

методом обработки материалов. Температура в зоне контакта ультразвукового инструмента и обрабатываемой детали в момент удара повышается до  $800\text{--}1000^{\circ}\text{C}$ . В то время, как порог термической стабильности полученных нано- и субмикроструктур не превосходит  $450\text{--}500^{\circ}\text{C}$ . Для решения вопроса быстрого локального теплоотвода от пятна контакта инструмента и обрабатываемой детали при УЗО рекомендовано применение жидкостных и комбинированных систем ввиду их высокой эффективности, а также вихревой трубы из-за простоты ее изготовления и применения в технологическом процессе.

Показано, что охлаждение при УЗО существенно влияет структуру и прочностные характеристики обработанного материала. Микротвердость обработанной поверхности после УЗО с охлаждением растет тем значительно, чем эффективнее способ охлаждения.

Установлено, что при жидкостном охлаждении по сравнению с использованием СОЖ, глубина проникновения упрочненного слоя возрастает на 20%. Применение в технологической схеме УЗО жидкостного охлаждения позволяет увеличить слой тонкой нанокристаллической структуры на деталях любых размеров и любой геометрии до 20–25 мкм.

УДК 541.34:669.28

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО НИКЕЛИДА ТИТАНА МЕТОДОМ ПРОДОЛЬНОЙ ПРОКАТКИ

Алехин В. П., Лесюк Е. А., Галкина Е. Г.

*Московский государственный индустриальный университет*  
[lesyuk@elsite.ru](mailto:lesyuk@elsite.ru)

Проблема получения высокопрочного никелида титана решается за счет многократных интенсивных деформаций и диспергирования структуры вплоть до нанокристаллических размеров с использованием продольной прокатки полосы никелида титана в валах прокатного стана. Представлена эволюция структуры никелида титана в процессе пластической деформации.

В настоящее время основными технологическими приемами получения наноматериалов являются: порошковая технология, технология пленок и покрытий, контролируемая кристаллизация из аморфного состояния, интенсивная пластическая деформация. Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки. Нами предлагается технология получения высокопрочного никелида титана за счет многократных интенсивных деформаций и диспергирования структуры вплоть до нанокристаллических размеров с использованием продольной прокатки полосы никелида титана в валах прокатного стана. Разработанная технология позволяет получать массивные образцы никелида титана с нанокристаллической структурой и может осуществляться на обычном, используемом в производстве оборудовании.

Никелид титана представляет значительный научный интерес в связи с тем, что у него в довольно узком интервале концентраций вблизи экваторного состава наблюдается ряд структурных фазовых переходов, определяющих широкий спектр физико-механических свойств. Эффекты и явления, наблюдаемые на этом соединении, во многом присущи всему классу материалов, в которых возможно мартенситное превращение.

Технология получения ленты из никелида титана прокаткой включает в себя следующие этапы: выплавка стехиометрического состава в вакуумной печи с тройным переплавом; обточка резцом и резка на части; нагрев образцов в печи до температуры 1123–1173 К и горячая прокатка на двухвалковом стане до толщины 1,5–2,0 мм; частные обжатия не более 20–25%; скорость деформации не более  $10 \text{ с}^{-1}$ ; температура окончания прокатки не ниже 1023 К; теплая прокатка на четырех валковом стане при температуре 773 К обжатиями не более 15%; отжиг образцов в вакуумной печи при температуре 723 К в течение 1 часа и травление; холодная прокатка ленты на четырех валковом стане с обжатиями 5–8% до толщины 0,2 мм. После обжатия на 20–25% промежуточные отжиги при температуре 723 К в течение 1 часа; отжиг и травление; холодная прокатка ленты на двадцати валковом стане до требуемой толщины. При этом частные обжатия 5–8%. Общая степень деформации составляла 10–90%.

Анализ рентгенодифракционных спектров и электронно-микроскопические исследования образцов после воздействия высокого давления показал, что деформация прокаткой на 10–40% приводит к незначительным изменениям в структуре, т. е. происходит деформация внутри структурных фрагментов. При этом четкие границы между макрофрагментами сохраняются (рис. 1).

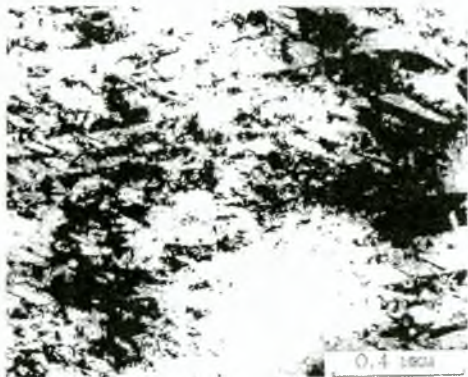


Рис. 1. Структура никелида титана после деформации прокаткой на 25%  $\times 75000$ .

При степени деформации прокаткой более 50% происходит интенсивное дробление структуры никелида титана. Она диспергирована настолько, что при просмотре в светлом поле создается впечатление монолитного материала, не имеющего границ раздела (рис. 2). Характерными особенностями данного структурного состояния являются высокая степень дисперсности и наличие двух фазовых состояний никелида титана – мартенситного (В 19) и аустенитного (В 2).

Пластическая деформация со степенью деформации 80–90% приводит к формированию структуры, в которой частицы моноклинного мартенсита 5–15 нм вкраплены в высокодисперсную аустенитную матрицу, состоящую из элементов структуры размером около 3 нм (рис. 3). Кристаллографическое строение матрицы соответствует высокотемпературному состоянию никелида титана (ОЦК-фаза с периодом 0,3013 нм).

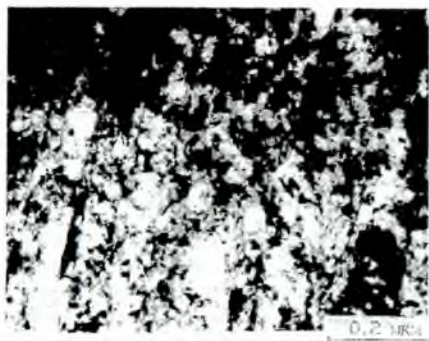


Рис. 2. Структура никелида титана после деформации на 50%  $\times 130000$ .

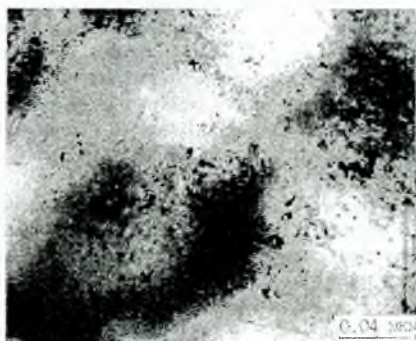


Рис. 3. Структура никелида титана после деформации прокаткой до 90%  $\times 500000$ .

## Выводы

Разработана технология получения высокопрочного никелида титана, которая позволяет получать его в аморфно-кристаллическом состоянии путем интенсивной пластической деформации в валах прокатного стана. Предложено альтернативное порошковой металлургии технологическое решение получения материала с ультрадисперсной структурой, минуя стадию непосредственно получения порошков и их компактирования. В отличие от порошкового варианта, разработанная технология позволяет получать массивные образцы с высокой термической стабильностью. Кроме этого, предлагаемая технология не требует дорогостоящего оборудования и может осуществляться на используемом в производстве оборудовании.

Анализ рентгенодифракционных спектров и электронно-микроскопические исследования образцов показал, что пластическая деформация прокаткой приводит к резкому диспергированию структуры TiNi. При этом формируется гетерогенная структура, состоящая из областей ультрадисперсного и рентгеноаморфного материала. Частицы моноклинного мартенсита размером 5–15 нм вкраплены в высокодисперсную матрицу, состоящую их элементов структуры размером около 3 нм.