

УДК 539.374.2

**Д. Ю. Абашев**

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

9283dima@mail.ru

Научный руководитель — проф., д-р техн. наук Ю. Н. Логинов

## ПОСЛЕДСТВИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ЦИРКОНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ

В статье рассматривается влияние направления нагрузки на механические свойства, характерные для кристаллической решетки циркония. Пластическое деформирование циркониевых сплавов приводит к анизотропии механических свойств. При повторении схем нагружения данная анизотропия увеличивается. С целью уменьшения данного явления предложена схема проходов при деформировании циркония с чередованием сжимающих и растягивающих напряжений.

*Ключевые слова:* цирконий, кристаллическая решетка, направление нагрузки, анизотропия, плоская прокатка, схема обработки

**D. Y. Abashev**

## CONSEQUENCES OF PLASTIC DEFORMATION OF ZIRCONIUM WHILE ROLLING

The article considers the influence of the direction of the load on the mechanical properties characteristic of the zirconium crystal lattice. Plastic deformation of zirconium alloys leads to anisotropy of mechanical properties. When repeating loading patterns, this anisotropy increases. In order to reduce this phenomenon, a passage scheme is proposed for the deformation of zirconium with alternating compressive and tensile stresses.

*Key words:* zirconium, crystal lattice, direction of loading, anisotropy, flat rolling, processing scheme

Согласно имеющейся классификации ГПУ-металлы подразделяют на три группы по отношению высоты элементарной призмы к длине ребра основания  $a$ :  $c/a < 1,633$  (Ti, Zr, Hf; Be и т.д.);  $c/a \cong 1,633$  (Mg,

Co);  $c/a > 1,633$  (Zn, Cd). В соответствии с этой классификацией рассматривают и механизмы деформации металлов. Здесь видно, что титан и цирконий входят в одну группу металлов, поэтому часто считают, что в отличие, например, от магния, особенности обработки давлением для них окажутся общими. В частности, это обусловило появление патентов на особенности производства из этих металлов изделий [1; 2] и одинакового подхода к формулировке условия текучести [3; 4]. Испытания показывают, что механические свойства циркония ощутимо зависят от преимущественной ориентации осей  $\langle c \rangle$  относительно направления нагрузки, что приходится учитывать в расчетах [5].

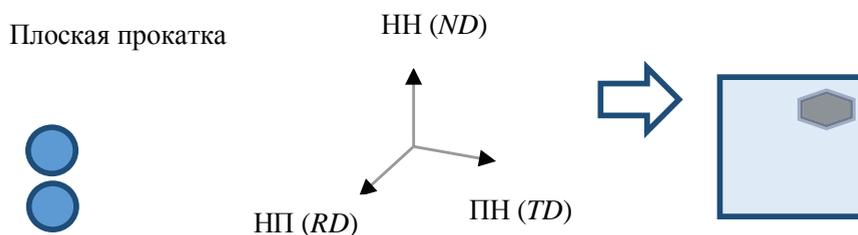


Рис. 1. Формирование текстуры при прокатке листов из циркония

На рис. 1 показана ситуация, возникающая при плоской прокатке циркониевых сплавов. Два валка создают обжатие полосы в направлении нормали  $HN$  ( $ND$ ). Здесь и далее будут приведены обозначения, принятые в России, а в скобках — в англоязычной литературе. Как известно, при плоской прокатке уширение не велико, поэтому из условия постоянства объема металл будет удлиняться в направлении прокатки  $HP$  ( $RD$ ). В перпендикулярном направлении  $PH$  ( $TD$ ) деформацией можно пренебречь. Базисные плоскости призмы ГПУ решетки ориентируются параллельно деформации сжатия, поэтому при прокатке призма располагается осью в направлении толщины проката с возможным рассевом углов наклона этой оси.

Такая схема аналогична случаю деформации полых заготовок при превалировании обжатия по стенке трубы над обжатием по диаметру. Результатом такого воздействия является различный уровень свойств, наблюдаемый в различных направлениях. Для примера на рис. 2 приведены кривые упрочнения циркония в трех направлениях для плоского проката.

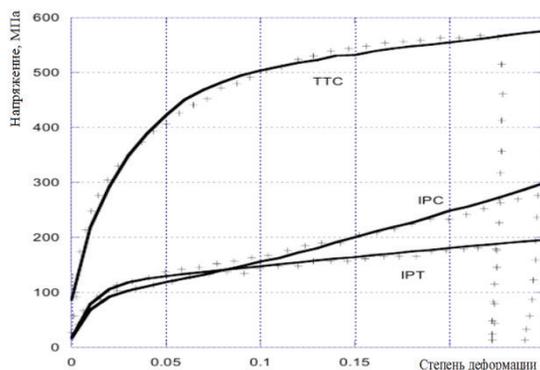


Рис. 2. Кривые упрочнения циркония: IPC и IPT — сжатие и растяжение в плоскости проката, TTC — сжатие по толщине проката [7]

По данным статьи [6] действие напряжений растяжения и сжатия сопряжено с изменениями исходной текстуры, характер которых зависит от направления приложенной нагрузки и типа активизируемых при этом механизмов пластической деформации. При совпадении последовательных схем приложения нагрузки анизотропия изделия усиливается, а при противоположных направлениях нагружения с ростом степени деформации — постепенно снижается и может измениться на обратную.

Это наводит на мысль о том, что, при повторении схемы нагружения металла в последовательных операциях обработки происходит увеличение степени анизотропии. Например, при листовой прокатке происходит чередование проходов при постепенном уменьшении толщины проката.

Если целью формоизменения является уменьшение анизотропии свойств, то следует получить литую заготовку с размерами, приближенными к конечному продукту. Тогда общее обжатие полосы окажется минимальным, что приведет к минимальной анизотропии свойств. Пока же существующая схема обработки приводит к увеличению анизотропии.

### Литература

1. Texture enhancement of metallic tubing material having a hexagonal close-packed crystal structure: пат. US4765174 United States: МПК В21В21/00, В21С37/06, В21С37/30/Cook Charles S, Sabol George P. : заявитель Westinghouse Electric Corporation [US]. опубли. 23.08.1988; приор. 20.02.1987.

2. Способ получения трубы из технически чистого титана с радиальной текстурой: пат. 2504598 Рос. Федерация: МПК В21В17/00, В23К103/14, С22F1/18 / Логинов Ю. Н., Ершов А. А.: заявитель и патентообладатель Екатеринбург. УрФУ; заявл. 01.03.2012; опубл. 20.01.2014.

3. Логинов Ю. Н., Соловей В. Д., Котов В. В. Преобразование условия текучести при деформации металлических материалов с ГПУ решеткой // *Металлы*. 2010. № 2. С. 93–99.

4. Suh Y. S., Saunders F. I., Wagoner R. H. Anisotropic yield functions with plastic-strain-induced anisotropy // *International Journal of Plasticity*. 1996. V. 12. Iss 3. P. 417–438.

5. Логинов Ю. Н., Полищук Е. Г., Тугбаев Ю. В. Особенности моделирования процесса прессования труб из сплавов на основе циркония // *Цветные металлы*. 2018. № 9. С. 82–87.

6. Эволюция кристаллографической текстуры при нагружении и ее влияние на анизотропию механических свойств изделий из циркониевого сплава / М. Г. Исаенкова [и др.] // *Цветные металлы*. 2014. № 12. С. 68–73.

7. Mechanical response of zirconium — I. Derivation of a polycrystal constitutive law and finite element analysis / C. N. Tomé [et al.] // *Acta Materialia*, V. 49. Issue 15. 3 September, 2001. P. 3085–3096.