

А. В. Гуненко, В. С. Савенко, А. С. Каленик
УО МГПУ им. И. П. Шамякина (г. Мозырь)

ВЛИЯНИЕ ОДИНОЧНЫХ ИМПУЛЬСОВ ТОКА НА МИКРОСТРУКТУРУ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ РАСТЯЖЕНИИ

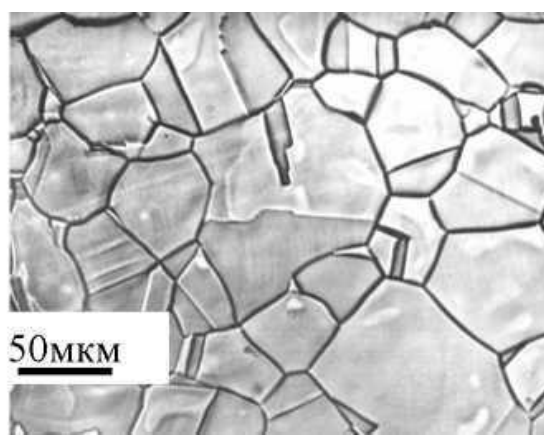
Явление электропластического эффекта было обнаружено в 1969 году. Данный процесс проходил при действии одиночных импульсов тока плотностью $\sim 10^5$ А /см² и длительностью $\sim 10^{-4}$ с на деформацию кристаллов цинка растяжением и сжатием. Действие тока при этом не вызвало существенного повышения температуры металла и поэтому достаточно сильно отличается от джоулевого эффекта, который заключён в процессе электронного нагрева. В данном случае пластические свойства металла не оказывают значительного влияния на изменение прочности. При влиянии электрического тока большой плотности на деформируемый металл происходит снижение сопротивления деформирования, что в свою очередь приводит к изменениям служебных характеристик исследуемого образца.

В [3] показано, что электропластический эффект связан с пондеромоторным пинч – действием импульсного тока – сжатием образцов в радиальном направлении собственным магнитным полем тока. При увеличении диаметра образцов значение пинч-эффекта также возрастало.

ЭПЭ может действовать наряду с джоулевым эффектом в ставших уже традиционными способах обработки металлов давлением с участием электрического тока, таких, как ЭКН (электроконтактный нагрев) и индукционный нагрев токами Фуко, где используется джоулевый эффект. Возникло обоснованное предположение и ожидание, что с помощью направленного электропластического эффекта можно интенсифицировать технологические процессы обработки металлов давлением. А это волочение, прокатка, штамповка, вытяжка и др.

В известной мере эти предполо-

жения оправдались, но не полностью. Это связано в первую очередь с объективными трудностями, возникающими при



о
ч
е

подведении тока высокой плотности в зону деформации металла на современных прокатных и волочильных станах, а также отсутствием промышленных источников импульсного тока, специально предназначенных для этих целей.

В основе механизмов электропластической деформации (ЭПД) лежит процесс ускорения пластического течения металла потоком электронов проводимости, которые находятся в дрейфовом движении под влиянием приложенной разности потенциалов или действием «электронного ветра» внутри деформируемого металла. Показано, что, помимо джоулевого эффекта, свободные электроны способны оказывать особое специфическое электропластическое действие на металл, находящийся под механическими напряжениями выше предела текучести.

Электропластическая деформация может действовать, наряду с джоулевым эффектом, в ставших уже традиционными способах обработки металлов давлением с участием электрического тока, таких, как ЭКН (электроконтактный нагрев) и индукционный нагрев токами Фуко, где используется джоулевый эффект. Таким образом, возникло обоснованное предположение, что с помощью направленного электропластического эффекта (ЭПЭ) можно интенсифицировать технологические процессы обработки металлов давлением, такие, как волочение, прокатка, штамповка, вытяжка и др.

ЭПЭ менее универсален, чем джоулевый эффект, т.к. существует лишь во время пластической деформации материала. Вместе с тем, он энергетически менее емок, т.к. ток вводится лишь в зону деформации металла при пластической деформации.

К преимуществам электропластической технологии обработки металлов давлением можно отнести возможность позонного воздействия на материал и позонной интенсификации технологических процессов с получением материала с периодически измененными свойствами, экологическую чистоту метода и его экономичность, высокую скорость и эффективность воздействия, возможность комбинирования с джоулевым эффектом с достижением практически любых сопутствующих температур. К недостаткам и ограничениям новой технологии относятся ограничения по скоростям деформации, т.к., скорости деформации материала не должны превышать скорость дрейфа электронов

J

$$V_F \approx \frac{J}{\sigma} \approx 0,5 \cdot 10^6 \text{ м/с} ,$$

(1) en

где e – заряд электронов и n – концентрация электронов в единице объема металла.

При реализации явления электропластичности улучшается микроструктура металла, что как правило реализуется созданием микрозернистого строения при уменьшении размера зерна. Значительный интерес представляют нанокристаллические материалы.

Величина зерна металла или сплава зависит от условий выплавки, кристаллизации, термомеханической обработки. Такие механические свойства металлов и сплавов, как предел текучести и твердость, тем больше, чем меньше размер зерна. Для ряда металлов и сплавов при уменьшении размера зерна (менее 10 мкм) при определенных температурно-скоростных условиях деформации реализуется явление аномально высокой пластичности (сверхпластичности). Размер зерен влияет также на физические свойства, например, в ферромагнитных сплавах чем больше средний размер зерен, тем больше магнитная проницаемость. Вдоль границ зерен быстрее, чем в объеме кристалла, протекает диффузия, особенно при нагреве. Поэтому деформация зерен при повышенных температурах может осуществляться перемещением зерен по границам за счет диффузии (зернограничное проскальзывание). Границы зерен, и особенно стыки нескольких зерен, являются местами преимущественного образования зародышей рекристаллизации и новой фазы. Частицы новой фазы, располагаясь по границам зерен, могут существенно ухудшать механические свойства, вызывая межзеренное хрупкое разрушение [1, 2].

Границы между зернами поликристаллов являются большеугловыми. Угол разориентации составляет более 15 градусов. Граница зерен представляет собой переходный слой шириной 1...5 нм, в ней нарушена правильность расположения атомов, имеются скопления дислокаций и повышена концентрация примесей внедрения (атомы кислорода, углерода, азота и т. д.).

Если внутри зерен поликристалла наблюдаются более мелкие разориентированные области, то говорят о субзеренной, фрагментированной и блочной субструктуре. Если угол взаимной разориентации между соседними блоками, субзернами или фрагментами не превышает 15 градусов, то такие границы называются малоугловыми.

Размер зерна оказывает влияние на напряжение деформирования кривой «напряжение – деформация» ($\sigma - \epsilon$), особенно заметно влияние этого фактора на предел упругости (σ_y) и предел текучести (σ_T). Например, для монокристалла алюминия предел упругости составляет 0,9 МПа, тогда как для поликристалла алюминия предел упругости изменяется от 1,5 до 3,5 МПа в зависимости от размера зерна [4].

Зависимость предела текучести σ_T и деформирующего напряжения σ от размера зерна подчиняется соотношению Холла-Петча:

$$y_T = y_0 + k_y \cdot d^{-n}, y = y_{0e} + k_y \cdot d^{-n}, \quad (2)$$

где d – средний размер зерна, $n = 0,5..1$, σ_0 и σ_{0e} – напряжение трения, значение которого не зависит от размера зерна и представляет собой напряжение, необходимое для перемещения неблокированных дислокаций в плоскостях скольжения монокристалла. Величина σ_0 определяется экстраполяцией линейной зависимости $\sigma_T - d^{-n}$ до $d = 0$. Величина σ_{0e} имеет такой же смысл, как и σ_0 , но для произвольной деформации ϵ . В формуле Холла-Петча k_y и k'_y – постоянные, связанные с распространением деформации через границы зерен.

Определение проводят на матовом стекле камеры микроскопа или фотографии. При увеличении 100^x окружность диаметром 79,8 мм имеет площадь $0,5 \text{ мм}^2$. Необходимо, чтобы на этой площади было не менее 50 зерен. Подсчет зерен проводят не менее чем по трем характерным участкам. Если количество зерен в одной окружности меньше 50, то подсчет ведут по большему числу участков. На каждом участке определяют количество целых зерен внутри окружности m_1 и количество зерен, перерезанных окружностью m_2 . Общее количество зерен m на площади $0,5 \text{ мм}^2$ подсчитывают по формулам:
для круга:

$$m = m_1 + 0,5 m_2, \quad (3)$$

для прямоугольника или квадрата:

$$m = m_1 + 0,5 m_2 - 1. \quad (4)$$

В последнем случае в m не входят четыре угловых зерна, их принимают за одно зерно.

Число зерен m_g при увеличении g , приходящихся на 1 мм^2 поверхности шлифа, определяется по формуле:

$$m_g = 2 \cdot \left(\frac{g}{100}\right)^2 \cdot m. \quad (5)$$

По результатам, полученным с разных участков, рассчитывают среднее арифметическое значение t_{cp} .

Среднюю площадь зерна S_{cp} определяют по формуле:

$$S_{\text{ср}} = \frac{1}{m_{\text{ср}}}. \quad (6)$$

Средний диаметр зерна d_m определяют по формуле

$$d_m = \frac{1}{\sqrt{m_{\text{ср}}}}. \quad (7)$$

Литература

1. Багаутдинов, А.Я. Структура и свойства перспективных металлических материалов / А.Я. Багаутдинов [и др.]. – Томск: НТЛ, 2007. – 575 с.
2. Классен-Неклюдова, М.В. Механическое двойникование кристаллов / М.В. Классен-Неклюдова. – М.: АН СССР, 1960. – 261 с.
3. Троицкий, О.А. Физические основы и технологии обработки современных металлов: в 2 т. / О.А. Троицкий [и др.]. – Ижевск – Москва: Изд-во РХД. – Т. 1. – 590 с., Т. 2. – 467 с.
4. Хоникомб, Р. Пластическая деформация металлов / Р. Хоникомб. – М.: Мир, 1972. – С. 179–188.