



УДК 539.4.015.1; 548.24

ИЗМЕНЕНИЕ МАКРОСТРУКТУРЫ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО НИКЕЛЯ В ПРОЦЕССЕ ОТЖИГА В ДИАПАЗОНЕ 20°C – 600°C

Н.В. Камышанченко, А.В. Гальцев, О.А. Печерина

Белгородский государственный университет,
ул. Победы, 85, Белгород, 308015, Россия, e-mail: kamysh@bsu.edu.ru

Аннотация. Повышение механических свойств и создание устойчивой структуры металлов, в процессе термо-механического воздействия была и остается актуальной задачей металлофизиков. На механические и физические свойства никеля существенное влияние оказывают химический состав, технология механико-термической и химической обработки. В настоящей работе рассматривается структурное состояние технически чистого никеля, подвергнутого температурному воздействию, и влияние его на электро-механические свойства.

Ключевые слова: никель, отжиг, закалка, изохронный отжиг.

1. Материалы, оборудование и методика исследования. На электроэрозионном станке «Sodick AQ300L» вырезались никелевые образцы в виде лопаток с шириной рабочей части 2 мм и длиной 12 мм, приспособленных для определения механических характеристик на универсальной испытательной машине «Instron 5882» в процессе статического растяжения со скоростью нагружения 1,5 мм/мин. Для снятия дефектного поверхностного слоя, образцы подвергались механической шлифовке и полировке.

Нагрев до 1200°C образцов под закалку в воду при 0°C осуществлялся в печи «Nabertherm P330» и в ней же производился отжиг образцов при температурах в диапазоне 20°C – 600°C в течение 10 минут.

Для выделения границ зерен никелевые образцы подвергали химическому травлению в концентрированной кислоте HNO₃. Морфология поверхности образцов исследовалась с помощью микроскопа «OLYMPUS G71». Определение средних размеров зерен было выполнено методом «случайных секущих».

Измерение микротвердости производили микротвердомером «DM-8B» с использованием пирамидки Виккерса с нагрузкой на индентор 50 г.

Определение удельного электрического сопротивления проводилось четырехзондовым методом в диапазоне температур 20°C – 600°C. Для этого образец устанавливался на измерительный столик термокамеры криогенной установки. Измерительная зондовая головка прижималась пружинным механизмом к плоской полированной поверхности образца. Измерения проводились при токе 10 мА. Данные о падении напряжения на измерительных зондах поступали на цифровой нановольтметр Agilent 34420A, с которого эти данные передавались на компьютер. Температура образца контролировалась с помощью термопары.

Результаты измерений представлены в табл. 1.



Таблица 1

Результаты измерений

Температура отжига, °С	Размер зерна d, мкм	Микротвердость HV 0,05	Удельное электросопротивление ρ , мкОм·см	Предел прочности σ_B , МПа
20	95,08	118	73,47	292,66
50	115,59	123	77,58	294,47
100	118,47	127	92,25	296,81
150	122,49	129	99,60	300,36
200	124,08	135	105,31	303,64
250	125,15	128	113,47	305,48
300	125,64	126	72,65	293,46
350	125,09	128	76,94	293,14
400	125,4	124	63,47	292,94
450	125,98	123	58,78	290,63
500	125,92	124	55,19	290,50
550	125,71	124	53,47	290,08
600	125,42	123	50,85	289,79

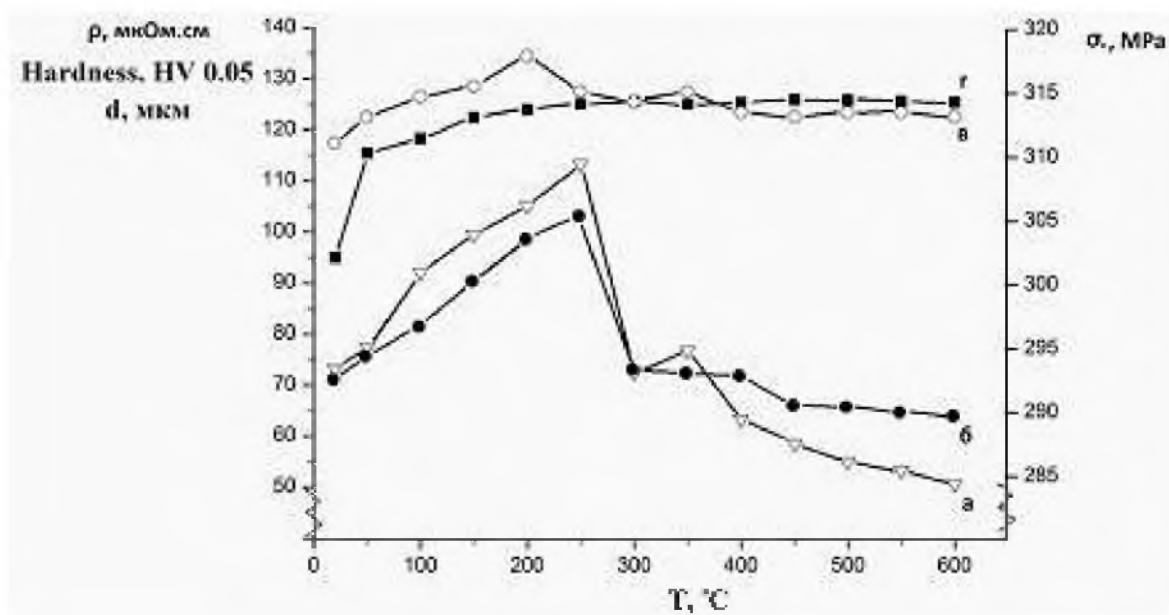


Рис. 1. График зависимости электрических (а), механических (б) свойств, микротвердости (в) и размера зерна (г) от температуры отжига

В связи с особенностью структурных превращений, протекающих при отжиге, изменение значений электро-механических свойств в широком температурном диапазоне



происходит неоднородно. Эти изменения определяются реализацией таких основных превращений при отжиге, как возврат, первичная, собирательная и вторичная рекристаллизация.

Закалка от высоких температур характеризуется влиянием избыточного количества вакансий на электро-механические свойства.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что на стадии возврата основным структурным дефектом отжига является уменьшение концентрации точечных дефектов, наиболее сильно изменяющих величину удельного электрического сопротивления (рис. 1а) в диапазоне $50^{\circ}\text{C} - 250^{\circ}\text{C}$. В процессе активного перемещения вакансий и взаимодействие их с дислокациями происходит не только повышение электрического сопротивления, но и повышение механических характеристик (прочности, микротвердости) при переходе от стадии возврата в стадию первичной рекристаллизации (рис. 1б, 1в).

Собирательная рекристаллизация лишь несколько увеличивает размер рекристаллизационного зерна и обеспечивает снижение прочности, но в меньшей мере, чем при первичной рекристаллизации (диапазон $250^{\circ}\text{C} - 300^{\circ}\text{C}$). Отжиг в температурном диапазоне $250^{\circ}\text{C} - 300^{\circ}\text{C}$ приводит к резкому снижению микротвердости и удельного электрического сопротивления. Такое снижение микротвердости и удельного электрического сопротивления в процессе отжига связывается с активным объединением закалочных вакансий и образованием крупных вакансионных комплексов.

Однако, дальнейшее повышение температуры в диапазоне $350^{\circ}\text{C} - 400^{\circ}\text{C}$ приводит к нарушению монотонного изменения микротвердости и увеличению ее значения.

Температура, при которой наблюдаются эффекты повышения твердости и удельного электрического сопротивления (диапазон $350^{\circ}\text{C} - 450^{\circ}\text{C}$), совпадает с температурным интервалом ферромагнитного превращения для поликристаллического никеля [1] и обусловлено процессом упрочнения за счет накопленных зернограницных дислокаций, образующихся при ферромагнитном превращении [2].

Повышение плотности зернограницных дислокаций ведет к возрастанию полей упругих напряжений на границе зерен, в результате чего происходит упрочнение никеля и увеличение удельного электрического сопротивления.

Отожженные образцы никеля в диапазоне $500^{\circ}\text{C} - 600^{\circ}\text{C}$ имеют более однородные по размерам зерна, а в теле зерен наблюдаются отдельные дислокации и в целом плотность дислокации снижается [3].

При этом изменение микротвердости в теле зерна, прочности и значение удельного электрического сопротивления коррелируют с эволюцией структуры.

Таким образом, в процессе проведенных исследований было установлено влияние закалочных дефектов, отжигаемых в диапазоне температур от $20^{\circ}\text{C} - 600^{\circ}\text{C}$ на структурные и электро-механические свойства технически чистого никеля.

Литература

1. Лифшиц Б.Г., Карпошин В.С, Линецкий Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов / М.: Металлургия, 1980. – 320 с.
2. Исаев М.Ф. Структурные изменения на границах зерен никеля при нагревах вблизи точки Кюри // ФММ. – 1987. – 64;4. – С.823-826.



3. Камышанченко Н.В., Гальцев А.В., Печерина О.А. Соотношение Холла-Петча при описании предела текучести и микротвердости технически чистого никеля, подвергнутого отжигу в диапазоне 700-1000 // Научные ведомости БелГУ, Сер: Естественные науки. – 2011. – №23; 25.

**CHANGE OF MACROSTRUCTURE, PHYSICAL AND MECHANICAL
PROPERTIES OF PURE TECHNICAL NICKEL DURING THE PROCESS
OF ANNEALING IN THE RANGE 20°C-600°C**

N.V. Kamyshanchenko, A.V. Galtsev, O.A. Pecherina

Belgorod State University,
Pobedy St., 85, Belgorod, 308015, Russia, e-mail: kamysh@bsu.edu.ru

Abstract. Increase of mechanical properties and creation of stable structure of metals in the process of thermomechanical effect remains the urgent problem of metal physics. Mechanical and physical properties of nickel are strongly influenced by chemical composition and also by the technology of mechanical thermal and chemical processing. In this paper we study the structural state of commercially pure nickel that is exposed by thermal effect, and its influence on electro-mechanical properties.

Key words: nickel, annealing, tempering, isochronous annealing.