Материалы и методика

Так как условия эксплуатации медных материалов предполагают воздействие на них водородоподобных газов, в качестве объектов исследования были выбраны технически чистая медь электроннолучевой плавки (МВЭ), выплавляемая по ГОСТ 11-80 из шихты М00к, и сплав меди с двумя процентами по массе палладия (МВП), не склонные к проявлению «водородной хрупкости». Химический состав исследуемых образцов меди приведен в табл. 1.

Для исследования внутреннего трения использовались плоские образцы сечением $2,5 \times 0,2 \text{ мм}^2$ и длиной рабочей части 40 мм. Образцы получали штамповкой из лент, отобранных для исследований материалов. Исследования проводили при комнатной температуре после отжига в вакууме $2,7 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$ при температуре 800°C в течение 30 минут.

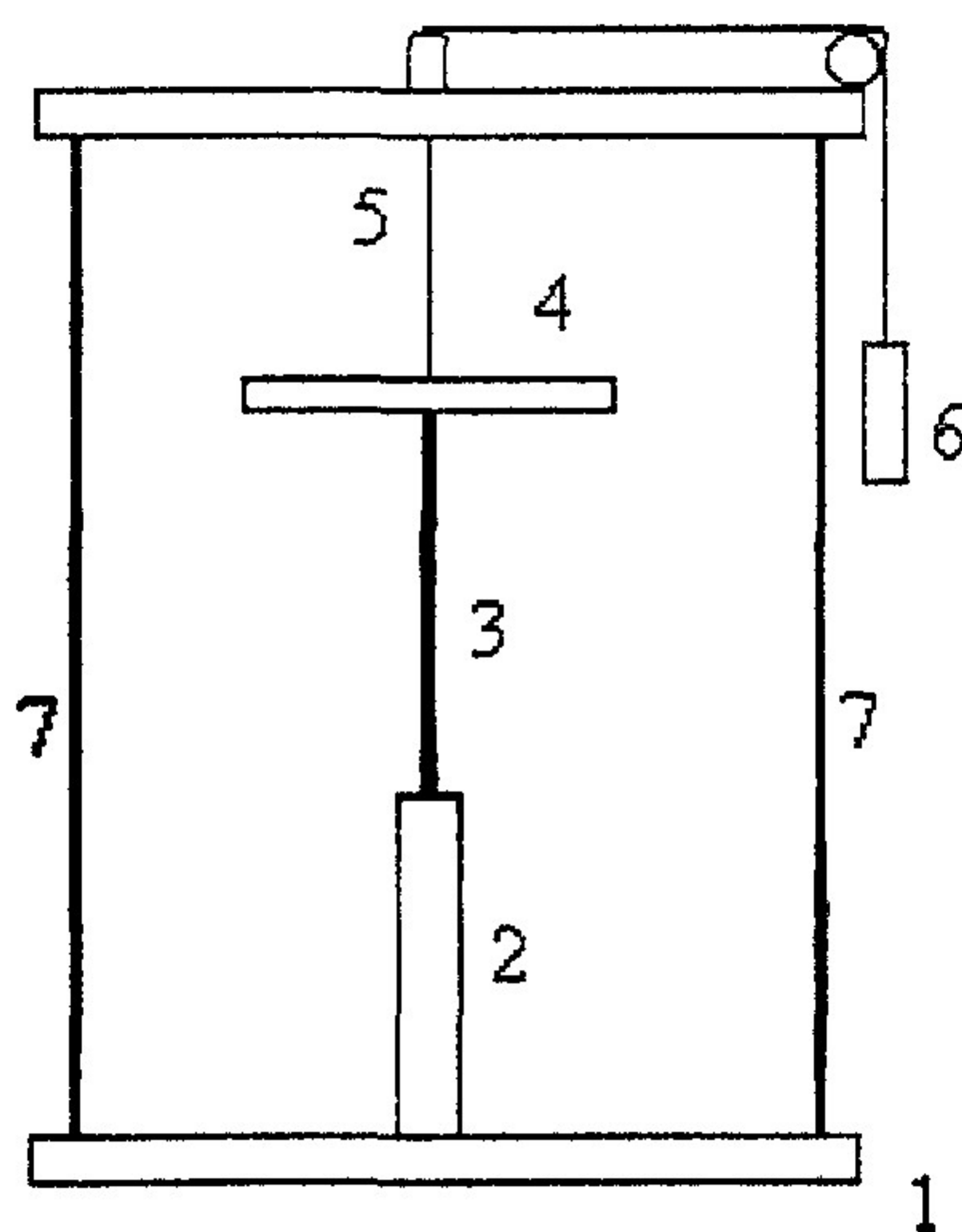
* E-mail: kamysh@bsu.edu.ru

Таблица 1

Химический состав исследуемой меди

Материал	Содержание элементов, % по массе 10^{-2}										
	Pd	Zn	Bi	P	As	Si	Fe	Se	Ni	Mg	Al
МВЭ	-	1,2	<1	<1	1,5	2,8	1,8	3,0	0,8	0,9	0,2
МВП	2000	0,5	<1	<1	0,7	1,5	1,8	1,0	2,0	-	0,2

Установка для исследования внутреннего трения представляет собой крутильный маятник, колеблющийся в горизонтальной плоскости. При использовании метода крутильных колебаний нижний конец образца 3 закрепляется на неподвижной штанге 2, которая расположена на основании 1. Верхний конец образца жестко соединен с крутильным маятником в виде стержня 4, который подвешен на жесткой нити 5 и имеет противовес с изменяющейся массой 6. Опоры 7 обеспечивают устойчивое положение системы (рис. 1).



Р и с 1. Установка для исследования внутреннего трения

Стержень 4 совершает колебания, которые затухают за счет внутреннего трения в образце.

Запись колебаний осуществлялась с помощью самописца. Логарифмический декремент затухания, выбранный нами в качестве меры внутреннего трения, определялся по диаграмме затухающих колебаний. Для перевода крутильных колебаний в электрический сигнал с последующим выводом на самописец применялся частотно-индуктивный датчик.

Его основой служит катушка индуктивности, являющаяся элементом контура высокочастотного генератора с несущей частотой в диапазоне от 5 до 15 МГц. По оси катушки индуктивности перемещается сердечник из диамагнитного материала, механически связанный с элементами крутильного маятника.

Перемещение сердечника вызывает частотную модуляцию колебаний высокочастотного генератора. Усиленные колебания поступают в демодулятор (частотный детектор), где выделяются низкочастотные электрические колебания, повторяющие закон исследуемых механических колебаний.

Отличительными особенностями изготовленного высокочастотного датчика являются:

- широкий диапазон исследуемых частот механических колебаний (от нуля до 20 кГц и более);
- нечувствительность к низкочастотным помехам;

- возможность работы в автономном режиме с передачей информации с помощью электромагнитных волн на расстояние.

Поворот маятника осуществлялся в пределах от 110 до 200 угловых минут, что соответствует угловому смещению от 0,0020 до 0,0037. Логарифмический декремент затухания определялся по диаграммам затухания с помощью формулы:

$$\delta = \frac{\ln \frac{A_1}{A_2}}{N}$$

где N – число колебаний, соответствующее уменьшению амплитуды от A_1 до A_2 .

Результаты исследований и их обсуждение

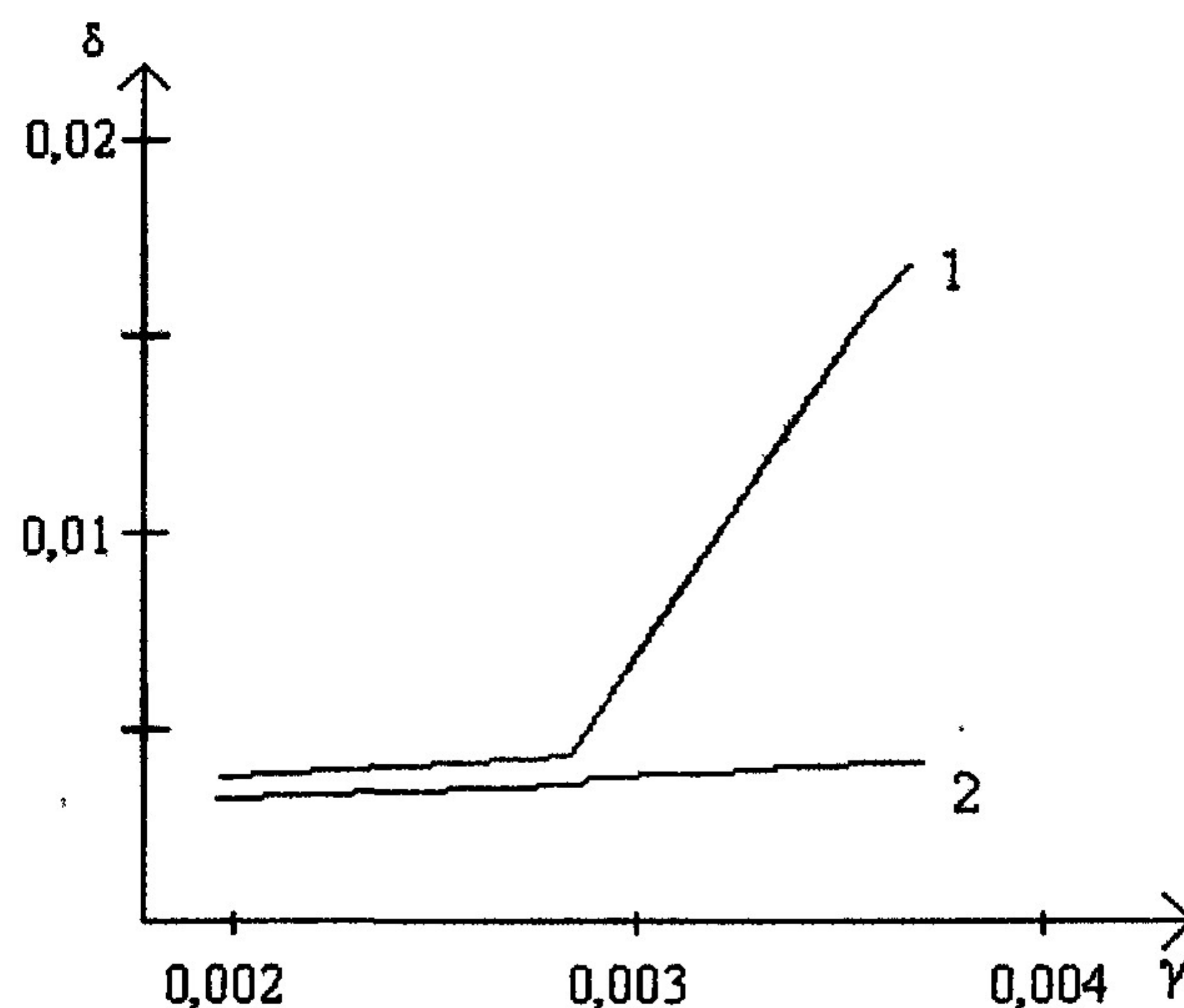
Проведенные ранее исследования сплава МВП [4] показали, что легирование меди палладием приводит к повышению предела текучести и снижению пластичности исходной меди. С целью выяснения физической природы влияния добавок палладия на механические свойства меди исследовалось влияние легирования меди палладием на логарифмический декремент затухания внутреннего трения.

Проводилось сравнение амплитудной зависимости внутреннего трения образцов чистой меди и меди, легированной добавками 2% по массе палладия.

Из кривых зависимости логарифмического декремента затухания от углового смещения видно (рис.2), что легирование меди палладием приводит к увеличению декремента затухания при угловом смещении, превышающем 0,0029.

Как известно, затухание колебаний в твердых телах вызывают различные механизмы (релаксационные, резонансные, гистерезисные [5]). Увеличение логарифмического декремента затухания легированной меди связано, в основном, с релаксационными эффектами, обусловленными закреплением дислокаций атомами внедрения – атомами палладия. Наличие других дефектов оказывает значительно меньшее воздействие из-за малой энергии связи вакансий и атомов замещения с дислокациями [6].

Упругие поля напряжений дислокации и примесного атома взаимодействуют, и атом примеси испытывает со стороны дислокации силу притяжения, так как в зоне расположения краевой дислокации имеются области гидростатического сжатия и растяжения. Атомы палладия, растворенного по способу внедрения, притягиваются к области гидростатического растяжения и размещаются в ней. Здесь им легче располагаться, чем в совершенной области решетки, где такие атомы создают значительные поля напряжений [6].



Р и с . 2 . Зависимость декремента затухания δ от углового смещения образцов γ легированной (кривая 1) и технически чистой (кривая 2) меди

Выводы

Исследование амплитудной зависимости внутреннего трения образцов чистой меди и меди, легированной добавками 2% по массе палладия методом крутильных колебаний, показало, что коэффициент внутреннего трения легированной меди возрастает по сравнению с чистой. Логарифмический декремент затухания легированной меди в интервале угловых смещений от 0,0029 до 0,0037 превышает величину декремента затухания чистой меди. При максимальном угловом смещении декремент затухания легированной меди практически в 3 раза больше, чем у чистой меди.

Анализ данных проведенных исследований позволяет сделать вывод, что при введении в медь палладия (2% по массе) происходит закрепление дислокаций атомами внедрения, которые образуют «облака» Коттрелла. «Атмосферы» Коттрелла препятствуют свободному передвижению дислокаций в меди, поэтому в материале появляется сопротивление действию внешних сил.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральная целевая научно-техническая программа «Разработка и исследования конструкционных материалов термоядерных реакторов (ИТЭР, экспериментальные модули ИТЭР, ДЕМО и др.), а также тритийвоспроизводящих материалов и тритиевой технологии ТЯР», 1997.
2. Федеральная целевая Программа на 2002-2005 гг. «Международный термоядерный реактор ИТЭР». Утверждена постановлением Правительства РФ за №604 от 21.08.01.
3. Butterworth G.J., Forty C.B. A survey of the properties of copper alloys for use as fusion reactor materials. //J. Nucl. Mater. – 1992. – Vol. 189. – P. 237-276.
4. Неклюдов, И.М. Исследование воздействия водородной плазмы на механические характеристики высокопроводной меди / И.М. Неклюдов, Н.В. Камышанченко, С.В. Шевченко и др. // Научные ведомости БелГУ. 1999. № 2. С. 54-60.
5. Релаксационные явления в металлах и сплавах / Под ред. Постникова. М.: Металлургиздат, 1974. 352 с.
6. Новиков, И.И. Дефекты кристаллической решетки металлов / И.И. Новиков // М.: Металлургия, 1968. 188 с.
7. Коттрелл, А.Х. Дислокации и пластическое течение в кристаллах / А.Х. Коттрелл // М.: Металлургиздат, 1958. 267 с.

INFLUENCE DOPING CUPRUM BY PALLADIUM ON INTERNAL FRICTION

N.V. Kamyshanchenko¹⁾, I.A. Belenko¹⁾, V.E. Penkov¹⁾, I.M. Neklyudov²⁾

¹⁾*Belgorod State University*

²⁾*National Science Center «Kharkov Institute of Physics and Technology»*

Questions connected with hardening cuprum by doping are very important in scientific investigations. Doping affects kinetics of moving and distributing dislocation and is accompanied by considerable changing the characteristic of deformation hardening. Availability of impurities affects not only changing dislocation structure but grain boundary states and processes of transmitting deformation by a grain boundary. In this work, it is investigated influence of doping on physical and mechanical properties of metals by amplitude dependence of internal friction.