

# ВЛИЯНИЕ МЕХАНО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОБЪЕМНЫХ СПЛАВОВ НИКЕЛИДА ТИТАНА С ЭФФЕКТАМИ ПАМЯТИ ФОРМЫ

Н.Н. Куранова, В.В. Макаров

Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, 620990, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18

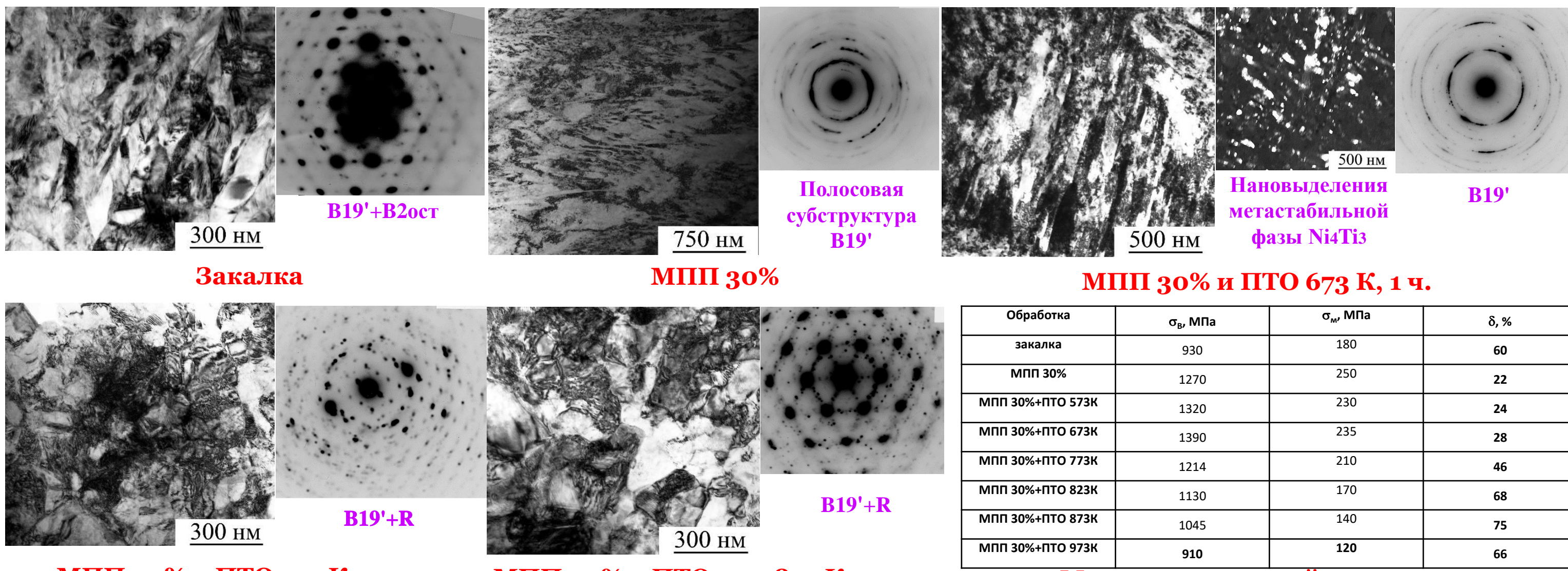


Температурные, механические и другие воздействия, обеспечивая термоупругие мартенситные превращения, приводят к ряду необычных и практически важных физических явлений. Индуцируемые термоупругие мартенситные превращения, циклически обратимые эффекты памяти формы, гигантские сверхупругость, демпфирование, калорические эффекты, включая эластокалорические, барокалорические, электрокалорические, магнитокалорические, выделяют инновационно-привлекательные конструкционные полифункциональные металлические smart-сплавы в особый отдельный класс материалов, востребованных в эффективных наукоемких и экологических технологиях. Для современной техники и технологий необходимо создание таких smart-сплавов, которые могут быть применены в реальных изделиях, устройствах и механизмах, эксплуатируемых в широком диапазоне термо-силовых и иных условий. Поэтому все более важной становится задача разработки методов получения, оптимизации легирования и термомеханической обработки различных объемных прочных и пластичных поликристаллических smart-материалов, ориентированных на последующее разнообразное промышленное применение.

Заметное улучшение прочностных и пластических характеристик сплавов на основе никелида титана может быть получено за счет формирования ультрамелкозернистой структуры. Поэтому в данной работе было выполнено изучение влияния многопроходной прокатки и последующей термообработки на фазовый состав, структуру и механическое поведение сплавов  $Ti_{49.5}Ni_{50.5}$  и стареющего сплава  $Ti_{49}Ni_{51}$  с эффектами памяти формы с целью создания ультрамелкозернистой структуры и высоких механических свойств.

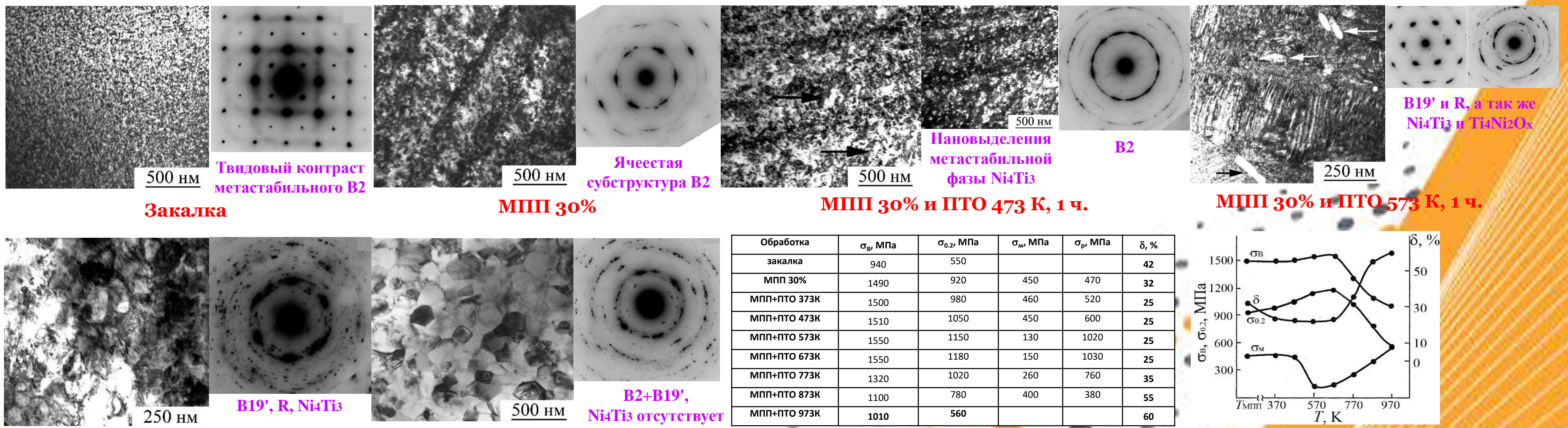
Слиток сплава был подвергнут при 1173-1273 К горячей ковке в прутки сечением 10x10 мм и закалке в воде от 1173 К с выдержкой 10 минут. Для измельчения зеренной структуры сплава был применен метод многопроходной прокатки прутков при комнатной температуре с суммарной накопленной степенью деформации обжатием на 30%. Постдеформационная термическая обработка выполнялась в режиме изохронного (в течение 1 часа) изотермического отжига при температурах в интервале (573-973) К - для  $Ti_{49.5}Ni_{50.5}$  и (373-973) К - для  $Ti_{49}Ni_{51}$  с охлаждением на воздухе. Для механических испытаний на растяжение при комнатной температуре были вырезаны стандартные цилиндрические образцы с длиной рабочей части 20 мм и диаметром 3 мм.

## $Ti_{49.5}Ni_{50.5}$



Механические свойства сплава  $Ti_{49.5}Ni_{50.5}$  после МПП и ПТО

## $Ti_{49}Ni_{51}$



Механические свойства сплава  $Ti_{49}Ni_{51}$  после МПП и ПТО

### Выводы:

#### Сплав $Ti_{49.5}Ni_{50.5}$

1. Обнаружено, что сплав  $Ti_{49.5}Ni_{50.5}$ , полученный МПП с обжатием на 30% в мартенситном состоянии, в процессе механических испытаний на растяжение при КТ обладает высокими прочностью ( $\sigma_B$  до 1300 МПа) и коэффициентом упрочнения, а также умеренным равномерным относительным удлинением (до 25%).
2. Установлено, что мартенситный сплав, наследующий от аустенита УМЗ структуру, полученную благодаря ПТО при повышенных температурах 573-873К, характеризуется наряду с заметным упрочнением ( $\sigma_B$  вплоть до 1400 МПа) способностью к повышенной пластической деформации ( $\delta$  до 75%).
3. УМЗ структура сплава обусловлена одновременным развитием при ПТО в аустените первичной рекристаллизации и гетерогенного распада с выделением высокодисперсных частиц метастабильной фазы  $Ni_4Ti_3$  преимущественно на границах зерен.
4. По данным фрактографических исследований сплав в мартенситном состоянии отличается вязким мелкоячеичным разрушением внутризеренного типа, а в УМЗ состоянии - по большешугловым границам ультрамелких зерен.

#### Сплав $Ti_{49}Ni_{51}$

1. Обнаружено, что сплав  $Ti_{49}Ni_{51}$ , полученный МПП с обжатием на 30% в аустенитном состоянии, в процессе механических испытаний на растяжение при КТ обладает высокими пределами текучести и прочности ( $\sigma_{0.2}$  до 900 МПа,  $\sigma_B$  до 1500 МПа) и коэффициентом упрочнения, а также умеренным равномерным относительным удлинением (30%).
2. Установлено, что мартенситный сплав, наследующий от аустенита УМЗ структуру, полученную благодаря ПТО при повышенных температурах 573-773 К, характеризуется наряду с заметным упрочнением ( $\sigma_{0.2}$  до 1000 МПа,  $\sigma_B$  до 1550 МПа) пластической деформацией ( $\delta$ -25%), а также способностью к фазовой текучести при  $\sigma_M$  100-200 МПа при высоком реактивном сопротивлении  $\sigma_p$  700-1000 МПа.
3. УМЗ структура сплава обусловлена развитием при ПТО в аустените первичной рекристаллизации с выделением высокодисперсных частиц метастабильной фазы  $Ni_4Ti_3$ , в том числе гетерогенным на границах зерен.
4. По данным фрактографических исследований сплав в аустенитном состоянии отличается вязким мелкоячеичным разрушением внутризеренного типа, а в УМЗ состоянии - по большешугловым границам ультрамелких зерен.