

УПРОЧНЕНИЕ ДВОЙНИКУЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

В.С. Савенко

*Мозырский государственный педагогический институт им. Н.К Крупской
247760, г. Мозырь, Студенческая 28
e-mail: mozinst@mail.ru*

Исследовано упрочнение двойнящихся материалов в условиях воздействия внешнего электромагнитного поля в кристаллах висмута. Впервые было изучено армирующее действие двойников при электропластической деформации. Кристаллы висмута были выбраны в качестве модельного объекта для исследований.

Пластическая деформация кристаллических тел протекает крайне неравномерно. Она начинается у концентраторов напряжений, которыми являются границы зерен, включения, выделения другой фазы, неоднородности структуры. При низких температурах и динамических нагрузках зарождающиеся вблизи концентраторов напряжений трещины приводят к разрушению материалов, если пластическая деформация затруднена. Часто образование трещин связано с неконтролируемым развитием двойников, которые зарождаются у препятствия [1,2]. Упрочнение слабых мест кристаллической решетки - это повышение реальной прочности двойнящихся материалов. К таковым относятся сплавы железа, бериллия, титана, рения, широко используемые в современной технике. Известно, что хрупкость таких материалов, в частности, связанная с образованием трещин на двойниках, при неконтролируемом зарождении двойников является серьезным фактором, сдерживающим широкое практическое применение таких материалов.

В настоящее время известны методы повышения пластичности материалов при скольжении. Внедрены в производство методы электропластической прокатки и волочения медной проволоки и вольфрамовой ленты. При наложении электрического тока на зону деформации изменяются структурные и физико-механические свойства материалов. Повышается пластичность, относительное удлинение, но при этом понижается предел прочности материалов [3,4].

Известны также способы повышения стойкости материала в микрообъемах с помощью программированного упрочнения [1], способ изготовления тончайшей ленты из тугоплавких и трудно деформируемых металлов и сплавов путем прокатки с пропусканием электрического тока через валки с созданием градиента электрического потенциала в зоне деформации [5].

В способе программированного упрочнения цель достигается путем длительного нагружения по специальной методике, чтобы успели пройти диффузионные процессы в окрестностях концентраторов напряжений. Данный способ сложен, требует длительного времени и специального оборудования.

Способ повышения пластичности с помощью пропускания электрического тока через валки сопровождается снижением предела текучести, а следовательно, и реальной прочности материала.

К настоящему времени неизвестны способы упрочнения двойнящихся материалов. В связи с этим ставилась цель: изыскание способа повышения

сопротивления двойнящихся материалов внешней нагрузке, то есть увеличение реальной прочности двойнящихся материалов без снижения пластичности.

При индентировании плоскости спайности кристалла висмута алмазным индентором вокруг отпечатка возникают двойниковые лучи (рис.1). Отпечаток алмазной пирамидки служил моделью концентратора напряжений, так как развитие пластической деформации при воздействии на кристалл алмазного индентора достаточно хорошо имитирует условия в окрестностях естественных концентраторов напряжений в объеме материала. Возбуждение в кристалле импульса тока большой плотности во время действия сосредоточенной нагрузки приводит к появлению вокруг отпечатка системы двойников [6-8]. Повторное измерение микротвердости в данном месте с большей нагрузкой ведет к ее росту на 8-10% по сравнению со значением микротвердости, измеренной при тех же условиях без пропуска импульса тока. На рис. 2 показана система двойников, возникающих у внутреннего концентратора напряжений (в данном случае инородного включения) при пропускании через кристалл импульса электрического тока большой плотности. В результате развития двойникового данного слабое место кристаллической решетки армируется за счёт двойников.

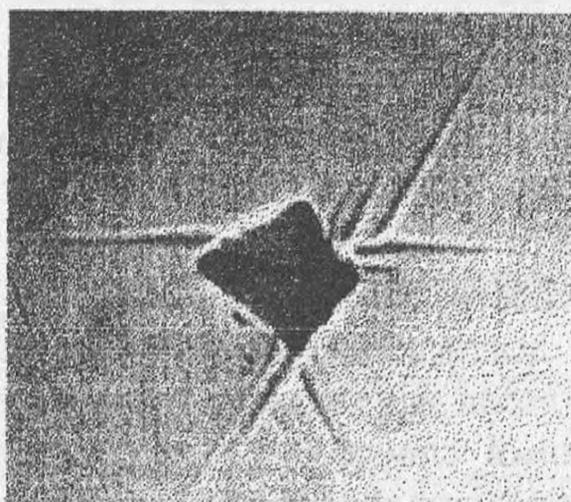


Рис. 1. Система клиновидных двойников на плоскости спайности кристалла висмута (111) при деформировании сосредоточенной нагрузкой (10г) во время пропускания импульса тока плотностью 700 А/мм^2 длительностью 10^{-4} с (x600).

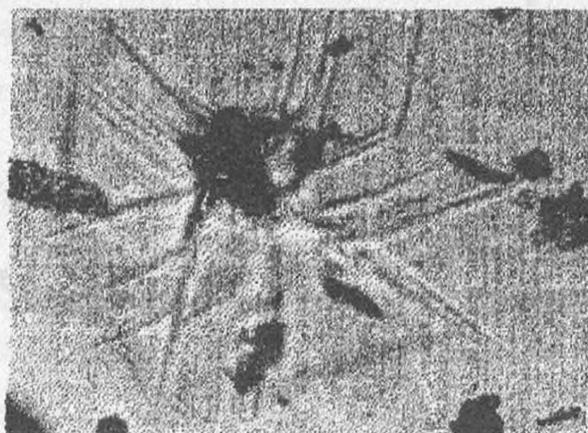


Рис. 2. Система двойников на плоскости спайности кристалла висмута (111), возникших у внутреннего концентратора напряжений при пропускании импульса тока плотностью 700 А/мм^2 (x530).

Таким образом, двойники, возникающие у концентраторов напряжений в результате пропускания импульса тока, повышают его микротвёрдость за счёт армирующего действия.

Многочисленные исследования в области твердости показывают, что величина твердости пропорциональна напряжению течения [9]

$$H = a \sigma,$$

где H – микротвердость, σ – деформирующее напряжение. Для пластичных материалов $a = 3$.

Из этого следует, что величина микротвердости пропорциональна пределу текучести материала. Предложенный способ повышения сопротивления материала внешним нагрузкам в микрообъемах у концентраторов напряжений за счет армирующего действия двойников, возникающих при протекании импульсов тока большей плотности, ведёт к росту твердости в данном слабом месте кристаллической решетки материала на 8-10%, что, в свою очередь, приводит к повышению предела текучести и, как следствие, предела прочности материала. В результате армирования двойниками микрообъема у концентратора напряжений, предел текучести составляет $\sigma = 5,4 \text{ кг/мм}^2$, в то время как до прохождения импульсов тока предел текучести данного места материала составлял $4,85 \text{ кг/мм}^2$. Таким образом, наблюдается упрочнение микрообъемов материала у концентраторов напряжений. В известных же способах повышение пластичности сопровождается снижением предела текучести, а, следовательно, и реальной прочности материала.

Величина эффекта повышения сопротивления материала внешним нагрузкам микрообъема у концентраторов напряжений за счет армирующего действия двойников зависит от параметров импульсов тока, прошедших через материал во время деформирования.

Нижнее значение плотности тока составляет $45-50 \text{ А/мм}^2$. Ниже указанных плотностей тока эффект не достигается. Наибольшая величина эффекта достигается тогда, когда амплитуда импульсов максимальна до известных пределов (электрический пробой материала). Описанный способ исследовался при длительности импульсов 10^{-4} с. Дальнейшее увеличение длительности импульсов нецелесообразно, так как это приводит к большому выделению джоулева тепла.

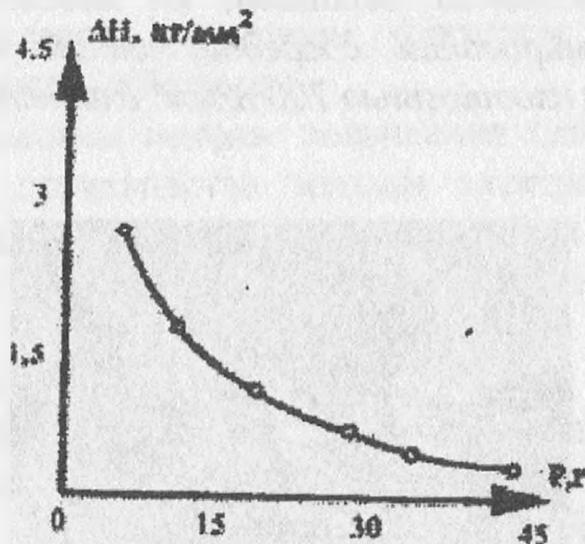


Рис. 3. Зависимость прироста микротвердости у концентраторов напряжений от нагрузки на индентор.

Предел текучести при нижнем значении плотности тока и верхнем значении длительности импульса составляет $\sigma = 4,9 \text{ кг/мм}^2$, без импульса $\sigma = 3,74 \text{ кг/мм}^2$. При малых нагрузках на индентор эффект упрочнения в микрообъемах у концентраторов напряжений заметней. На рис.3 представлена зависимость прироста микротвердости в микрообъеме у концентратора напряжений за счет армирующего действия двойников, возникавших при пропускании импульсов тока. Видно, что максимальный прирост

микротвердости наблюдается в области малых нагрузок, оставаясь практически неизменным при повышении деформирующего напряжения.

Двойники, возникающие у концентраторов напряжений при возбуждении импульса тока, не только армируют материал при последующей деформации, но и уносят избыточную энергию из области концентратора, разряжая дислокационные скопления. Существенной особенностью предложенного способа упрочнения слабых мест кристаллической решетки является то, что локальный наклеп материала, примыкающего к концентраторам, снижает уровень напряжений и уменьшает хрупкость материала.

Таким образом, импульс тока большой плотности, пропущенный через предварительно нагруженный до напряжений, соответствующих началу пластической деформации в микрообъемах в окрестностях концентраторов, кристалл ведет к появлению системы гонких двойников, армирующих материал. При последующем нагружении наблюдается повышение реальной прочности без снижения пластичности. Впервые предлагается использовать двойникование для повышения реальной прочности материала.

Список литературы.

1. Гиндин И. А. Неклюдов И.М. Физика программированного упрочнения. -Киев: Наукова думка. 1979, - 181с.
2. Финкель З.М. Физика разрушения. Рост трещин в твердых телах. -М.: Металлургия, 1970. - 375с.
3. Троицкий О.А. Спицын В.И., Рыжов В.Г. Электропластическое волочение стали, меди и вольфрама. // ДАН СССР, 1978, Т.243, № 2. С.330-333.
4. Климов К.М., Новиков И.И. Влияние градиента температуры и электрического тока высокой плотности на пластическую деформацию при растяжении металлических проволок. //Изв. АН СССР, Металлы, 1978, № 6. С.175-Г78.
5. Климов К.М., Шнырев Г.Д., Новиков И.И.Способы изготовления тончайшей ленты из тугоплавких и труднодеформируемых металлов и сплавов. /Авт. св. № 547274 (СССР).- Оpubл. в Б.И., 1977, №7, С.38.
6. Савенко В.С., Спицын В.И., Троицкий О.А. Электронно-пластический эффект при двойниковании монокристаллов висмута. // ДАН СССР, 1985, 283, № 5, С. 1181-1183.
7. Савенко В.С. и др. Электропластическая правка и прокатка стали. // Известия АНБ, сер. физ.-техн. наук. N1, 1994. С.14
8. Savenko V. Electroplastic effect under the simultaneous superposition of electric and magnetic fields.// Journal of applied physics, 1999. №5, P. 1-4
9. Булычев С.И. Алехин В.П., Шоршоров М.У. Исследование физико-механических свойств материалов в поверхностных слоях и в микрообъемах методом непрерывного вдавливания индентора. //Физика и химия обработки материалов, 1979, № 5, С.69-81.