

**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**  
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **9345**  
(13) **С1**  
(46) **2007.06.30**  
(51) МПК (2006)  
**С 22F 1/18**

(54)

**СПОСОБ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ  
ИЗ ( $\alpha+\beta$ )-ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ**

(21) Номер заявки: а 20040645

(22) 2004.07.08

(43) 2006.02.28

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(72) Автор: Федулов Владимир Николаевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(56) Федулов В.Н. Литье и металлургия: Спецвыпуск. - 2004. - № 2. - С. 138-143. Применение титана в народном хозяйстве. - Киев: Техника, 1975. - С. 86-87.  
RU 2183691 С2, 2002.  
RU 2169204 С1, 2001.  
RU 2169782 С1, 2001.  
SU 1514821 А1, 1989.  
SU 912771, 1982.  
SU 598960, 1978.

(57)

Способ термической обработки изделий из ( $\alpha + \beta$ )-титановых сплавов, преимущественно крупногабаритных, включающий нагрев ниже температуры полиморфного превращения, выдержку и охлаждение до комнатной температуры, повторный нагрев ниже температуры полиморфного превращения, выдержку и охлаждение до комнатной температуры на воздухе, окончательный нагрев, выдержку и охлаждение до комнатной температуры в воде, **отличающийся** тем, что нагрев ведут до температуры на 30-60 °С ниже температуры полиморфного превращения, выдержку осуществляют в течение 1-3 ч и охлаждают в течение 20 мин на воздухе, а затем в воде, повторный нагрев ведут до температуры на 370-470 °С ниже температуры полиморфного превращения, выдержку осуществляют в течение 10-15 ч, окончательный нагрев ведут до температуры 650-750 °С в течение 35-60 мин.

Изобретение относится к металлургии, в частности к способу термической обработки изделий из двухфазных титановых сплавов, преимущественно крупногабаритных, и может быть использовано в машиностроении и авиационной промышленности.

Известен способ термической обработки деталей из сплава ВТ23 (температура полиморфного превращения - 920 °С), заключающийся в нагреве до 780-800 °С, охлаждении до комнатной температуры и последующем старении при 450-550 °С в течение 6-10 ч и охлаждении до комнатной температуры [1].

Этот способ термической обработки для крупногабаритных деталей не обеспечивает получение высокого и равномерного уровня механических свойств после старения из-за недостаточной температуры нагрева на 1 этапе при охлаждении на воздухе или из-за значительного различия в условиях охлаждения наружных слоев и середины и более тонких

**ВУ 9345 С1 2007.06.30**

## ВУ 9345 С1 2007.06.30

сечений по сравнению с более толстыми при проведении 1 этапа термической обработки с охлаждением в воде или масле.

Известен также способ термической обработки деталей из ( $\alpha + \beta$ )-титанового сплава ВТ23, включающий нагрев до 850 °С, выдержку, охлаждение до комнатной температуры, повторный нагрев до температуры 450 °С, выдержку в течение 9 ч, охлаждение на воздухе, окончательный нагрев до 550 °С, выдержку 1-5 мин и охлаждение в воде [2].

Такой способ термической обработки для крупногабаритных деталей (таблица, п. 1) не решает задачу получения высокого уровня механических свойств из-за значительного разброса их значений по телу изделий и низкой пластичности и трещиностойкости по причине опять же значительного различия в условиях охлаждения при проведении высокотемпературной ступени термической обработки. А, например, для крупногабаритных фасонных штамповок проблема получения высокого уровня механических свойств усугубляется дополнительным и значительным различием исходной структуры в зонах массивных и тонких сечений, что особенно сильно сказывается на снижении пластичности и трещиностойкости сплава.

Задача изобретения - повышение комплекса механических свойств за счет одновременного увеличения значений прочности, пластичности и трещиностойкости по сечению (телу) крупногабаритных деталей и уменьшения их неоднородности.

Поставленная задача достигается тем, что в способе термической обработки крупногабаритных изделий из ( $\alpha + \beta$ )-титановых сплавов, включающем нагрев ниже температуры полиморфного превращения, выдержку, охлаждение до комнатной температуры, повторный нагрев ниже температуры полиморфного превращения, выдержку, охлаждение на воздухе до комнатной температуры, окончательный нагрев, выдержку и охлаждение в воде, сначала проводят нагрев до температуры на 30-60 °С ниже температуры полиморфного превращения (860-890 °С), выдерживают 1-3 ч, охлаждение до комнатной температуры сначала на воздухе в течение 20 мин, а затем в воде, старение осуществляют при температуре на 370-470 °С ниже температуры полиморфного превращения (450-550 °С) в течение 10-15 ч, охлаждение на воздухе до комнатной температуры, а после этого окончательно нагревают до температуры 650-750 °С в течение 35-60 мин и охлаждают в воде.

Положительный эффект достигается в результате того, что нагрев до 860-890 °С и выдержка в течение 1-3 ч способствуют выравниванию структуры по сечению изделий (деталей) за счет регламентации формы и размеров первичной  $\alpha$ -фазы, а охлаждение сначала на воздухе в течение 20 мин (в зависимости от толщины сечения детали), а затем в воде до комнатной температуры позволяет обеспечивать получение примерно одинакового неравновесного состояния структуры сплава по телу во всех сечениях, что в результате последующего старения при 450-550 °С в течение 10-15 ч способствует обеспечению примерно равного эффекта упрочнения детали. Дополнительная выдержка после проведения старения в течение 35-60 мин в печи, имеющей температуру 650-750 °С, когда тело детали разогревается на 50-200 °С выше температуры предшествовавшего старения, приводит к растворению наиболее мелких частиц  $\alpha$ -фазы, образовавшихся при старении в тех зонах изделия (детали), где все еще сохранилась более мелкая исходная структура сплава и к тому же происходило более быстрое охлаждение при высокотемпературной термической обработке (1 этап). Одновременно происходит дораспад непревращенной метастабильной  $\beta$ -фазы. Охлаждение после дополнительного нагрева в воде исключает выпадение охрупчивающих фаз во время непосредственно самого охлаждения. Это дополнительная операция позволяет значительно повысить однородность распада в структуре сплава, регламентировать форму и размеры мелкодисперсной  $\alpha$ -фазы и тем самым значительно повысить пластичность сплава и его трещиностойкость при незначительном снижении прочности. Дополнительная операция по изложенной технологии может быть при необходимости выполнена 1-3 раза. Все проводимые мероприятия в конечном итоге

# ВУ 9345 С1 2007.06.30

позволяют добиться получения высокого и равномерного уровня механических свойств для всех существующих полуфабрикатов.

Конкретные примеры выполнения способа по изобретению и прототипу приведены в таблице.

## Режимы термической обработки и значения механических свойств фасонных штамповок из сплава ВТ23

Способ обработки	Механические свойства				
	$\sigma_{в}$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	$\psi$ , %	КСУ, МДж/м <sup>2</sup>	КСТ, МДж/м <sup>2</sup>
1. Известный способ (прототип)	110-135	2-6	6-20	0,10-0,30	0,02-0,10
2. Нагрев до 860 °С, выдержка 3 ч, охлаждение на воздухе 20 мин, а затем в воде, повторный нагрев до 550 °С, выдержка 10 ч, охлаждение на воздухе + нагрев в печи при 650 °С в течение 60 мин, охл. в воде.	120-125	8-10	20-35	0,35-0,55	0,25-0,35
3. Нагрев до 870 °С, выдержка 2 ч, охлаждение на воздухе 20 мин, а затем в воде, повторный нагрев до 500 °С, выдержка 12 ч, охлаждение на воздухе + нагрев в печи при 700 °С в течение 45 мин, охлаждение в воде.	125-130	7-9	16-28	0,35-0,50	0,20-0,32
4. Нагрев до 890 °С, выдержка 1,0 ч, охлаждение на воздухе 20 мин, а затем в воде, повторный нагрев до 450 °С, выдержка 10 ч, охлаждение на воздухе + нагрев в печи при 750 °С в течение 35 мин, охлаждение в воде.	122-127	7-9	18-30	0,30-0,54	0,20-0,34
5. Нагрев до 850 °С, выдержка 2 ч, охлаждение на воздухе 3 мин, а затем в воде, повторный нагрев до 430 °С, выдержка 8 ч, охлаждение на воздухе + нагрев в печи при 780 °С в течение 30 мин, охлаждение в воде.	115-122	10-12	25-38	0,39-0,6	0,28-0,40
6. Нагрев до 910 °С, выдержка 0,5 ч, охлаждение на воздухе 25 мин, а затем в воде, повторный нагрев до 570 °С, выдержка 5 ч, охлаждение на воздухе + нагрев в печи при 620 °С в течение 75 мин, охлаждение в воде.	115-120	8-12	20-40	0,30-0,6	0,25-0,40

Способ использовали при обработке штамповок из сплава ВТ23 весом до 150 кг с перепадом сечения от 50 см<sup>2</sup> до 500 см<sup>2</sup>. Отбор образцов для испытаний проводился в зонах, отстоящих друг от друга по длине штамповки на расстоянии 100-200 мм (всего в 5 зонах). Введение данной технологии решало поставленную задачу во всех случаях термической обработки крупногабаритных фасонных штамповок и обеспечивало повышение ресурса деталей в 1,5-2 раза по сравнению с прототипом.

# **ВУ 9345 С1 2007.06.30**

Наиболее характерные примеры выполнения способа термической обработки и результаты реализации представлены в таблице (пп. 2, 3, 4).

В этой же таблице (пп. 5, 6) представлены результаты термической обработки, выходящей за рамки заявляемого режима, а также результаты обработки штамповок для прототипа (п. 1).

Источники информации:

1. Применение титана в народном хозяйстве. - Киев: Техника, 1975. - С. 86-87.
2. Федулов В.Н. Литье и металлургия: Спецвыпуск. - 2004. - № 2. - С. 138-143.