

Термическая стабильность ультрамелкозернистой структуры стали 12Х18Н10Т, сформированной после равноканального углового прессования

Садикова Э.И.<sup>1</sup>, Зарипова Р.Г.<sup>1</sup>, Закирова А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа

<sup>2</sup>Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа

*Показано, что равноканальное угловое прессование (РКУП) стали 12Х18Н10Т (при температурах 400 и 500 °С) приводит к формированию смешанной, преимущественно ультрамелкозернистой (УМЗ) фрагментированной структуры с высокой плотностью дефектов. Сформированные структуры обладают высокой термической стабильностью: до 600 °С.*

*Ключевые слова: равноканальное угловое прессование, ультрамелкозернистая структура, термостабильность, коррозионностойкая сталь*

## 1. Введение.

Применение методов интенсивной пластической деформации (ИПД) к коррозионностойким сталям представляется перспективным способом их упрочнения, так как наиболее распространенные аустенитные нержавеющие стали являются термически неупрочняемыми [1,2]. Получение объемных бездефектных заготовок с однородной УМЗ структурой и повышенным комплексом физико-механических свойств, требует исследований, которые заключаются в экспериментальном определении режимов деформирования. Весьма важной задачей является также определение границ сохранения их уникальных свойств.

Целью настоящей работы явилось исследование влияния температуры отжига на микроструктуру коррозионностойкой стали, сформированной ИПД методом РКУП при температурах 400 и 500 °С.

## 2. Материал и методика.

В качестве материала исследования выбрана промышленная сталь 12Х18Н10Т стандартного химического состава в виде прутков  $\varnothing$  40 мм.

Технологическая схема ИПД включала горячую прокатку (ГП) при температуре 900 °С [1,3] и РКУП. РКУП проводили при температурах 400 и 500 °С, количество проходов – 4 и 6. Выбор температур деформации объясняется тем, что при этих температурах в аустенитных сталях формируются фрагменты размерами 100-200 нм, а рекристаллизация и деформационное мартенситное  $\gamma$ - $\alpha'$  превращение отсутствуют [3].

Отжиги образцов после РКУП проводили в интервале температур 400-800 °С с выдержкой 1 час. Микроструктуру деформированных и отожженных образцов изучали в просвечивающем электронном микроскопе (ПЭМ) JEM-2000EX при ускоряющем напряжении 120 кВ.

### 3. Результаты исследования и их обсуждение.

По данным исследований в области ИПД, деформация РКУП является суммарным результатом совместного действия деформации сдвига, растяжения и сжатия. В результате этого происходит сложный характер течения материала и в процессе РКУП (рис. 1 а, б) формируется преимущественно фрагментированная неоднородная структура с размером отдельных фрагментов  $\sim 200$  нм. Плотность дислокаций весьма высокая, не поддается количественному анализу и неоднородна: она повышена в приграничных областях фрагментов, а объемы фрагментов свободны от дислокаций.

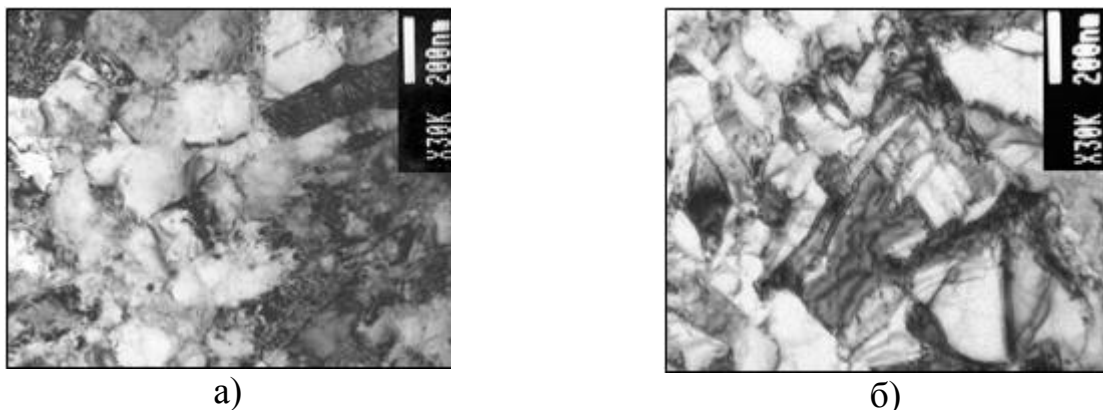
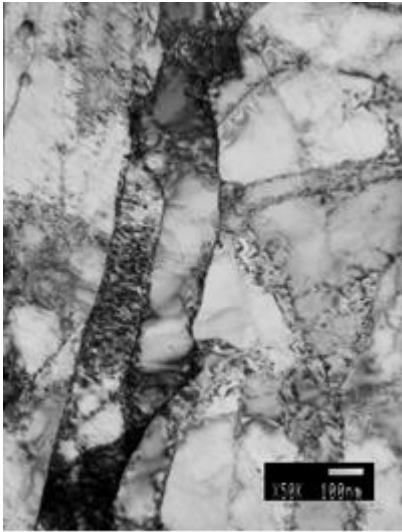


Рисунок 1 – Микроструктура стали 12X18H10Т после РКУП : а –  $T_{\text{деф.}}=400^{\circ}\text{C}$ ,  $N=4$ ; б –  $T_{\text{деф.}}=500^{\circ}\text{C}$ ,  $N=6$

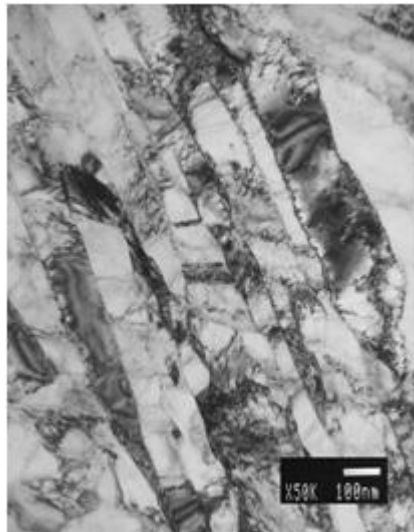
Микроструктура после отжига при 400 и 500°C (рис. 2 а, б) не отличается от структуры после РКУП до отжигов (рис. 1). Сохранились вытянутые фрагменты, в них заметны поперечные дислокационные стенки. Плотность дислокаций высокая, наиболее плотные скопления дислокаций у границ фрагментов. По мере дальнейшего увеличения температуры наблюдается уменьшение ширины фрагментов и деление их поперечными субграницами. Появилось больше «чистых» от дислокаций участков.

Отжиг при температуре 600°C (рис. 2 в) приводит к образованию зерен. В тонкой структуре присутствуют равноосные структурные составляющие, удлиненные фрагменты встречаются редко. После отжига при температуре 650°C (рис. 2 г) наблюдаются подросшие, по сравнению с 600°C (рис. 2 в), равноосные зерна, удлиненных фрагментов нет. После отжига при температуре 700°C (рис. 2 д) зерна заметно увеличились, вытянутые фрагменты отсутствуют. Выдержка при температуре 800°C привела к интенсивному прохождению собирательной рекристаллизации (СР) (рис.2 е), произошел резкий рост размеров зерен - более 1 мкм, наблюдаются двойники отжига.

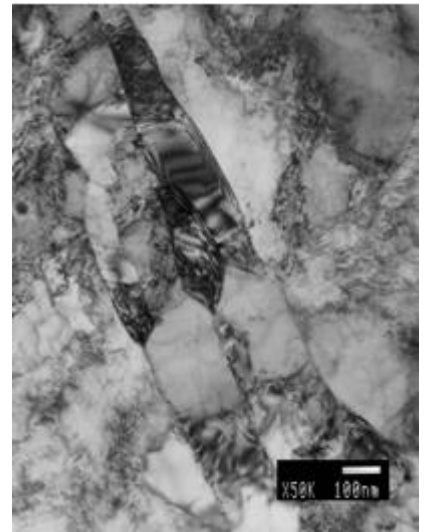
Микроструктура по сечению образцов после РКУП  $T_{\text{деф.}}=400^{\circ}\text{C}$ ,  $N=4$ ; и  $T_{\text{деф.}}=500^{\circ}\text{C}$ ,  $N=6$  из стали после отжига и процессы протекающие в ней, аналогична микроструктуре и процессам в стали после РКУП ( $T_{\text{деф.}}=500^{\circ}\text{C}$ ,  $N=6$ ) (рис. 3 а – е).



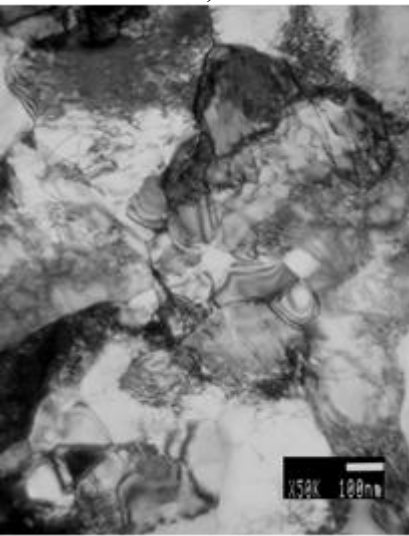
а)



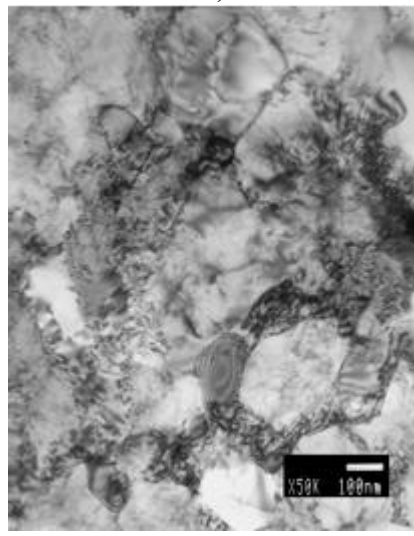
б)



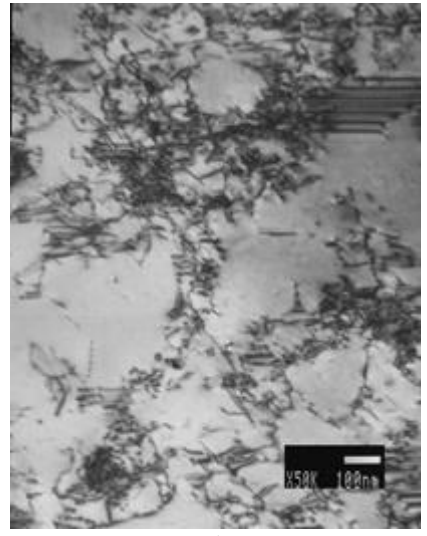
в)



г)



д)



е)

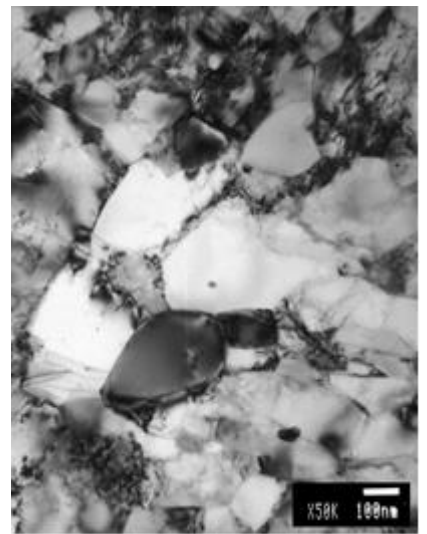
Рисунок 2 –Микроструктура стали 12Х18Н10Т РКУП ( $T_{\text{деф.}}=400^{\circ}\text{C}$ ,  $N=4$ ) после отжига: а –  $T_{\text{отж}}=400^{\circ}\text{C}$ ; б –  $T_{\text{отж}}=500^{\circ}\text{C}$ ; в –  $T_{\text{отж}}=600^{\circ}\text{C}$ ; г –  $T_{\text{отж}}=650^{\circ}\text{C}$ ; д –  $T_{\text{отж}}=700^{\circ}\text{C}$ ; е –  $T_{\text{отж}}=800^{\circ}\text{C}$



а)



б)



в)

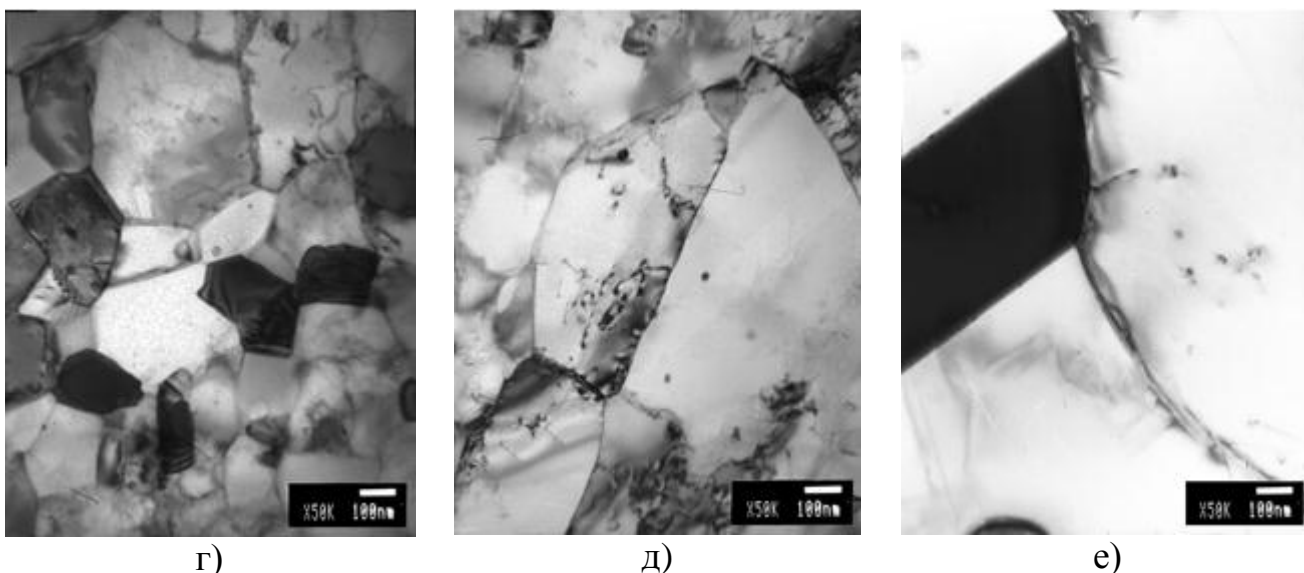


Рисунок 3 – Микроструктура стали 12X18H10T РКУП ( $T_{\text{деф.}}=500^{\circ}\text{C}$ ,  $N=6$ ) после отжига : а –  $T_{\text{отж}}=400^{\circ}\text{C}$ ; б –  $T_{\text{отж}}=500^{\circ}\text{C}$ ; в –  $T_{\text{отж}}=600^{\circ}\text{C}$ ; г –  $T_{\text{отж}}=650^{\circ}\text{C}$ ; д –  $T_{\text{отж}}=700^{\circ}\text{C}$ ; е –  $T_{\text{отж}}=800^{\circ}\text{C}$

Отжиг при температуре 400 и  $500^{\circ}\text{C}$  слабо влияет на величину микротвердости исследуемой стали (рис. 4), и разница в значениях микротвердости между образцами, полученными при разных температурах РКУП, сохраняется.

Микротвердость практически не меняется до  $600^{\circ}\text{C}$ , а с дальнейшим повышением температуры отжига начинается ее существенное понижение. Это является результатом снижения плотности дислокаций, уменьшения искажений кристаллической решетки и внутренних напряжений в стали, увеличением размера зерен, что хорошо согласуется с результатами микроструктурных (ПЭМ) и РСА исследований (табл. 1).

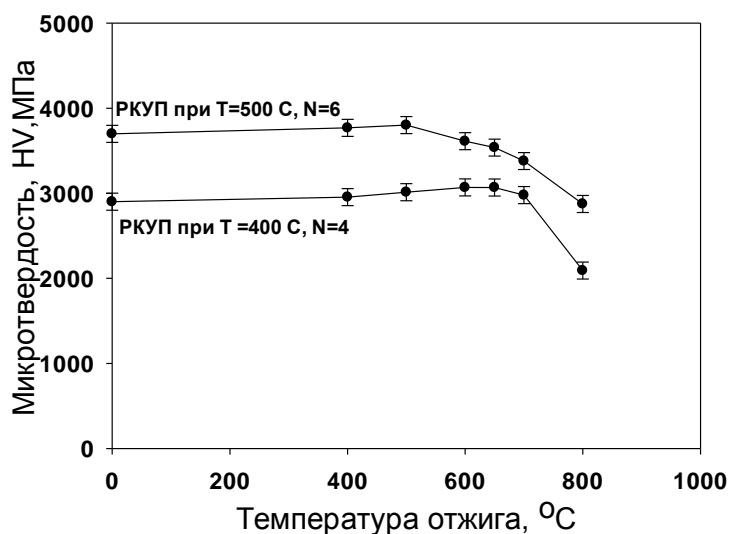


Рисунок 4 – Зависимость микротвердости от температуры отжига.

## Результаты РСА

Состояние стали	Фазовый состав	Физические параметры		
		Период решетки, А	Размер ОКР, нм	Микродеформация, %
КЗ	$\gamma$	$3,592 \pm 2 \cdot 10^{-4}$	$241,8 \pm 27,52$	$0,00052 \pm 3 \cdot 10^{-5}$
ГК	$\gamma$	$3,593 \pm 2 \cdot 10^{-4}$	$162,4 \pm 5,5$	$0,00122 \pm 4 \cdot 10^{-5}$
РКУП (400°C, N=4)	$\gamma$	$3,593 \pm 1 \cdot 10^{-4}$	$111,9 \pm 2,0$	$0,00135 \pm 6 \cdot 10^{-5}$
РКУП (500°C, N=6)	$\gamma$	$3,59 \pm 1,9 \cdot 10^{-4}$	$233,3 \pm 1,7$	$0,00130 \pm 3,8 \cdot 10^{-4}$
	$\alpha'$	$2,87 \pm 2,3 \cdot 10^{-4}$	$228,7 \pm 1,6$	$0,0017 \pm 1,2 \cdot 10^{-4}$

Таким образом, УМЗ структура стали 12Х18Н10Т, сформированная при РКУП стабильна до температуры 600°C. Нагрев выше этой температуры приводит к резкому росту размеров зерен.

## Библиографический список

1. Салищев Г.А. Структура и механические свойства нержавеющей сталей, подвергнутых интенсивной пластической деформации / Г.А. Салищев, Р.Г. Зарипова, А.А. Закирова // Металловедение и термическая обработка металлов. 2006. №2 (608). С. 27–32
2. Farkhutdinov K.G., Submicrocrystalline 18-10 Stainless Steel: Structure Formation, Mechanical and Corrosion Properties / K.G. Farkhutdinov, R.G. Zaripova, N.A. Breikina // Mater.Sci.Eng.1994.A174. P.217–223
3. Иванов Ю.Ф. Формирование градиентных структурно-фазовых состояний на наномасштабном уровне в прокатных валках / Ю.Ф. Иванов [и др.] // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2008. №4. С. 55 – 58.