

# ВЛИЯНИЕ МАРТЕНСИТА ДЕФОРМАЦИИ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ, ОБЛУЧЕННЫХ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ЧАСТИЦАМИ

Цай К.В., Захаров М.А., Сильнягина Н.С., Отставнов М.А., Мережко М.С.

Институт ядерной физики, Алматы, Республика Казахстан

Контакты: kira.tsai7@gmail.com

Введение

Под действием внешних нагрузок в метастабильных аустенитных сталях в процессе формирования деформационной микроструктуры образуется  $\alpha'$ -фаза (мартенсит деформации), более прочная по сравнению с  $\gamma$ -аустенитом и обладающая ферромагнитными свойствами. Плотность мартенсита в легированных сталях меньше плотности аустенита (7,6–7,7 г/см<sup>3</sup> против 7,9 г/см<sup>3</sup> в случае стали 12X18H10T). В результате этого в объеме стали вблизи мартенситных включений возникают локальные внутренние напряжения, дополнительно упрочняющие материал. Количество  $\alpha'$ -фазы, образующейся при деформации, зависит от многих

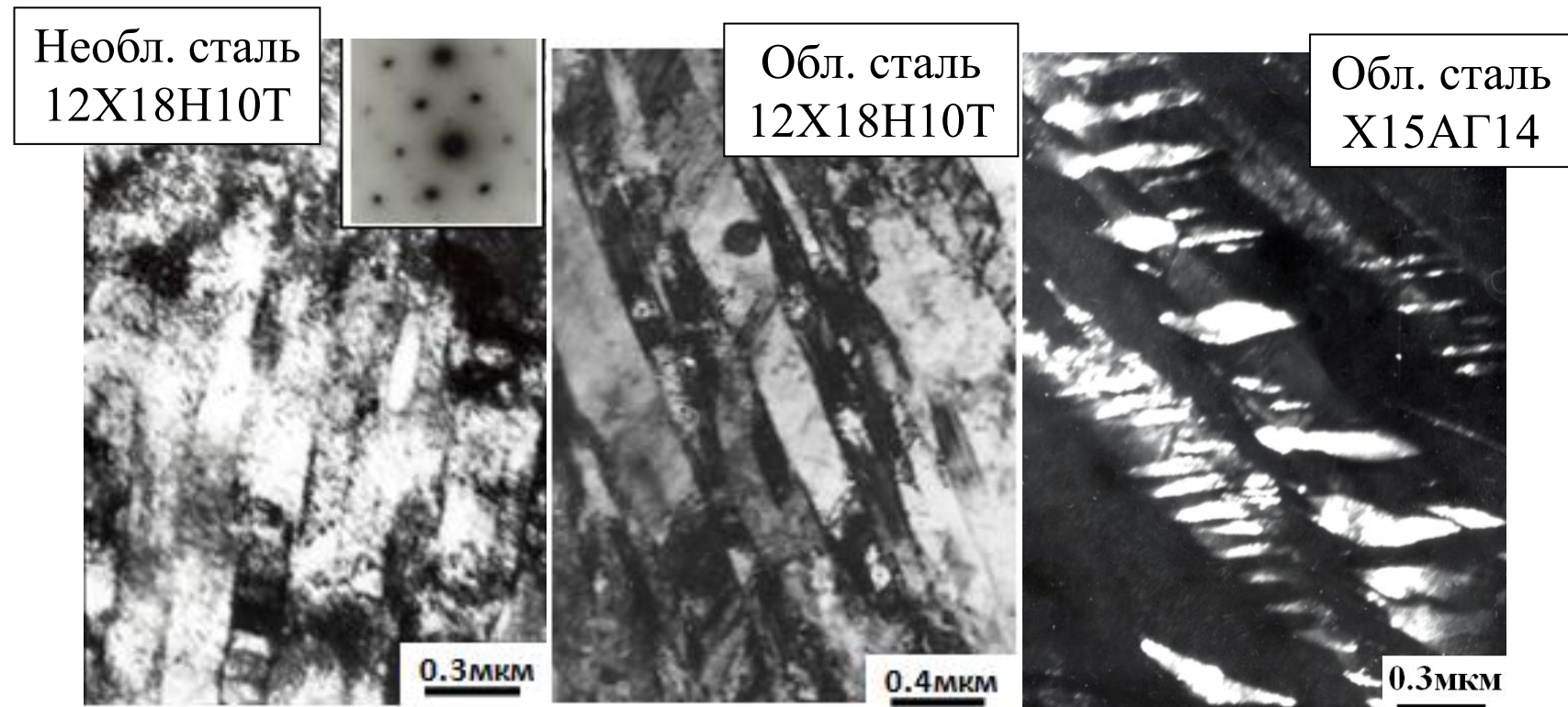
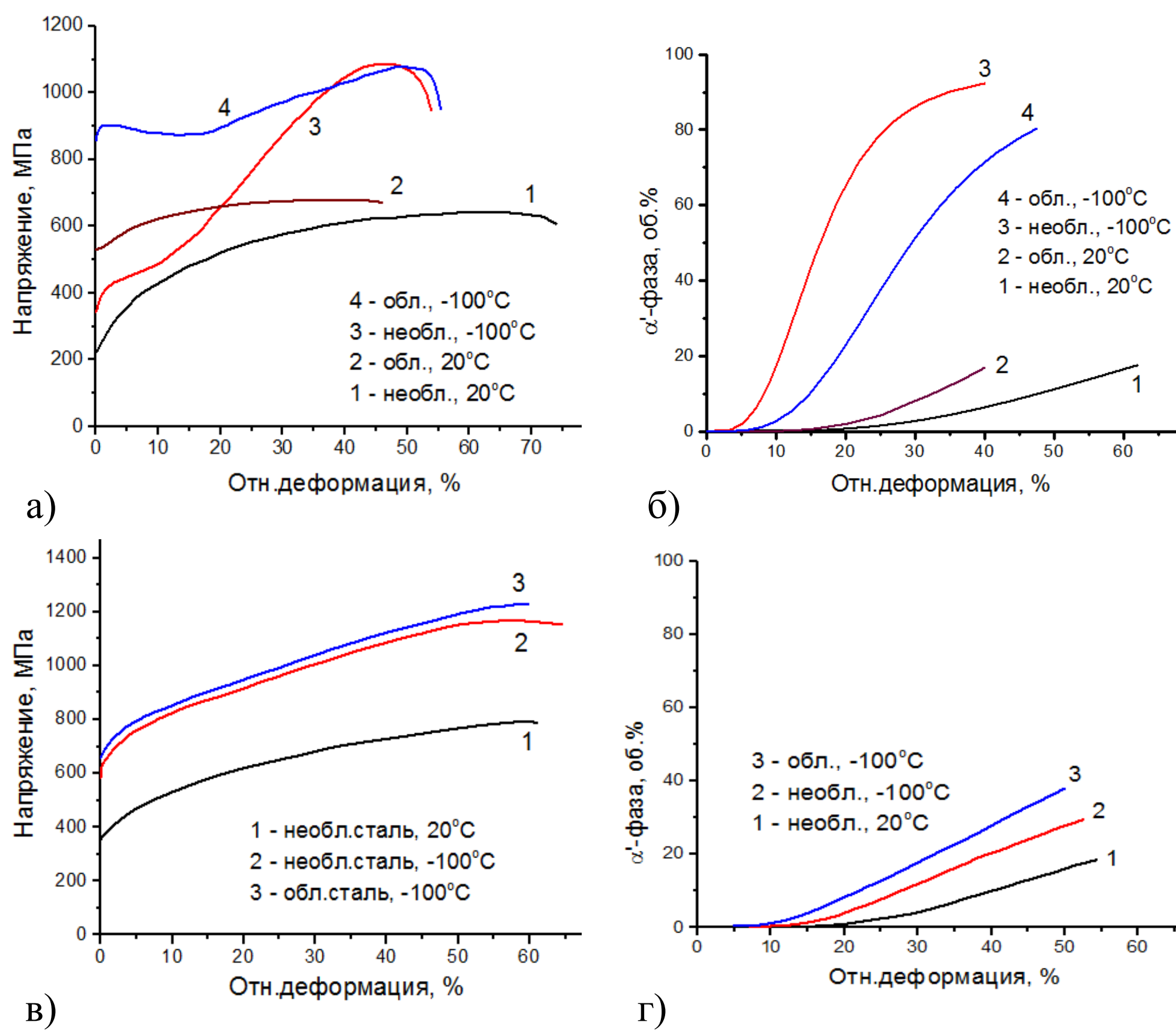
условий, наиболее значимые из которых - химический состав аустенитной стали, вид деформации, температура и скорость деформации, облучение высокоэнергетическими частицами.

Мартенситная  $\alpha'$ -фаза метастабильна, ее содержание можно легко контролировать термообработкой. Отжиг в течении 30 – 60 минут инициирует обратный  $\alpha' \rightarrow \gamma$  фазовый переход в материале вплоть до почти полного исчезновения  $\alpha'$ -фазы (при температуре ~800°C). Изменение содержания мартенситной фазы существенно влияет на прочностные свойства сталей и их эксплуатационные характеристики.

Методики

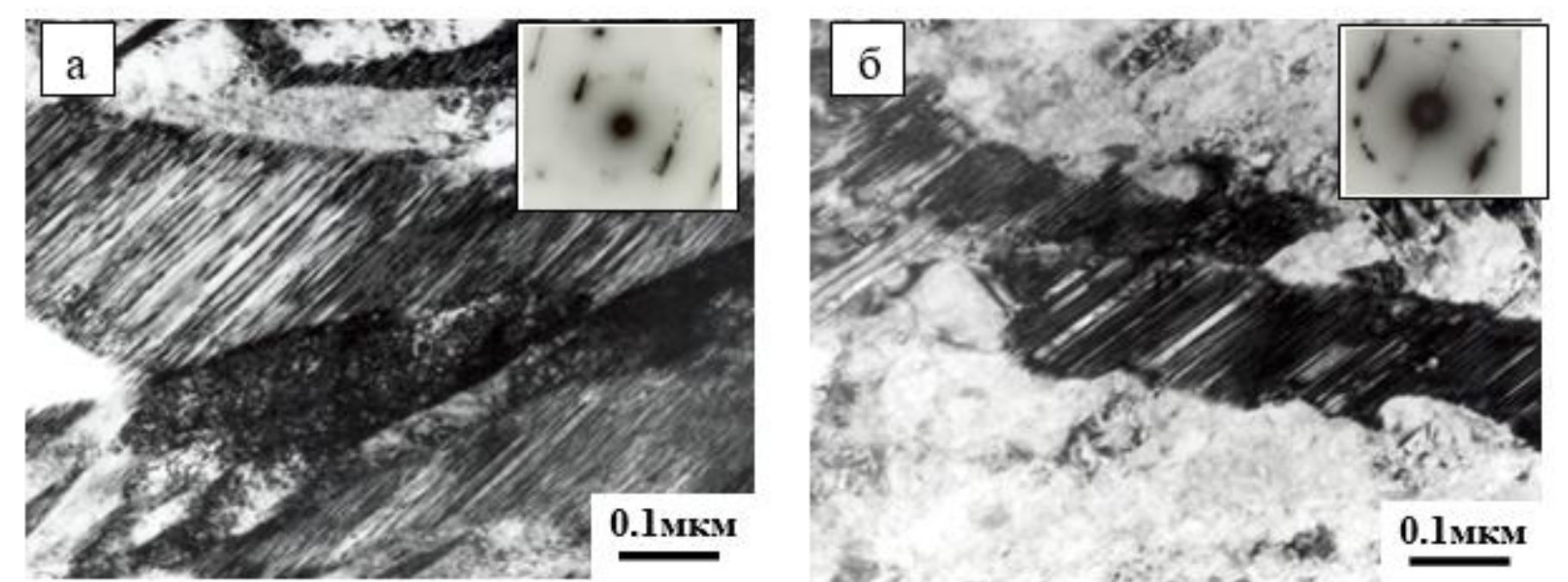
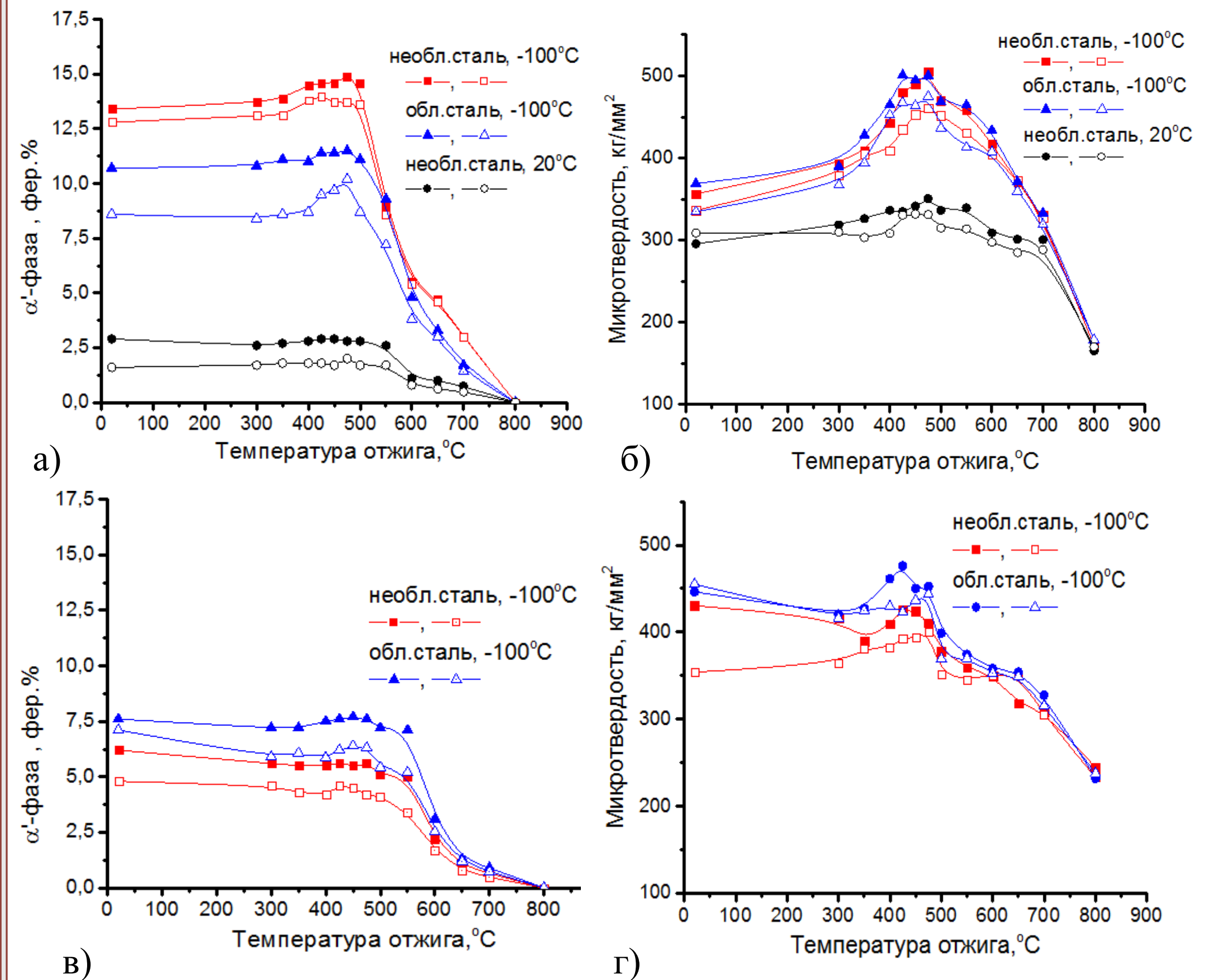
Проведены эксперименты по определению изменений фазового состава и механических свойств необлученных и облученных нейтронами аустенитных сталей 12X18H10T и X15AG14, подвергнутых низкотемпературной деформации при -100°C и 20°C, а также постдеформационным изохронным (30 мин) отжигам в интервале температур 300 – 800°C. Предварительная термообработка для стали 12X18H10T – 1050°C/30 мин. с закалкой в воду, для стали X15AG14 – 1030°C/5 мин. с закалкой в воду. Облучение (реактор ВВР-К)  $1,3 \times 10^{20}$  н/см<sup>2</sup> (сталь 12X18H10T) и  $5 \times 10^{18}$  н/см<sup>2</sup> (сталь X15AG14). Испытания на одноосное растяжение стальных образцов проводили на разрывной машине INSTRON-1195 со скоростью 0,5мм/мин. Количественное содержание  $\alpha'$ -мартенсита определяли с помощью ферритоскопа МР30Е-S. Измерения микротвердости стали осуществляли на микротвердомере ПМТ-3 с нагрузкой на индентор 50г. С помощью просвечивающей электронной микроскопии (JEOL JEM-2100) исследовали микроструктуру  $\alpha'$ -мартенсита и остаточного аустенита после деформации и постдеформационного отжига.

Инженерные диаграммы растяжения и кривые накопления  $\alpha'$ -фазы при температурах -100°C и 20°C для сталей 12X18H10T (а,б) и X15AG14 (в,г)



Микроструктура  $\alpha'$ -мартенсита в сталях 12X18H10T и X15AG14 после деформации до 30 - 35% при -100°C

Изменение содержания  $\alpha'$ -фазы и микротвердости в результате изохронных отжигов для деформированных образцов сталей 12X18H10T (а, б) и X15AG14 (в, г) в точках с максимальной и минимальной намагниченностью



Микроструктура  $\alpha'$  и  $\epsilon$ - мартенсита в сталях X15AG14(а) 12X18H10T(б) после деформации до 30 - 35% и отжига при 450°C (30 мин)

В результате проведенных экспериментов показано следующее:

- Понижение температуры деформации до -100°C приводит к росту прочностных характеристик облученных нейтронами аустенитных сталей практически без потери пластичности. Наиболее значимый вклад в деформационное упрочнение стали 12X18H10T вносит образование и рост  $\alpha'$ - (ОЦК) мартенситной фазы при незначительной доле  $\epsilon$ - (ГПУ) мартенсита. В случае стали X15AG14 количество  $\alpha'$ -фазы в 2-3 раза ниже, а деформационное упрочнение обусловлено вкладом от  $\epsilon$ - мартенсита и сопутствующей микроструктуры (двойников, дислокационных скоплений).

- При -100°C нейтронное облучение приводит к снижению скорости накопления  $\alpha'$ -фазы с увеличением степени деформации в стали 12X18H10T, тогда как в стали X15AG14 имеет место обратная зависимость – рост кинетики накопления  $\alpha'$ -фазы в облученном материале по сравнению с необлученным.

- В деформированных образцах (необлученных и облученных нейтронами) с высоким содержанием  $\alpha'$ -фазы наблюдается значительное отжиговое упрочнение при относительно слабом приросте содержания  $\alpha'$ - фазы. Температурный интервал упрочнения для стали 12X18H10T составляет 300 – 600°C, тогда как прирост  $\alpha'$ -фазы характерен для температур отжига 400 – 500°C. Максимум отжигового упрочнения соответствует максимальному содержанию  $\alpha'$ -фазы в образцах после отжигов. Для стали X15AG14 интервал отжигового упрочнения гораздо уже (425 – 475°C). По данным ПЭМ в результате отжига при 450°C в микроструктуре деформированных сталей появляются скопления тонких мартенситных пластин, которые могут принадлежать  $\alpha'$  и  $\epsilon$ - фазам.

- Отжиги при температурах 650 – 800°C инициируют процессы обратного  $\alpha' \rightarrow \gamma$  превращения, сопровождающиеся резким уменьшением содержания  $\alpha'$ -фазы и величины микротвердости стали. Максимальная скорость отжигового разупрочнения, независимо от облучения и химического состава сталей, отвечает температурам  $\geq 700^\circ\text{C}$ , тогда как максимальная скорость отжига  $\alpha'$ -фазы соответствует температурам 550 – 600°C.

Заключение