

# ВЛИЯНИЕ НАГРЕВА НА ФАЗОВЫЕ И СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ, ПРОТЕКАЮЩИЕ В ЗАКАЛЕННОМ ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ VT18Y

**Клюева С.Ю., Гадеев Д. В.**

*Руководители – доц., к.т.н. Илларионов А. Г., доц. к.т.н. Демаков С. Л.*  
ГОУ ВПО УГТУ-УПИ имени первого президента России Б. Н. Ельцина,  
г. Екатеринбург, [dr.krufft@gmail.com](mailto:dr.krufft@gmail.com)

Окончательная термическая обработка жаропрочных титановых сплавов обычно состоит из закалки из двухфазной ( $\alpha+\beta$ )-области и последующего нагрева (старения) с выдержкой при температуре выше эксплуатационной. В работе было проанализировано влияние температуры нагрева на фазовые и структурные превращения, протекающие в закаленном сплаве VT18Y (Ti-6,5Al-2,5Sn-4Zr-1Nb-0,7Mo-0,15Si). Исследование проводилось на закаленных в воде с температуры  $T_{\text{зап}}-100^{\circ}\text{C}$  образцах, полученных из катанных прутков диаметром 20 мм. Прокатка проводилась в однофазной  $\beta$ -области. Температура полного полиморфного превращения исследуемого сплава  $T_{\text{пп}}$ , определенная методом пробных закалок, составила  $1015^{\circ}\text{C}$ .

Для определения фазового состава исследуемых образцов использовался метод рентгеноструктурного фазового анализа (РСФА). Для съемки дифрактограмм использовался рентгеновский дифрактометр «Bruker Advance-D8» с напряжением на трубке 40 кВ и током эмиссии 40 мА. Для регистрации отражений применялся энергодисперсионный детектор Sol-X. Использовались щели толщиной 0,1 и 0,2 мм. Для исключения появления на дифрактограмме  $\alpha$ -дублетов, съемка проводилась в медном  $K_{\beta}$ -излучении ( $\lambda = 0,139127$  нм). С целью получения линий максимальной интенсивности все съемки были проведены в малоугловом диапазоне. Полученные дифрактограммы анализировались после логарифмирования по шкале интенсивностей для лучшей идентификации существующих линий.

На рис. 1 представлены дифрактограммы, полученные с нагретых до различных температур образцов. На приведенных дифрактограммах при всех температурах нагрева ( $550\dots700^{\circ}\text{C}$ ) можно выделить линии (101), (002) первичной и вторичной, образовавшейся во время нагрева,  $\alpha$ -фазы, линию (110)  $\beta$ -фазы, а также пик в районе  $38,75^{\circ}$ , идентифицированный в предыдущих исследованиях, как сверхструктурная линия (102) упорядоченной  $\alpha_2$ -фазы на основе интерметаллида  $\text{Ti}_3\text{Al}$ .

Видно, что с увеличением температуры нагрева положения линий изменяются немонотонно. Зависимости отношения периодов  $c/a$  кристаллической решетки первичной  $\alpha$ -фазы и периода «а»  $\beta$ -фазы приведены на рис. 2 и 3 соответственно.

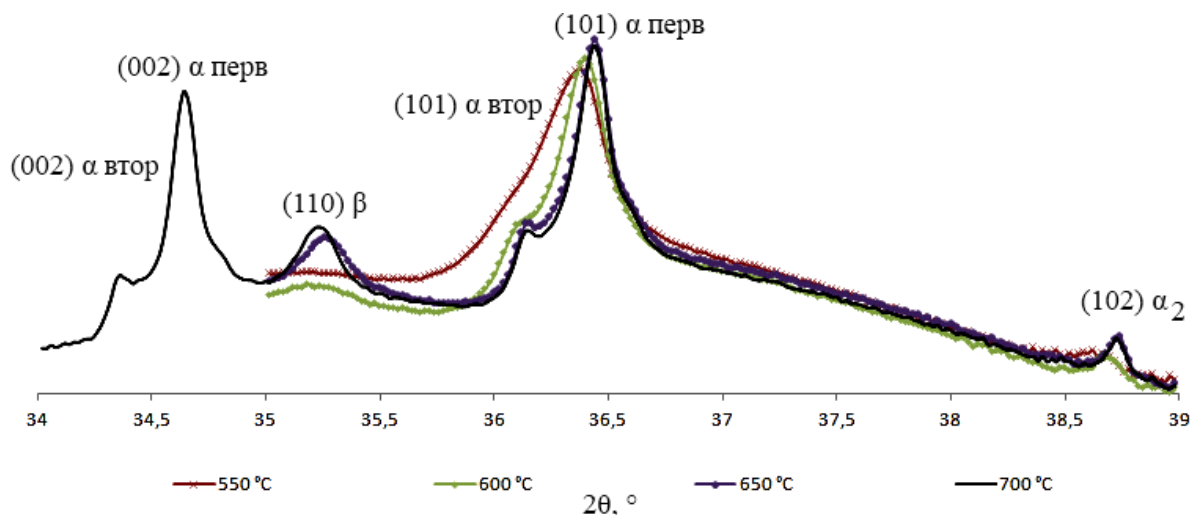


Рисунок 1 Дифрактограммы сплава VT18У при различных температурах нагрева ( $T_3=915\text{ °C}$ ;  $\tau_{\text{выд}}=1\text{ ч.}$ )

При температуре нагрева  $650\text{ °C}$  отношение периодов решетки первичной  $\alpha$ -фазы, а также период  $\beta$ -фазы являются минимальными. Практически все легирующие элементы повышают отношение периодов  $\alpha$ -фазы и понижают период  $\beta$ -фазы. Исключение составляют цирконий и олово – радиус атома данных элементов больше, чем у титана, и они увеличивают период  $\beta$ -фазы. Исходя из этого, можно предположить, что при температуре  $650\text{ °C}$  содержание алюминия в первичной  $\alpha$ -фазе, а олова и циркония в  $\beta$ -фазе – минимально.

Данная гипотеза также подтверждается приведенной на рис. 4 зависимостью отношения периодов  $c/a$  интерметаллидной  $\alpha_2$ -фазы. Видно, что при температуре нагрева  $650\text{ °C}$  наблюдается максимум, что свидетельствует, исходя из ранее проведенных исследований, о наиболее высоком содержании алюминия, циркония и олова в  $\alpha_2$ -фазе. Цирконий в свою очередь занимает подрешетку титана в упорядоченной структуре, а олово – подрешетку алюминия. Таким образом,  $\alpha_2$ -фаза основана в реальности на интерметаллиде  $(\text{Ti,Zr})_3(\text{Al,Sn})$ .

Кроме того, по увеличению интенсивности линии  $(102)\alpha_2$ -фазы можно судить о максимальной объем-

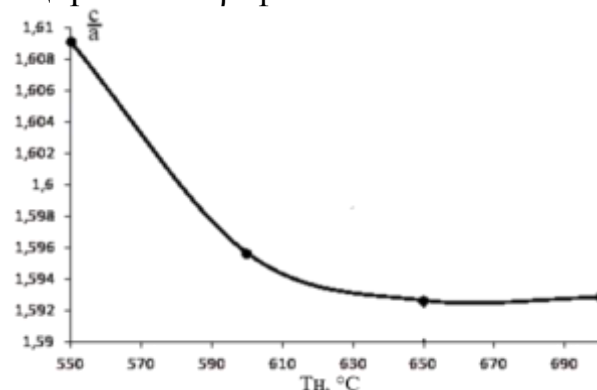


Рисунок 2 Зависимость  $c/a$  первичной  $\alpha$ -фазы от температуры нагрева

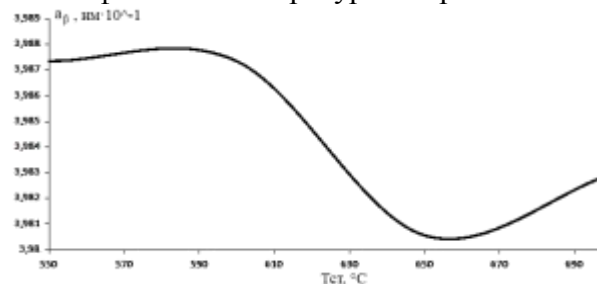


Рисунок 3 Зависимость периода «а»  $\beta$ -фазы от температуры нагрева

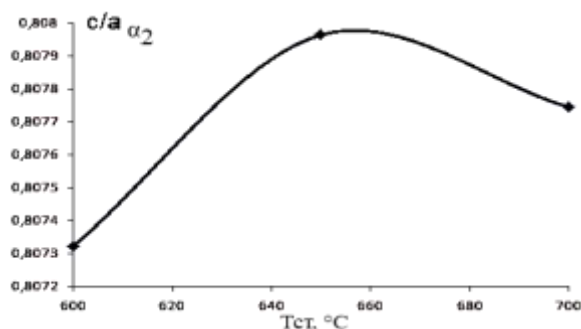


Рисунок 4 Зависимость отношения с/а α<sub>2</sub>-фазы от температуры нагрева  
 ной доле интерметаллидной фазы в сплаве при температуре нагрева 650°C, что  
 также подтверждается дюрOMETрическим методом (рис. 5).

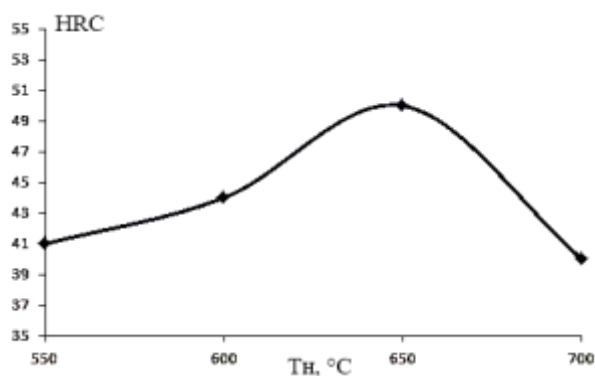


Рисунок 4 Зависимость твердости сплава по шкале Роквелла от температуры  
 нагрева

Таким образом, в результате проведенного исследования было установлено, что температура нагрева оказывает значительное влияние на структуру и свойства закаленного сплава ВТ18У. Кроме того, было показано, что максимальная объемная доля упрочняющей α<sub>2</sub>-фазы наблюдается при температуре нагрева 650°C.

*Работа выполнена в соответствии с Государственным контрактом  
 Федерального агентства по науке и инновациям № 02.740.11.0160*