

УДК 621.8

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ПЕРВИЧНУЮ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЮ МЕТАЛЛОВ

*Кокорева О.Г., Фадеев Ф.О.*

*Московская государственная академия водного транспорта – филиал  
Государственного университета морского и речного флота  
им. адмирала С.О. Макарова, г.Москва*

**Ключевые слова:** пластическая деформация, напряжённое состояние, рекристаллизация металлов, упрочнение, механические свойства, микроструктура, рентгенографический анализ, кристаллическая решётка, растяжение, сжатие.

**Аннотация.** Представлены результаты исследования влияния скорости пластической деформации и схемы напряжённого состояния на первичную рекристаллизацию металлов. Зависимость микроструктуры металлов от скорости поверхностной пластической деформации и схемы напряжённого состояния является определяющим фактором, формирующим механические свойства металлов в целом, особенно при их нагреве после пластической деформации. Выполнена количественная оценка определяющих характеристик с помощью рентгенографического и структурного анализа опытных металлических образцов. Установлено, что скорость рекристаллизации металлов уменьшается при предварительном их упрочнении.

## EVALUATION OF THE EFFECT OF RATE OF PLASTIC DEFORMATION IN THE PRIMARY RECRYSTALLIZATION OF METALS

*Kokoreva O.G., Fadeev F.O.*

*Moscow state Academy of water transport-branch of State university of maritime  
and river fleet named Admiral S.O. Makarov, Moscow*

**Keywords:** plastic deformation, stress state, metal recrystallization, hardening, mechanical properties, microstructure, x-ray analysis, crystal lattice, tension, compression.

**Abstract.** The results of the study of the influence of the plastic deformation rate and the stress state scheme on the primary recrystallization of metals are presented. The dependence of the metal microstructure on the rate of surface plastic deformation and the stress state scheme is the determining factor that forms the mechanical properties of metals in General, especially when they are heated after plastic deformation. The quantitative assessment of determining characteristics by means of x-ray and structural analysis of experimental metal samples was performed. It is found that the rate of recrystallization of metals decreases with their preliminary hardening.

### Введение

Одним из важных процессов упрочнения металлов и сплавов является рекристаллизация, которая формирует структуру и изменяет механические свойства при нагреве металла после пластической деформации. На рекристаллизацию металлов оказывает влияние большое число факторов, в том числе скорость и вид деформации (схема напряженного состояния) [1]. Однако влияние этих факторов недостаточно изучено и, на наш взгляд, требует дальнейшего исследования.

## Основная часть

Для этой цели были выбраны металлы с разным типом кристаллической решетки: медь (99,91% Cu), имеющую ГЦК-решетку и армко-Fe (99,45 % Fe), имеющее ОЦК-решетку. Образцы из этих металлов предварительно отжигались и деформировались при комнатной температуре с разными скоростями. Статическая деформация измерялась на универсальной гидравлической машине УММ-50, динамическая - на пороховом копре. При исследовании влияния схемы напряженного состояния были выбраны два вида деформации – растяжение и сжатие. Образцы подвергались предварительной деформации на величину  $\varepsilon = 10\%$ .

В качестве эквивалентной деформации принят октаэдрический сдвиг, рассчитываемый по формулам:

$$\text{ - для растяжения } q_{\text{окт}} = \sqrt{2 \ln(F_0 / F)};$$

$$\text{ - для сжатия } q_{\text{окт}} = \sqrt{2 \ln(H_0 / H)}.$$

где  $F_0$  - начальная площадь полученного сечения, мм<sup>2</sup>;

$H_0$  - начальная высота образца, мм;

$F, H$  - соответственно текущие размеры образцов.

Отжиг деформируемых образцов производился в специальной безинерционной печи с выдержкой от 30 мин до 60 мин. В качестве параметров рекристаллизации были выбраны: температура начала  $T_p^{\text{н}}$  и температура конца  $T_p^{\text{к}}$  рекристаллизации и скорость роста зародышей рекристаллизованных зерен  $\tau_p^{\text{н}}$ . Эти параметры определялись: методом измерения твердости (по Виккерсу), рентгено- и микроструктурными методами.  $T_p^{\text{н}}$  определялась по резкому снижению твердости с повышением температуры нагрева и уточнялась рентгенографическим методом по появлению точечных «рефлексов» на рентгенограммах [2]  $T_p^{\text{к}}$  определялась по твердости и исчезновению фона на рентгенограммах. Характеристикой скорости рекристаллизации являлось время  $\tau_p^{\text{н}}$  появления зародышей, фиксируемых по рефлексу на рентгенограмме, которое уточнялось с помощью микроструктурного анализа [3]. Анализ результатов исследования показывает, что скорость деформации почти не оказывает существенного влияния на  $T_p^{\text{н}}$  и  $T_p^{\text{к}}$ , хотя есть склонность к снижению  $T_p^{\text{н}}$  и температурного интервала  $T_p^{\text{к}} - T_p^{\text{н}}$  (табл. 1).

Скорость рекристаллизации, оцененная по  $\tau_p^{\text{н}}$ , увеличивается с возрастанием скорости деформации (табл. 1). Об этом свидетельствуют результаты микроструктурного анализа.

Полученные результаты можно объяснить тем, что с увеличением скорости деформации возникает большее число искажений кристаллической решетки, большая доля запасенной (скрытой) энергии при деформации [1], которая является движущей силой первичной рекристаллизации.

Табл. 1

Металл, степень чистоты	Исслед. область температ.	Скорость деформации					
		2 мм/мин				50 м/с	
		Параметры первичной рекристаллизации					
		$t_p^H, ^\circ C$	$t_p^K, ^\circ C$	$\tau_p^H$	$t_p^H$	$t_p^K$	$\tau_p^H \min$
Медь (99,91%Cu)	200-270	160	250	15	140	200	6,5
Армко-Fe (99,45%Fe)	550-700	550	650	10	530	610	7,0

**Закключение.** Таким образом, проведённые исследования показали, что скорость пластической деформации и схема напряжённого состояния оказывают непосредственное влияние на рекристаллизации металлов. Выполнена количественная оценка определяющих характеристик с помощью рентгенографического и структурного анализа опытных металлических образцов.

В результате исследований, установили, что скорость рекристаллизации металлов уменьшается при предварительном их упрочнении методом поверхностной пластической деформации, что оказывает влияние на механические свойства металлов.

#### Список литературы

1. Горелик С.С.. Рекристаллизация металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1967. – 403 с.
2. Эпштейн Г.Н., Ноткин А.Б. Особенности рекристаллизации никеля после высокоскоростной деформации под давлением // Физика металлов и металловедение. – 1971. – Т.32, №4. – С.819-824.
3. Кокорева О.Г., Шлапак Л.С. Влияние скорости пластической деформации и схемы напряжённого состояния на первичную рекристаллизацию металлов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2015. – №4(124). – С. 3-5.

#### References

1. Gorelik S.S. Recrystallization of metals and alloys. – M.: Metallurgy, 1967. – 403p.
2. Epstein G. N., Notkin A.B. Recrystallization of nickel after high-speed deformation under pressure // Physics of metals and metallography. – 1971. – Vol. 32, №4. – P.819-824.
3. Kokoreva O.G., Shlapak L.S. Influence of rate of plastic deformation and the schema of the stress state on the primary recrystallization of metals // Hardening technology and coatings. – 2015. – №4(124). – P. 3-5.

#### Сведения об авторах:

<b>Кокорева Ольга Григорьевна</b> – к.т.н., доцент, доцент кафедры портовых подъемно-транспортных машин и робототехники	<b>Olga G. Kokoreva</b> – candidate of technical sciences, associate professor of department of port handling machines and robotics
<b>Фадеев Филипп Олегович</b> – студент	<b>Fillip O. Fadeev</b> – student
Московская государственная академия водного транспорта – филиал Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова, г.Москва	Moscow state Academy of water transport-branch of State university of maritime and river fleet named Admiral S.O. Makarov, Moscow

#### Information about authors:

Получена 02.11.2018