

УДК 621.771.2 + 669.295:621.771

## ПРОКАТКА УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОГО ТИТАНА В КАЛИБРАХ

*Е.А. Горячев, В.П. Шумейко*

Холодная прокатка является распространенным методом упрочнения различных материалов и сплавов. Однако ее применение для титана, в частности для высокопрочного наноструктурного (НС) титана, еще не достаточно изучена. Исследованию возможности проведения такой обработки и ее влиянию на механические свойства и посвящена настоящая статья. Прокатка в четырехвалковых показала повышение прочностных характеристик НС титана в результате холодной прокатки: на 46–48 %. Исследования структуры получаемого материала показали, что в поперечном сечении наблюдается равноосная структура (0,15 мкм), а в продольном направлении зерна оказываются фрагментированными (смесь пластин и равноосных фрагментов). Средняя толщина пластин и средний размер равноосных фрагментов составляет 0,12–0,14 мкм.

Ключевые слова: наноструктурный, пластическая деформация, структура, сплав, прокатка, валок, четырехстороннее обжатие, равноосный, пластометр.

Развитие современных отраслей промышленности предъявляет все более высокие требования к качеству материалов и эксплуатационным свойствам изделий. Важными, с этой точки зрения является разработка новых подходов к созданию перспективных материалов, обеспечивающих высокий уровень свойств, например, конструкционной прочности, ударной вязкости и усталостных характеристик. В последние годы большое внимание исследователей вызывают наноструктурные материалы, обладающие уникальной структурой и свойствами [1].

Очень актуальна эта проблема в медицине. Необходимо найти более надёжные материалы для изготовления новых имплантатов, протезов и инструментов, для замены поврежденных частей тела человека. Современная хирургия и стоматология нуждаются в металлах и сплавах с высокой химической инертностью и адекватной механической прочностью.

Среди различных методов получения наноструктурных материалов выделяются методы интенсивной пластической деформации (ИПД), позволяющие достичь сильного измельчения структуры за счет больших деформаций под высоким приложенным давлением. Например, метод равноканального углового прессования (РКУП) позволяет получать в массивных образцах технически чистого титана ВТ1-0 ультрамелкозернистую струк-

туру с размером зерен 0,3 мкм, что приводит к более высоким значениям пределов прочности и текучести  $\sigma_{0,2} = 770$  МПа, и  $\sigma_{\text{в}} = 790$  МПа по сравнению с исходным крупнозернистым (КЗ) титаном. Ресурс пластичности при этих значениях прочностных характеристик достаточно высокий ( $\delta = 15$  %) [2] и потенциально позволяет провести дополнительную холодную упрочняющую обработку с целью дальнейшего измельчения структуры и получения максимально высоких прочностных и усталостных свойств.

Холодная прокатка является распространенным методом упрочнения различных материалов и сплавов. Однако ее применение для титана, в частности для высокопрочного наноструктурного (НС) титана, еще не достаточно изучена. Исследованию возможности проведения такой обработки и ее влиянию на механические свойства и посвящена настоящая статья.

Для исследования режимов холодной деформации наноструктурного титана перспективным является прокатка на станах с четырехсторонним обжатием, конструкции ЧПИ [3]. Способ прокатки четырехсторонним обжатием имеет схему пластической деформации более близкую к всестороннему сжатию с высоким гидростатическим давлением и схему деформации с желаемым поперечным течением материала, что позволяет устранить недостатки известных способов прокатки. Прокатка с четырехсторонним обжатием осуществляется в калибрах, образованных четырьмя валками, оси которых расположены в одной вертикальной плоскости.

Прокатка заготовок диаметром 31 мм из РКУП титана ВТ1-0 проведена на стане МКУ-200 ЧПИ. Отдельные заготовки прокатывались в калибрах прокатного стана ДУО – 180.

Последовательная прокатка в квадратных и восьмигранных калибрах с кантовкой полосы на  $45^\circ$  показала возможность осуществления холодной упрочняющей обработки с суммарной степенью деформации до  $\varepsilon = 90$  %. Получены образцы сечением 14 мм с удовлетворительным качеством поверхности. Для снятия внутренних напряжений в процессе прокатки проводились промежуточные отжиги при температуре  $300$  °С после суммарной деформации на 30 и 50 %. В дальнейшем степень деформации между отжигами снижалась. Это необходимо для получения образцов без наружных и внутренних дефектов. Для устранения кривизны полосы осуществлялась правка на гидравлическом прессе усилием 50Тс.

Из полученного проката были изготовлены стандартные цилиндрические образцы для исследования механических свойств на растяжение и проведения испытаний на усталостную прочность. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 1.

Данные табл. 1 указывают на повышение прочностных характеристик НС титана в результате холодной прокатки: на 46–48 %.

Таблица 1

Механические свойства титана исходном,  
НС (РКУП) и холоднокатаном состояниях

Материал	$\sigma_{\text{в}}$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\sigma_{-1}$ , МПа
Исходный	560	430	35	250
НС	765	670	23	310
НС+хол. прокатка	1010	900	17,5	460

Исследования структуры получаемого материала показали, что в поперечном сечении наблюдается равноосная структура (0,15 мкм), а в продольном направлении зерна оказываются фрагментированными (смесь пластин и равноосных фрагментов). Средняя толщина пластин и средний размер равноосных фрагментов составляет. 0,12–0,14 мкм.

С целью сравнения поведения титана с разной исходной структурой при холодной прокатке с большими степенями деформации ( $\varepsilon \geq 90\%$ ) выполнена прокатка заготовок  $\varnothing 54$  мм из крупнозернистого титана (BT1-0) и наноструктурного титана.

Была разработана схема безкалиберной прокатки на гладкой бочке прокатного стана с диаметром валков 320 мм. Окружная скорость валков  $n=55$  об/мин.

Механические свойства полученных образцов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Механические свойства КЗ и НС титана в процессе холодной прокатки

Состояние	$\sigma_{\text{в}}$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %
КЗ	790	750	9
НС	1010	900	13

После прокатки со степенью деформации, равной  $\varepsilon = 80\%$ , были изготовлены образцы для проведения механических испытаний, металлографических исследований.

Данные табл. 2 показывают более высокие характеристики прочности и пластичности НС титана в сравнении с КЗ при равной степени деформации, а также более высокое суммарное упрочнение КЗ титана при значительном снижении пластичности.

Для изучения возможности получения фольги из титана (КЗ и НС) проведена прокатка заготовок толщиной 5 мм из КЗ титана и НС титана.

Получены образцы фольги толщиной  $h=20$  мкм. Разовая деформация при прокатке равнялась  $\varepsilon = 5\%$  от задаваемой толщины заготовки. Для снятия внутренних напряжений проводился отжиг при температуре  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Установлена заметная разница упругой деформации клетки при прокатке разных видов титана. Для получения одинаковых размеров полосы величина перемещения нажимных винтов различна при прокатке разного титана.

При моделировании процессов прокатки на пластометре производился ряд последовательных обжатий цилиндрических образцов с размерами  $d \cdot h = 6 \cdot 9, 8 \cdot 12, 10 \cdot 16$  мм из сплавов титана ВТ1-0. Обжатие образцов осуществлялось в соответствии с заданным законом изменения скорости и степени деформации. Исследования проводились на кулачковом пластометре по методике, изложенной в работе [4].

### **Заключение**

Впервые осуществлена холодная прокатка наноструктурного титана ВТ1-0 и проведено сравнение механических свойств технически чистого титана с разным размером зерен в интервале  $15\text{--}0,15$  мкм.

Показано, что холодная прокатка является эффективным методом упрочнения наноструктурного титана, позволяющим увеличить прочностные характеристики.

Для получения более высокой степени упрочнения при суммарной деформации  $\varepsilon > 90\%$  предложен способ дозированной деформации прокаткой с переменным обжатием.

### **Библиографический список**

1. Валиев, Р.З. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией / Р.З. Валиев, И.В. Александров. – М.: Логос, 2000. – 272 с.
2. Валиев, Р.З. Разработка наноструктурного титана медицинского применения / Р.З. Валиев, В.В. Столяров, В.В. Латыш // *New technologies for the 21 Century*. – 2001. – № 5. – С. 19.
3. Барков, Л.А. Прокатка малопластичных металлов с многосторонним обжатием / Л.А. Барков, В.Н. Выдрин, В.В. Пастухов, В.Н. Чернышев. – Челябинск. Металлургия. Челябинское отделение, 1988. – 304 с.

[К содержанию](#)