

PACS: 62.20.-x

А.И. Коршунов, И.И. Ведерникова, Л.В. Поляков, А.А. Смоляков,  
Т.Н. Кравченко, И.В. Коротченкова

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЛИЧЕСТВА ЦИКЛОВ РАВНОКАНАЛЬНОГО УГЛОВОГО ПРЕССОВАНИЯ НА СКОРОСТНУЮ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ТИТАНА ВТ1-0

Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ  
пр. Мира, 37, г. Саров, Нижегородская обл., 607190, Россия  
E-mail: korshun1@sar.ru

*Исследовано влияние равноканального углового прессования (РКУП) по маршруту В<sub>С</sub> титана ВТ1-0. Показано, что существует зависимость его механических характеристик от скорости деформации. При повышении скорости в исходном состоянии наблюдаются уменьшение прочностных и увеличение пластических характеристик, после 1, 4 и 8 проходов – наоборот, увеличение прочностных и уменьшение пластических свойств. Установлено, что с ростом количества проходов РКУП и степени деформации коэффициент скоростной чувствительности увеличивается.*

### Введение

Процесс РКУП нашел широкое применение как один из методов получения материалов с мелкодисперсным зерном и, как следствие, с уникальными механическими свойствами [1]. При РКУП течение материала, особенно в зоне пересечения каналов, происходит при различных скоростях деформации [2]. При моделировании процессов с реализацией больших пластических деформаций, в частности процесса РКУП, влияние скорости деформации пластического течения как правило учитывается через коэффициент скоростной чувствительности, определяемый экспериментально при ступенчатом изменении скорости [3]. Далее неявно подразумевается, что этот коэффициент остается постоянным и не зависит от степени деформации.

В настоящей работе проведены эксперименты, позволяющие определить коэффициент скоростной чувствительности в зависимости от степени истинной деформации. Эксперименты проведены в диапазоне скоростей деформации от  $6.2 \cdot 10^{-5}$  до  $6.2 \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ , что соответствует условиям, при которых протекает процесс РКУП.

### Методика исследований

В качестве материала для исследований был выбран титан ВТ1-0 в виде листа толщиной 8 mm.

Заготовки для РКУП с размерами  $8 \times 8 \times 60$  mm вырезали из листа таким образом, чтобы сторона заготовки размером 60 mm была ориентирована вдоль направления проката. Верх листа при РКУП был ориентирован в сторону выходного канала штампа. Пересечение входного и выходного каналов выполнено под углом  $90^\circ$ . Направление прессования совпадало с направлением проката. Поворот заготовки при прессовании по схеме  $B_C$  выполняли по часовой стрелке, если смотреть на заготовку со стороны приложения нагрузки.

РКУП титана ВТ1-0 проводили при температуре  $450^\circ\text{C}$  со скоростью перемещения пуансона 50 mm/min, выдавливание из горизонтального канала осуществляли медью. Для предотвращения схватывания и уменьшения трения между титаном и сталью на титановые образцы наносили медное гальваническое покрытие. При прессовании использовали смазку РАНОЛ-03.

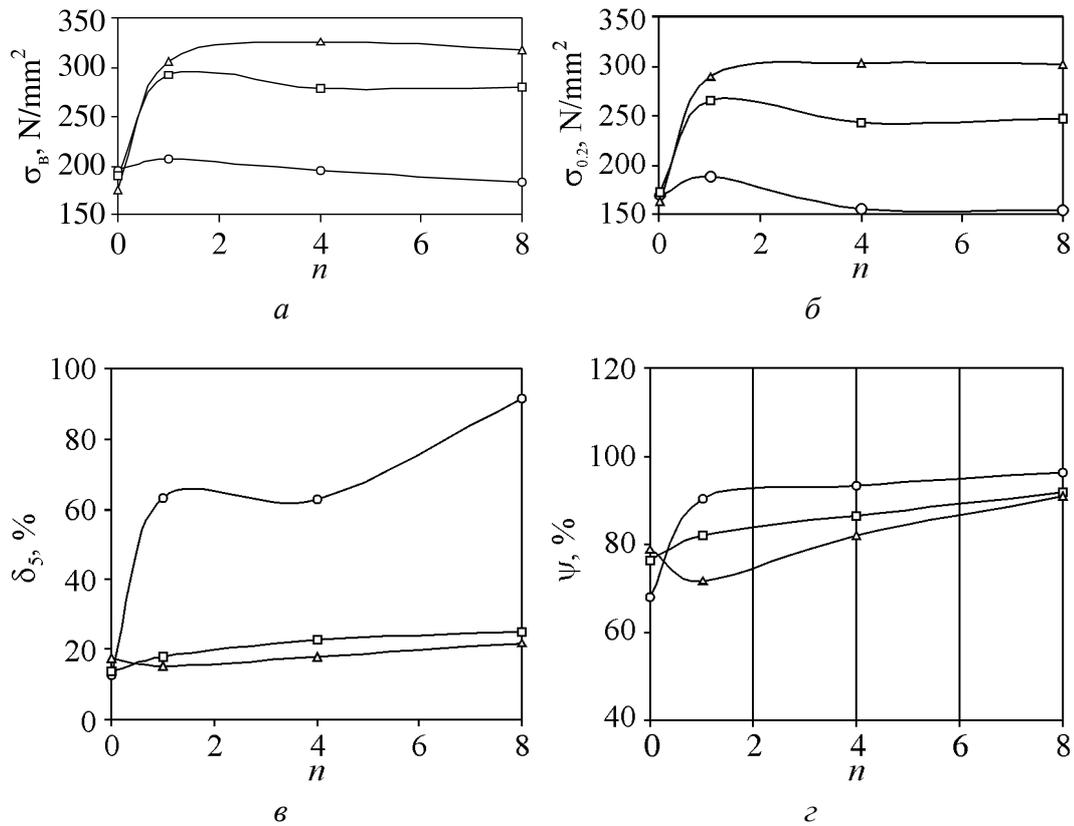
Из исходных титановых заготовок, а также заготовок после 1, 4 и 8 циклов РКУП по схеме  $B_C$  для испытаний на растяжение вырезали стандартные пятикратные образцы диаметром 4 mm. Растяжение проводили при температуре  $450^\circ\text{C}$  в диапазоне скоростей деформации от  $6.2 \cdot 10^{-5}$  до  $6.2 \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

### Результаты исследований и их анализ

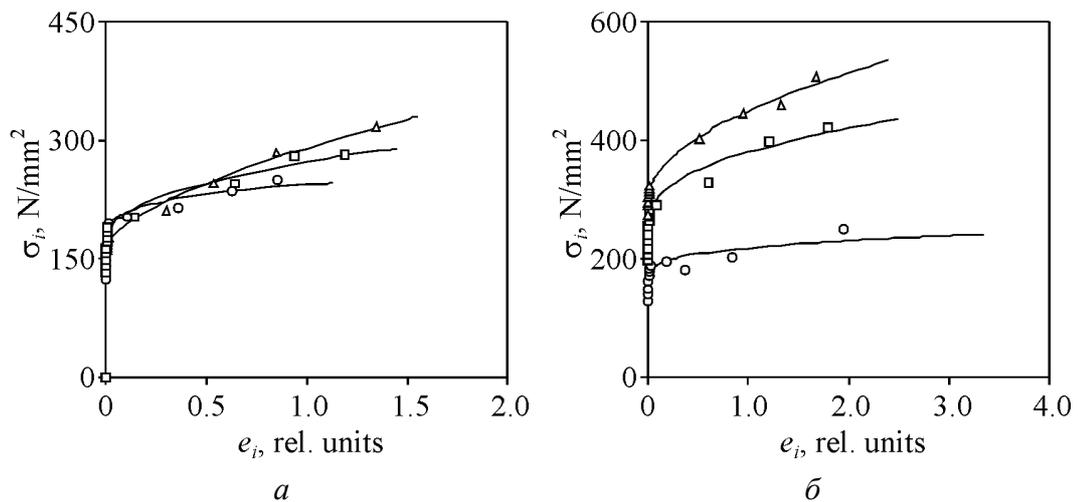
В результате исследований для титана ВТ1-0 в исходном состоянии и после 1, 4 и 8 проходов по схеме  $B_C$  при различных скоростях деформации определяли механические характеристики при растяжении: предел прочности  $\sigma_b$ , условный предел текучести  $\sigma_{0.2}$ , относительное удлинение после разрыва  $\delta_5$  и относительное сужение после разрыва  $\psi$ . На рис. 1 показаны зависимости полученных характеристик от количества проходов РКУП для изучаемых скоростей деформации.

Как следует из приведенных данных, для титана ВТ1-0 существует зависимость механических характеристик от скорости деформации. При увеличении скорости в исходном состоянии наблюдаются незначительные уменьшение прочностных и увеличение пластических характеристик, после 1, 4 и 8 проходов – наоборот, увеличение прочностных и уменьшение пластических свойств. После 8 проходов зависимость характеристик прочности и относительного удлинения от скорости особо значима в интервале скоростей  $10^{-5} - 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ , где прочностные характеристики изменяются в 1.5 раза, а удлинение – в 3 раза.

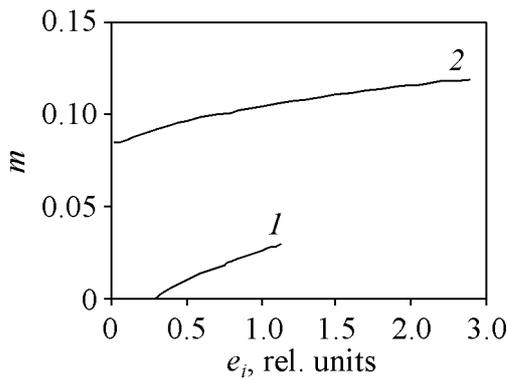
Для исследуемого титана в исходном состоянии и после 8 проходов РКУП при различных скоростях деформации построены истинные диаграммы деформирования, показанные на рис. 2. При их построении участок диаграмм после локализации формоизменения аппроксимировался степенной функцией



**Рис. 1.** Зависимость предела прочности  $\sigma_B$  (а), условного предела текучести  $\sigma_{0.2}$  (б), относительного удлинения после разрыва  $\delta_5$  (в), относительного сужения после разрыва  $\psi$  (г) титана ВТ1-0 от количества проходов РКУП  $n$  для различных скоростей деформации  $\dot{\epsilon}$ ,  $s^{-1}$ :  $-\circ-$  —  $6.2 \cdot 10^{-5}$ ,  $-\square-$  —  $1.2 \cdot 10^{-3}$ ,  $-\Delta-$  —  $6.2 \cdot 10^{-2}$



**Рис. 2.** Истинные диаграммы деформирования титана ВТ1-0 в исходном состоянии (а) и после 8 циклов РКУП по схеме  $B_C$  (б) для различных скоростей деформации  $\dot{\epsilon}$ ,  $s^{-1}$ :  $-\circ-$  —  $6.2 \cdot 10^{-5}$ ,  $-\square-$  —  $1.2 \cdot 10^{-3}$ ,  $-\Delta-$  —  $6.2 \cdot 10^{-2}$



**Рис. 3.** Зависимость коэффициента скоростной чувствительности  $m$  для титана ВТ1-0 в исходном состоянии (кривая 1) и после 8 циклов РКУП по схеме  $B_C$  (кривая 2) от степени деформации  $e_i$

Зависимость коэффициента скоростной чувствительности от степени деформации для исходного состояния и после 8 проходов РКУП приведена на рис. 3. Для получения этой зависимости использовали истинные диаграммы деформирования, полученные при скорости деформации  $6.2 \cdot 10^{-5}$  и  $6.2 \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

Результаты показывают, что для титана ВТ1-0 с увеличением количества проходов РКУП и степени деформации коэффициент скоростной чувствительности возрастет.

### Заключение

1. Существует скоростная чувствительность всех стандартных механических характеристик титана ВТ1-0, которая значимо проявляется уже после 1 цикла РКУП.
2. Коэффициент скоростной чувствительности для титана ВТ1-0 увеличивается с ростом числа циклов РКУП и повышением степени истинной деформации.

Данные исследования выполнены в рамках проекта CRDF T2-0197.

1. Р.З. Валиев, И.В. Александров, Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией, Логос, Москва (2000).
2. P.N. Nizovtsev, A.A. Smolyakov, V.P. Solovyev, A.I. Korshunov, L.V. Poliakov, International conference on novel composite materials «Nanocomposites-2004», Sochi, Russia (2004).
3. О.А. Кайбышев, Сверхпластичность промышленных сплавов, Металлургия, Москва (1984).

$$\sigma_i = \sigma_{0.2} + a_i e_i^b,$$

где  $\sigma_{0.2}$  – условный предел текучести;  $a$  и  $b$  – константы, зависящие от скорости деформации.

Для оценки скоростной чувствительности исследуемого материала использовали коэффициент [3]:

$$m = \frac{\lg(\sigma_{i2}/\sigma_{i1})}{\lg(\dot{\epsilon}_2/\dot{\epsilon}_1)},$$

где  $\dot{\epsilon}_2 > \dot{\epsilon}_1$  – скорости деформации;  $\sigma_{i2} > \sigma_{i1}$  – соответствующие этим скоростям истинные напряжения для одной и той же истинной деформации.

*A.I. Korshunov, I.I. Vedernikova, L.V. Polyakov, A.A. Smolyakov, T.N. Kravchenko, I.V. Korotchenkova*

EFFECTS OF THE NUMBER OF EQUAL-CHANNEL ANGULAR PRESSING PASSES ON THE STRAIN RATE SENSITIVITY OF TITANIUM VT1-0

The influence of equal-channel angular pressing (ECAP) of titanium VT1-0 by route  $B_C$  has been investigated. Mechanical properties of VT1-0 were shown to be sensitive to the strain rate. As the strain rate increases, in the as-received condition, strength and plasticity were observed to decrease and increase, respectively, whereas after 1, 4 and 8 passes the strength properties are observed to increase and plastic to decrease. The strain rate sensitivity coefficient was found to grow with the number of ECAP passes and strain growth.

**Fig. 1.** Tensile strength  $\sigma_B$  ( $a$ ), conventional yield strength  $\sigma_{0.2}$  ( $b$ ), elongation at rupture  $\delta_5$  ( $c$ ), contraction after rupture  $\psi$  ( $d$ ) of titanium VT1-0 as functions of the number of ECAP passes  $n$  for different strain rates  $\dot{\epsilon}$ ,  $s^{-1}$ :  $-\circ-$  –  $6.2 \cdot 10^{-5}$ ,  $-\square-$  –  $1.2 \cdot 10^{-3}$ ,  $-\Delta-$  –  $6.2 \cdot 10^{-2}$

**Fig. 2.** True deformation curves of as-received titanium VT1-0 ( $a$ ) and after 8 ECAP passes by route  $B_C$  ( $b$ ) for different strain rates  $\dot{\epsilon}$ ,  $s^{-1}$ :  $-\circ-$  –  $6.2 \cdot 10^{-5}$ ,  $-\square-$  –  $1.2 \cdot 10^{-3}$ ,  $-\Delta-$  –  $6.2 \cdot 10^{-2}$

**Fig. 3.** Strain rate sensitivity coefficient  $m$  as a function of strain  $e_i$  for titanium VT1-0 in the as-received condition (curve 1) and after 8 ECAP passes by route  $B_C$  (curve 2)