

ГОРЯЧАЯ ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ СПЛАВОВ ТИТАНА

Лебедева Н.В., Барахтин Б.К.

НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей»,
г. Санкт-Петербург, РФ, nrc3@crism.ru

ВВЕДЕНИЕ

В определении условий обработки металлов давлением метод моделирования ключевых операций с построением карт процесса считается одним из перспективных [1]. Целью работы является исследование рассеяния механической энергии с построением карты процесса после горячего сжатия двухфазного сплава титана.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ И ПОЛУЧЕННЫЕ ДАННЫЕ

Для моделирования ключевой технологической операции – горячего сжатия, использован деформационный дилатометр ДИЛ 805 А/Д. Прибор позволяет документировать зависимости $\sigma(\epsilon)$ в истинных координатах при нагружении усилием до 25 кН и деформации до 0,35. Сжатие цилиндрических $\varnothing 5 \times 10$ мм образцов термически упрочняемого титанового сплава ВТ23 мартенситного класса $[Al]_{\text{ЭКВ}} = 6,5\%$ и $[Mo]_{\text{ЭКВ}} = 8,1\%$ с двухфазной ($\alpha + \beta$) структурой выполнялось в интервале температур 800-1000°C со скоростями от 10^{-3} до 10 c^{-1} .

Обработка данных и построение карты процесса выполнены с помощью реологической модели Прасада [2], согласно которой в изотермических условиях вводимая со скоростью $\dot{\epsilon}$ механическая энергия в каждый момент времени рассеивается внутри образца переносом тепла (G) и микроструктурными изменениями (J).

Эффективность рассеяния энергии в структуре оценивается параметром $\eta(\dot{\epsilon}, T)$, который изменяется в интервале (0,1) или (0, 100%) и рассчитывается по формуле:

$$\eta(\dot{\epsilon}, T) = 2m / (m+1) \quad (1)$$

где m – чувствительность материала к скорости деформации, определяемая по зависимости:

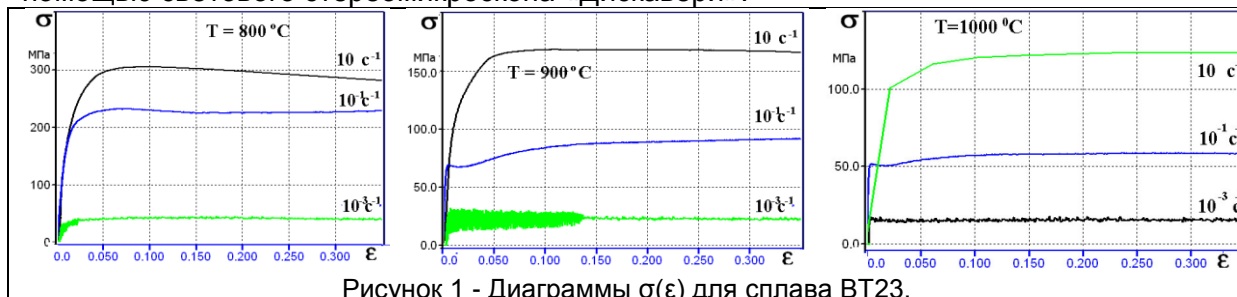
$$m = [\partial(\ln \sigma) / \partial(\ln \dot{\epsilon})]_{\epsilon, T} \quad (2)$$

В терминах нелинейной динамики (синергетики) коэффициент $\eta(\dot{\epsilon}, T)$ интерпретируется как относительная скорость производства внутренней энтропии (меры беспорядка), максимальное значение которой соответствует упруго-вязко-пластичной среде с полной релаксацией напряжений без фактора упрочнения.

Коэффициент $\eta(\dot{\epsilon}, T)$ рассчитывается по результатам механических испытаний при вариации температур и скоростей деформации. Распределение значений $\eta(\dot{\epsilon}, T)$ в поле параметров $(\dot{\epsilon}, T)$ отображается в форме карт, построенных в линиях постоянных уровней.

После сжатия образцы приобретали вид бочки, в которой наибольшее стеснение создается в центральном объеме как в условиях прокатки в ручьевых валках иликовки в штампах, закрытых с двух сторон [3].

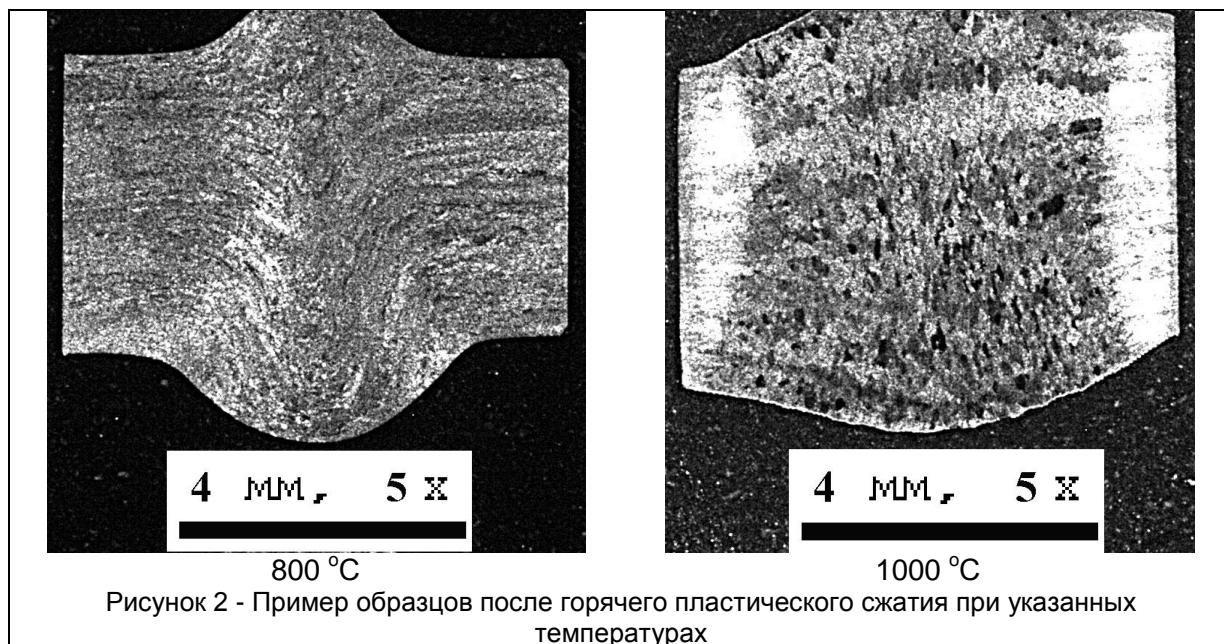
В форме и макроструктуре образцов произошедшие изменения фиксировались с помощью светового стереомикроскопа «Дискавери».

Рисунок 1 - Диаграммы $\sigma(\epsilon)$ для сплава ВТ23.

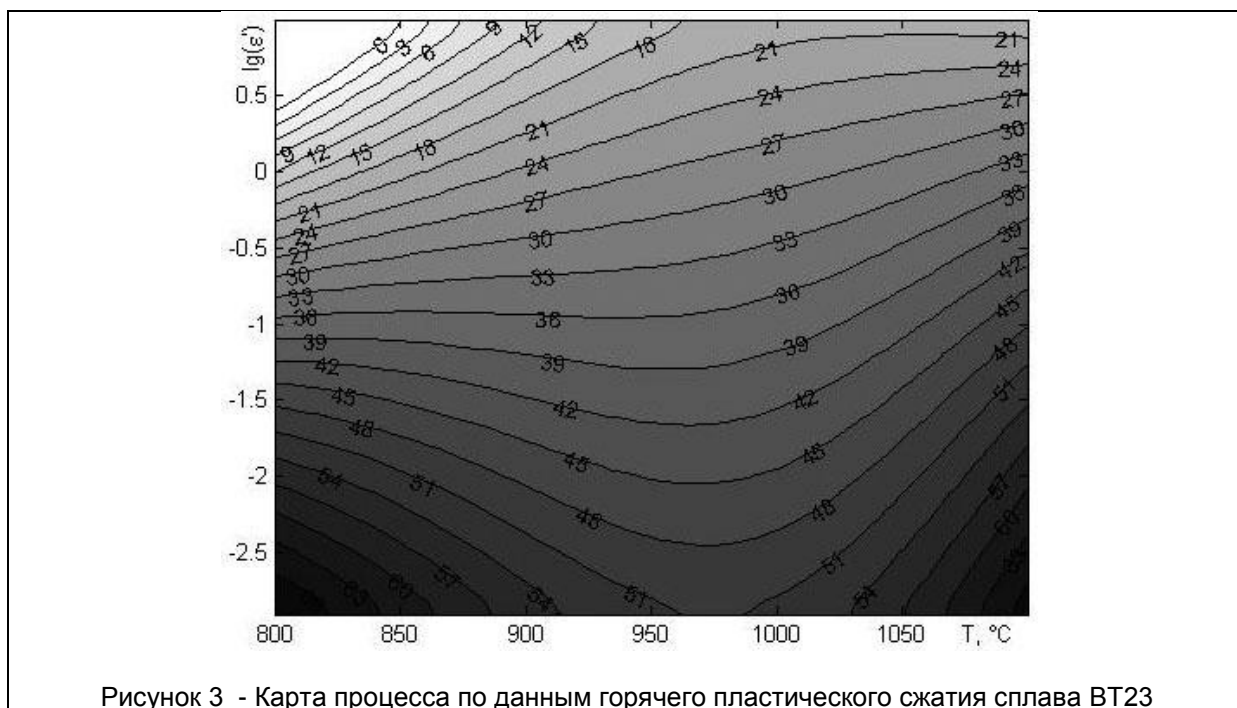
Установлено, что в условиях структурно-фазового превращения, которое по данным дилатометрического анализа происходит в интервале температур 800-900 °C,

кристаллическое строение металла наименее устойчиво при скорости сжатия $\dot{\epsilon} = 10^{-1} \text{ с}^{-1}$. Вид кривых $\sigma(\epsilon)$ подтверждает сказанное. Например, при этой скорости рост температуры деформации от 800 до 900 °С сопровождается вначале снижением сопротивления деформации с 220 до 75 МПа, но через некоторое время возрастает до 90 МПа и далее поддерживается на этом уровне.

Узкий температурный интервал и плавная (эволюционная) кинетика превращения подтверждаются изменением формы деформируемых образцов в зависимости от условий сжатия (рис.2).



По данным механических испытаний построена карта $\eta(\lg \dot{\epsilon}, T)$ процесса (рис.3) с линиями постоянных уровней для значений коэффициентов эффективности рассеяния механической энергии.



Карта показывает, что при сжатии сплава ВТ23 со скоростью 10^{-1} с^{-1} ($\lg \dot{\epsilon} = -1$) в интервале температур 800-900 °С за счет структурно-фазового превращения

рассеивается до 38% вводимой механической энергии. Этот режим позволяет организовать производительный процесс обработки давлением с сохранением некоторого запаса прочности формируемой детали. Но большая пластичность металла может быть реализована при деформации со скоростями 10^{-3} с⁻¹ и менее, где значения коэффициента $\eta \geq 60\%$.

ВЫВОДЫ

1. Проведены испытания титанового двухфазного сплава VT23, имитирующие обработку давлением со скоростями сжатия от 10^{-3} до 10 с⁻¹ в интервале температур 800-1000°C.
2. Установлена взаимосвязь температурно-скоростных условий горячей пластической деформации и механического поведения деформируемого металла.
3. По данным механического поведения сплава построена карта процесса, с помощью которой можно выбрать режимы обработки сплава в зависимости от вида производимой продукции.

Экспериментальные исследования выполнены на оборудовании Центра коллективного пользования научным оборудованием «Состав, структура и свойства конструкционных и функциональных материалов» НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей» при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки в рамках соглашения № 14.595.21.0004, уникальный идентификатор RFMEFI59517X0004

ЛИТЕРАТУРА

1. Б.К.Барахтин / Термопластические технологии в машиностроении. Термомеханическая обработка сталей и сплавов для судостроения / Б.К.Барахтин, Н.В.Лебедева, С.Н.Лебедева, Г.А.Панова. - СПб.: Изд-во ГМТУ, 2018.- 95 с.
2. Hot Working Guide A Compendium of Processing Maps Edited by Y.V.R.K. Prasad, S. Sasidhara. Department of Metallurgy Indian Institute of Science: Bangalore, 2004.- 560 p.
3. Орыщенко А.С., Малышевский В.А., Барахтин Б.К., Варгасов Н.Р., Немец А.М. Методология проведения пластометрических испытаний конструкционных металлов и сплавов. Справ.-метод. рук-во по применению уник. оборудов. ЦКП ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» «Состав, структура и свойства функц. и конструкц. материалов».- СПб.: Изд-во ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей», 2010.- 86 С.