

ОБ УЧЕТЕ ТЕПЛОВОГО ЭФФЕКТА ПОЛИМОРФНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ ТЕМПЕРАТУР ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Гадеев Д.В., Водолазский Ф.В., Кузьмин А.А.

Руководитель – доц., к.т.н. Демаков С.Л.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого

Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

d.v.gadeev@ustu.ru, demakof@mail.ru, akuzhong@mail.ru

Общеизвестно, что при охлаждении титановых сплавов с высоких температур со скоростями ниже критических протекает распад переохлажденного β -твердого раствора с выделением α -фазы, причем диффузионное $\beta \rightarrow (\alpha + \beta)$ -превращение сопровождается экзотермическим эффектом, т.е. протекает с выделением тепла [1, 2]. Однако конкретные данные о величине объемного эффекта полиморфного превращения при непрерывном охлаждении в литературе практически отсутствуют. Таким образом, одной из целей настоящей работы являлась количественная оценка теплового эффекта и его зависимость от используемой температуры нагрева сплава.

Материалом исследования служили образцы $(\alpha + \beta)$ -титанового сплава мартенситного класса ВТ8М. В ходе исследования проводилось моделирование процесса охлаждения изделий из сплава со средним сечением порядка 7 мм на воздухе. Калориметрические исследования проводились на приборе синхронного термического анализа NETZSCH STA 449 C «Jupiter». Начальная скорость охлаждения составляла 80 °/мин.

В ходе экспериментов производилась фиксация исходных ДСК-кривых в координатах мкВ/мг. После этого определялась средняя скорость охлаждения в температурном интервале протекания активного диффузионного распада β -твердого раствора и производилась корректировка результатов экспериментальных данных с учетом поправочных коэффициентов для соответствующих моментальных скоростей охлаждения [3]. На ДСК-кривых определялась величина интегральной интенсивности экзотермического эффекта, т.е. значения теплового эффекта превращения.

Проведенные исследования показали, что тепловой эффект от полиморфного превращения при охлаждении сплавов $(\alpha + \beta)$ -мартенситного класса сильно зависит от температуры нагрева сплава (рисунок 1). Кроме того, обнаружено, что по мере повышения температуры нагрева величина теплового эффекта возрастает немонотонно.

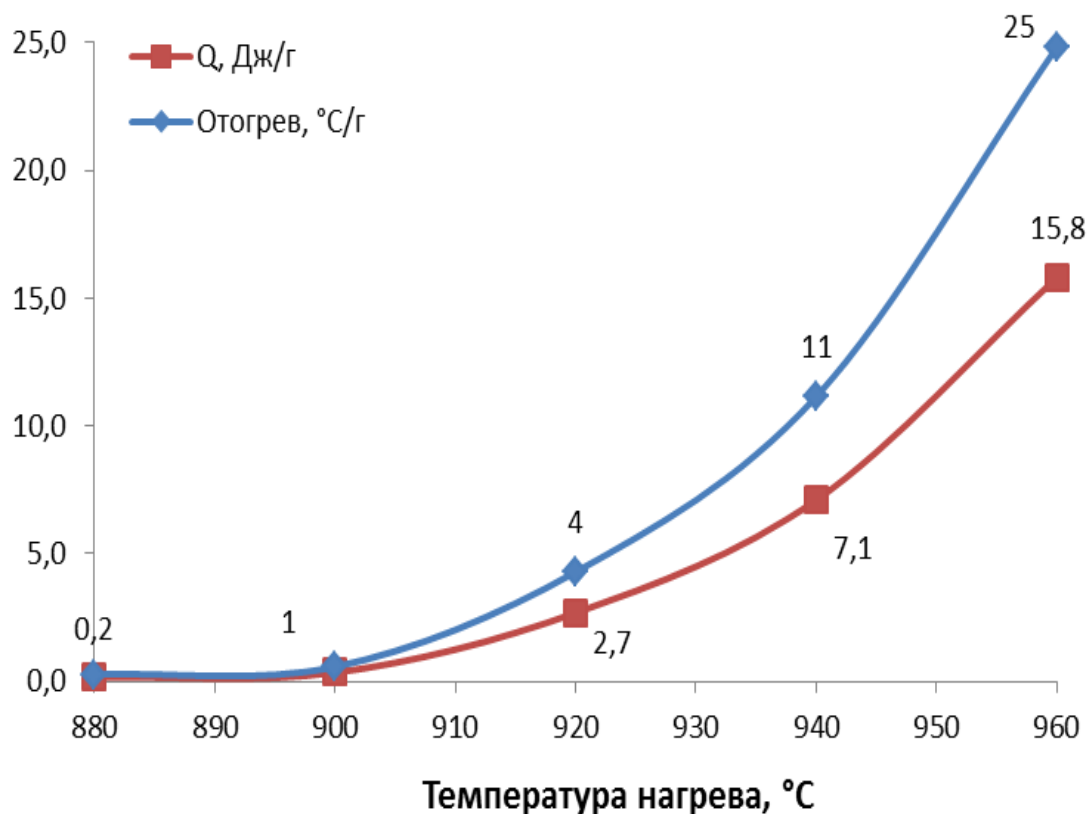


Рисунок 1 Влияние температуры нагрева на величину теплового эффекта $\beta \rightarrow (\alpha + \beta)$ -превращения и температуру отогрева при охлаждении сплава VT8M

Также с учетом данных о температурной зависимости удельной теплоемкости чистого титана [4] и определенных значениях теплового эффекта были рассчитаны удельные значения внутреннего отогрева сплава (рисунок 1), которые показали, что при использовании высоких температур нагрева общая скорость охлаждения может заметно снижаться вследствие выделяющегося тепла при протекании $\beta \rightarrow \alpha + \beta$ -превращения.

Кроме того, в работе определен температурный диапазон протекания фазового превращения ΔT относительно температур нагрева (рисунок 2) при охлаждении сплава с температур 880 °C, 900 °C, 920 °C, 940 °C, 960 °C, а также зависимость ширины данного диапазона от температуры нагрева. Выявлено, что с повышением температуры нагрева образца температурная разность (разность между температурой нагрева и температурой начала фазового превращения – рисунок 2, а; между температурой нагрева и температурой, соответствующей максимуму теплового эффекта – рисунок 2, б; температурой нагрева и температурой окончания фазового превращения – рисунок 2, в) уменьшается. Другими словами, с увеличением температуры нагрева интервал протекания фазового $\beta \rightarrow \alpha + \beta$ -превращения смещается в сторону более высоких

температур, сопровождаясь, как показано на рисунке 1, более высоким тепловым эффектом.

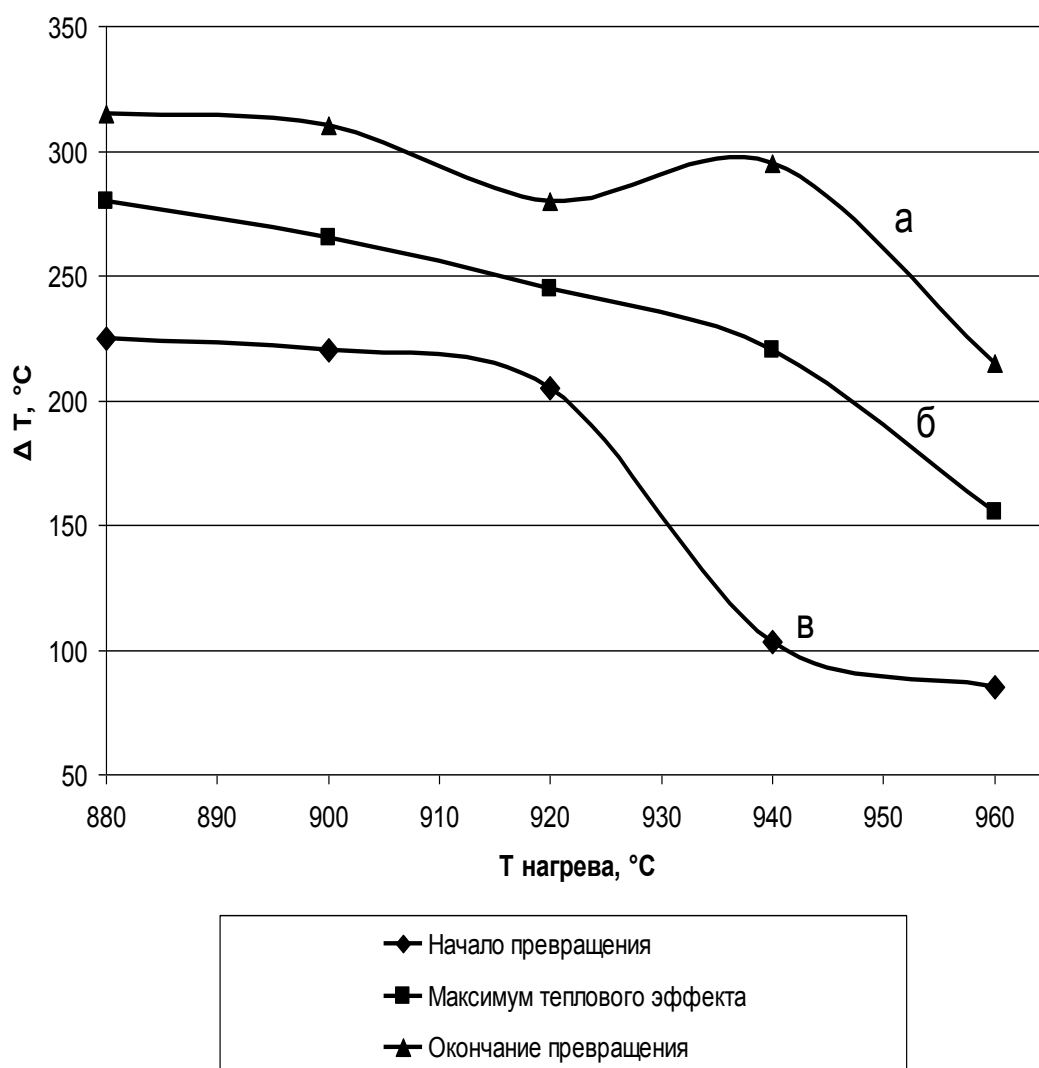


Рисунок 2 Зависимость температурного интервала фазового превращения от температуры нагрева

С практической точки зрения полученные данные могут быть использованы для корректировки технологических режимов обработки изделий из двухфазных титановых сплавов, так как известно, что напряжения (деформации), возникающие во время полиморфного $\beta \rightarrow \alpha$ превращения при охлаждении изделий из этих материалов относительно невелики и зачастую в расчете напряженного состояния, тепловых полей ими пренебрегают [5]. Но при этом полиморфное превращение сопровождается тепловым эффектом, наличие которого может изменить тепловое поле. Неравномерность теплового поля, особенно в тонких сечениях, способствует возникновению тепловых деформаций изделия при

охлаждении, а также структурной неоднородности областей распада высокотемпературного β -твердого раствора.

Соответственно, это необходимо учитывать как при расчете температурных полей, так и при выборе температуры обработки, чтобы по возможности минимизировать тепловые деформации, связанные с фазовыми превращениями в материале.

Список использованных источников:

1. S. Banerjee / S. Banerjee, P. Mukhopadhyay. Phase transformations. Examples from titanium and zirconium alloys. Pergamon, 2007, 813 pages.
2. Michael E. Broun. Introduction to thermal analysis. Techniques and applications. New York: Kluwer Academic Publishers, 2001, 264 pages.
3. V.S. Ramachandran / V.S. Ramachandran, Ralph M. Paroli, James J. Beaudoin, Ana H. Delgado. Handbook of thermal analysis of construction materials: Noyes Publications, 2001, 680 pages.
4. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники. М.: «Атомиздат», 1967, 474 с.
5. И.С. Полькин. Упрочняющая термическая обработка титановых сплавов. М.: «Металлургия», 1984, 96 с.