

## **Влияние термомеханической обработки на свойства титановых штамповок.**

**# 09, сентябрь 2011**

**авторы: Воронежский Е. В., Евсюков С. А., Алимов А. И.**

**УДК 621.7**

МГТУ им Н.Э. Баумана

[voronezhskii.evg@mail.ru](mailto:voronezhskii.evg@mail.ru)

[mt6evs@yandex.ru](mailto:mt6evs@yandex.ru)

[art.alimov@gmail.com](mailto:art.alimov@gmail.com)

Развитие многих отраслей народного хозяйства, особенно ракетно-космической, авиационной, химической и др., связано с применением труднодеформируемых высокопрочных сталей и сплавов. Особый практический интерес представляет титан, который находит широкое применение и в технике, и в медицине [1]. К некоторым изделиям современных машин из титановых сплавов (таких как ВТ3-1), работающих в условиях высоких напряжений, температур, динамических и вибрационных нагрузок предъявляют повышенные требования по механическим свойствам.

Технологические процессы обработки металлов давлением и термообработки при назначении рациональных термомеханических режимов позволяют повысить прочностные свойства этого материала. Однако при этом не всегда удается получить требуемые пластические характеристики при сохранении или незначительном снижении, предусмотренных стандартами, прочностных характеристик.

Титановый сплав ВТ3-1 относится к группе сплавов с  $(\alpha + \beta)$  структурой (по классификации ВИАМ). Температура полиморфного превращения  $(\alpha + \beta) \rightarrow \beta$  составляет 950 – 980 (по инстр. № 685-76). Типовой нагрев под штамповку производственных заготовок производится до температуры 950 – 980°. Типовой режим упрочняющей термической обработки приведен в таблице 1.

Таблица 1. Режим упрочняющей термической обработки сплава ВТЗ-1

| Операция т/о | Температура, °С | Выдержка, минут | Среда охлаждения |
|--------------|-----------------|-----------------|------------------|
| закалка      | $880 \pm 20$    | $45' \pm 15'$   | вода             |
| старение     | $600 \pm 20$    | $4ч \pm 15'$    | воздух           |

Опираясь на литературные данные [2], было спланировано и проведено специальное исследование, посвященное получению пластическим деформированием различной структуры и выявлению её влияния на комплекс основных свойств титанового сплава ВТЗ-1. Исследования проводились на двух видах штампованных поковок типа «Корпус». Поковки штамповались плашмя на паровоздушном штамповочном молоте с массой падающих частей 3,15 т. После штамповки поковки подвергали упрочняющей термической обработке и изотермическому отжигу. Образцы, на которых проводились испытания на механические свойства, вырезались из тела поковок в осевом направлении (по направлению оси цилиндрической заготовки).

При первичном испытании поковок «Корпус I» после штамповки и стандартной упрочняющей термической обработки (см. таблицу 1) на образцах были получены следующие свойства (таблица 2).

Таблица 2. Механические свойства

| №№ обр.                                      | $\sigma_B$         | $\delta, \%$ | $\psi, \%$  | $a_n$      |
|----------------------------------------------|--------------------|--------------|-------------|------------|
| 1                                            | 131,8              | 1,6          | 1,5         | 2,0        |
| 2                                            | 138,2              | 2,0          | 10,0        | 3,0        |
| <b>Свойства, требуемые по ОСТ 92-0966-75</b> | <b>120 – 130,0</b> | <b>7,0</b>   | <b>20,0</b> | <b>2,5</b> |

При имеющемся запасе прочности и резком падении пластичности в соответствии с рекомендациями [2] было принято решение для повышения пластичности провести дополнительное старение при  $680 \pm 20^\circ$  с выдержкой для прогрева по сечению.

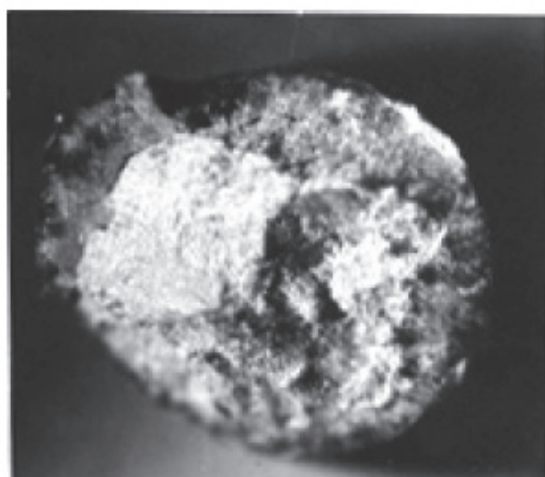
После проведенного старения пластические свойства резко повысились, в то же время предел прочности снизился ниже допустимых величин (стал менее  $120 \text{ кгс/мм}^2$ ). Полученные результаты испытаний после дополнительного старения представлены в таблице 3.

Таблица 3. Механические свойства

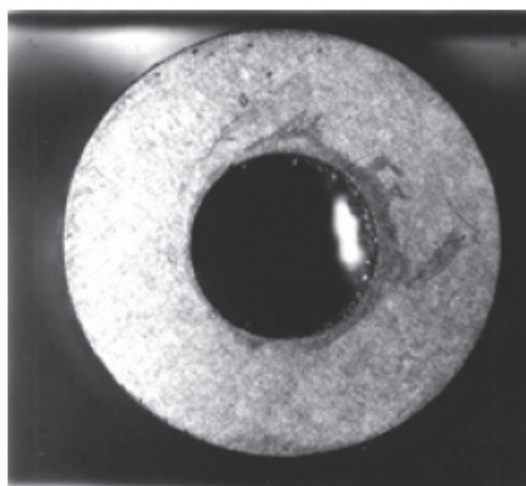
| №№ обр. | $\sigma_{\text{в}}$ | $\delta, \%$ | $\psi, \%$ | $a_{\text{н}}$ |
|---------|---------------------|--------------|------------|----------------|
| 1       | 112,5               | 14,8         | 37,2       | 3,0            |
| 2       | 113,7               | 6,8          | 9,5        | 3,5            |

На образцах после дополнительного старения проведено сравнительное исследование вида изломов, а также макро- и микроструктуры. Результаты исследования представлены на рис. 1, 2. Дефектов металлургического характера в изломах не обнаружено.

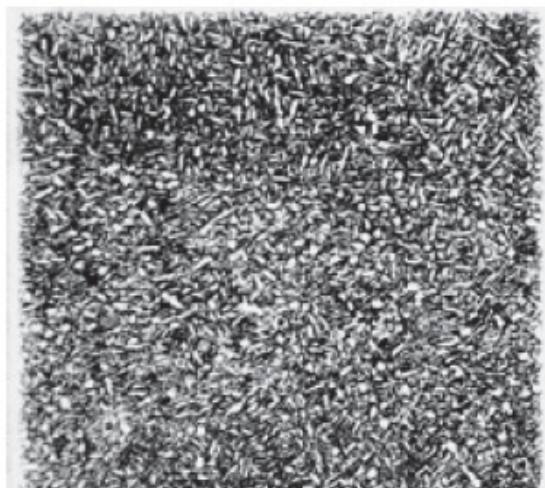
В образце №1 с высокими значениями пластичности излом вязкий (рис. 1а), микроструктура матовая, без видимого зерна (рис. 1б), что соответствует второму баллу по шкале микроструктур [3]. Материал этого образца имеет, в основном равноосную ( $\alpha + \beta$ ) структуру, представляющую собой равномерно распределенную смесь, состоящую из первичной  $\alpha$ -фазы (светлые участки) и смеси  $\alpha$ - и  $\beta$ -фаз (темные участки) – первый тип структур согласно классификации [1] (рис. 1в, г).



а)  $\times 12$



б)  $\times 6$



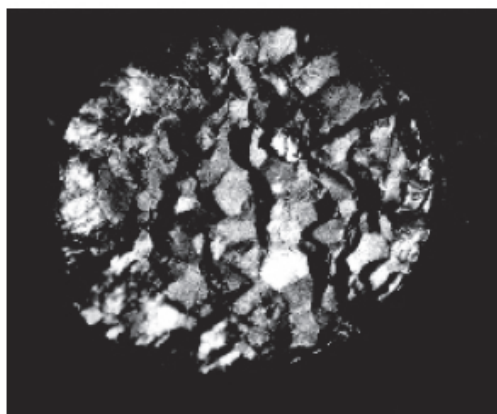
в)  $\times 200$



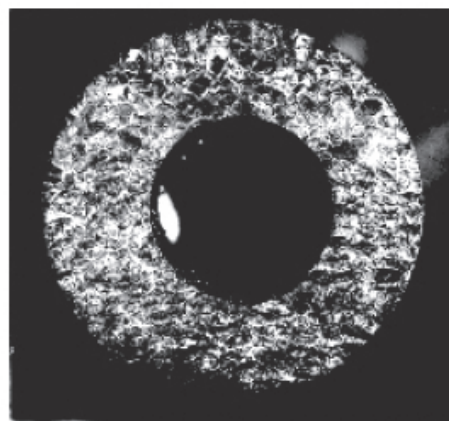
з)  $\times 500$

*Рис. 1. Материал образца №1 (поковка «Корпус I»)*

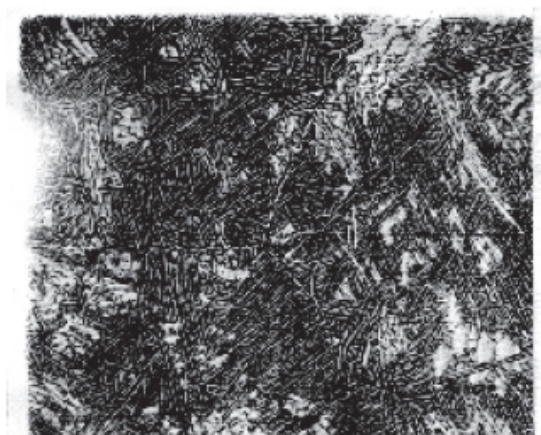
Образец №2 с пониженным значением сужения поперечного сечения имеет матовый крупнокристаллический излом (рис. 2а). Макроструктура рекристаллизованная с ярко выраженным зерном (рис. 2б), что соответствует восьмому баллу по шкале макроструктур [3]. Микроструктура образца, как следует из рис. 2в, г, имеет укрупненные зерна первичной  $\beta$ -фазы с грубоигольчатым строением  $\alpha'$ -фазы внутри зерен и резко выраженными границами зерен – третий тип структуры согласно классификации [1].



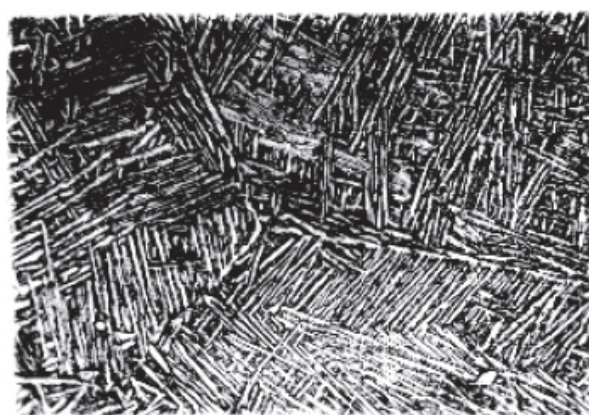
а)  $\times 12$



б)  $\times 6$



в)  $\times 200$



г)  $\times 500$

Рис. 2. Материал образца №2 (поковка «Корпус II»)

Для исключения влияния случайных факторов (особенность плавки и т.п.). По аналогии с приведенным ранее исследованием было проведено исследование свойств и структуры металла поковки «Корпуса II». Результаты испытаний на механические свойства приведены в таблицах 4 и 5, исследование микроструктуры образцов представлены на рис. 3а, 3б.

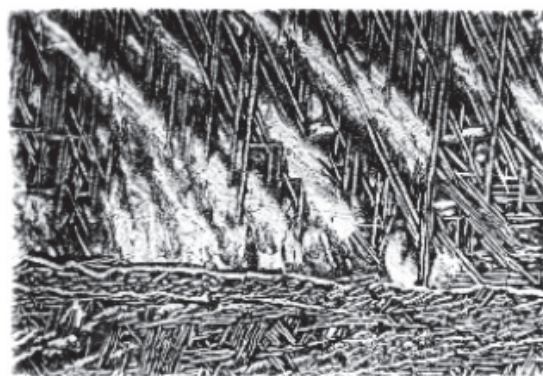
Таблица 4. Механические свойства

| №№ обр. | $\sigma_B$ | $\delta, \%$ | $\psi, \%$ | $a_n$ |
|---------|------------|--------------|------------|-------|
| 1       | 131,5      | 4,4          | 12,6       | 2,1   |
| 2       | 136,2      | 4,0          | 8,7        | 3,0   |

Как следует из представленных результатов исследования поковки «Корпус II», свойства аналогичны свойствам материала поковки «Корпус I» – имеется запас по пределу прочности и занижение пластичности.



а)  $\times 500$



б)  $\times 500$

Рис. 3. Микроструктура образца №2 (поковка «Корпус II»)

Излом на обоих образцах крупнокристаллический, микроструктура крупнозернистая с грубоиглольчатым строением (рис. 3а, б).

Таблица 5. Результаты механических испытаний после дополнительного старения

| №№ обр. | $\sigma_B$ | $\delta$ , % | $\psi$ , % | $a_n$ |
|---------|------------|--------------|------------|-------|
| 1       | 109,8      | 8,0          | 25,4       | 3,3   |
| 2       | 116,6      | 6,8          | 15,7       | 3,1   |

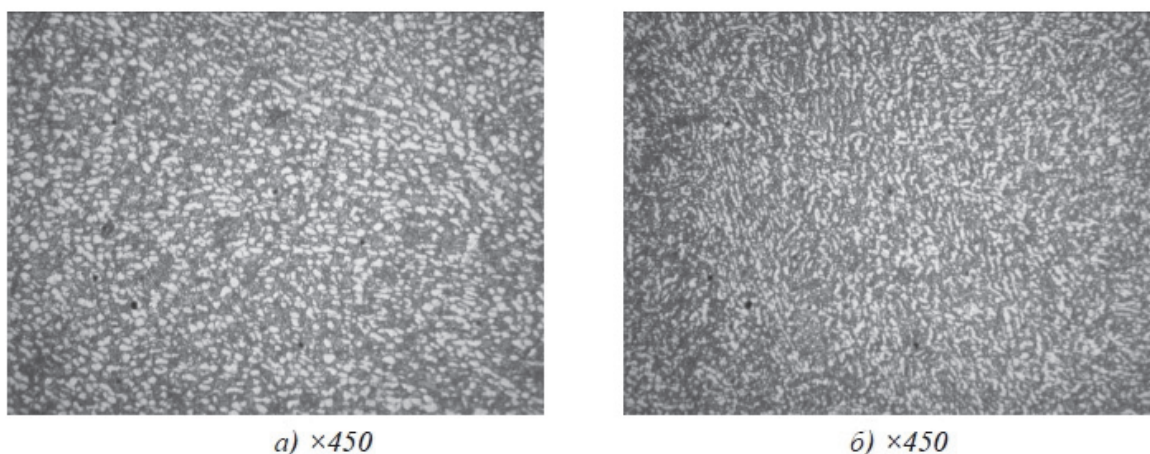
На основании вышеприведенных механических свойств можно сделать вывод, что наличие крупнозернистой структуры с грубоиглольчатым внутризерненным строением и  $\alpha$ -фазой в виде оторочки по границам оказывает особенно резкое влияние на пластичность материала после упрочняющей термической обработки (закалка и старение).

Ранее, подчеркивалась невозможность исправления микроструктуры титанового сплава ВТЗ-1 в изделиях термической обработкой. В свою очередь структура материала определяет показатели механических свойств, говорящие о возможности использования изделия в тех или иных условиях. Таким образом, формирование необходимого микроструктурного состояния заготовки (поковки) из титанового сплава в процессе деформации позволяет гарантированно получать требуемые механические свойства (прежде всего относительное сужение и относительное удлинение). В связи с этим, еще на стадии разработки технологии штамповки необходимо гарантировано прогнозировать получения той или иной структуры материала.

Стоит отметить, что исследуемые поковки (см. ранее) изготавливались на штамповочном молоте с м.п.ч. 3,15 тс. Однако корпусные изделия схожей конфигурации, но меньшей массы, изготавливаемые на КГШП в большинстве своем, удовлетворяют свойствам, требуемым по ОСТ 92-0966-75.

Исходя из этого, необходимо установить влияние скоростных режимов деформирования на формирование микроструктуры сплава ВТ3-1. Для решения поставленной задачи было проведено исследование, позволившее смоделировать процесс штамповки на молоте (масса п.ч. 3,15 т, скорость деформирования 7 м/с) и КГШП усилием 2500 тс (скорость деформирования 0,7 м/с). Рекомендуемый интервал температуры штамповки для сплава ВТ3-1 лежит в интервале  $850 \div 980^{\circ}\text{C}$ , однако для получения высоких механических свойств верхний предел нагрева заготовки под штамповку при степени деформации  $50 \div 80\%$  по рекомендациям [3, 4] не должен превышать  $960^{\circ}\text{C}$ .

Изучение формирования микроструктуры сплава в процессе деформации от скорости деформирования проводили на цилиндрических образцах, которые осаживались на плоских бойках. Деформация образцов осуществлялась при температуре  $950^{\circ}\text{C}$  (что входит в интервал регламентируемых температур штамповки для сплава ВТ3-1 [2]) со степенью деформации 68 %. Скорость деформирования составляла 7 м/с и 0,7 м/с. Измерение температуры штамповки проводилось потенциометром ПП-63 по зачеканенной термопаре ТХА. Результаты исследования на микроструктуру образцов представлены на (рис. 4).



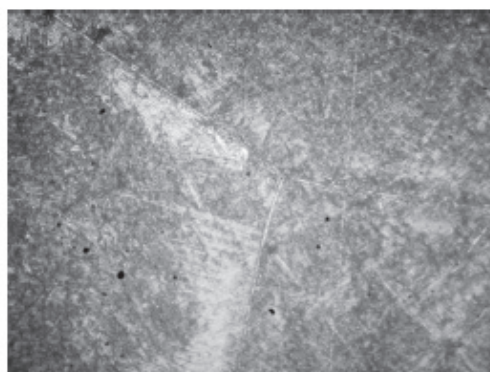
*Рис. 4. Микроструктура образцов (материал сплав ВТ3-1):*

*а - скорость деформирования 7 м/с, температура осадки  $950^{\circ}\text{C}$ , степень деформации 68 %;*

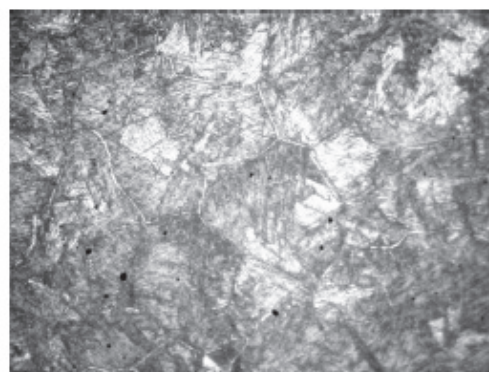
*б - скорость деформирования 0,7 м/с, температура осадки  $950^{\circ}\text{C}$ , степень деформации 68 %.*

По результатам исследования образцов на микроструктуру установлено, что при штамповке с меньшей скоростью (0,7 м/с) материал имеет ярко выраженную мелкозернистую структуру (второго и третьего типа). Образец, осаженный при скорости 7 м/с, обладает мелкозернистой структурой четвертого типа. Получение оптимального сочетания прочности и пластичности для сплава ВТЗ-1 возможно, если структура перед упрочняющей термической обработкой (закалка и старение) будет равноосной (1 ÷ 3 типа по шкале [3]). В результате проведенного исследования прослеживается зависимость формирования микроструктуры образцов от скоростных режимов деформирования.

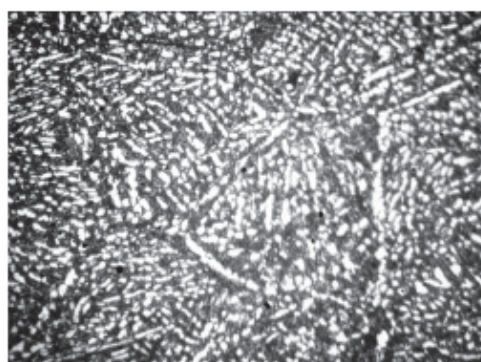
Для оценки характера влияния скоростных режимов деформирования на формирование микроструктуры сплава ВТЗ-1 данные результаты были дополнены исследованием микроструктуры образцов осаженных при температурах 930 °С и 960 °С и степенях деформации 64 % и 72 % (рис. 2). Скорость деформирования составляла 7 м/с и 0,7 м/с как и в предыдущем исследовании. Измерение температуры штамповки проводилось потенциометром ПП-63 по зачеканенной термопаре ТХА. Результаты исследования образцов на микроструктуру представлены на рис. 5 и были сведены в таблицу 5.



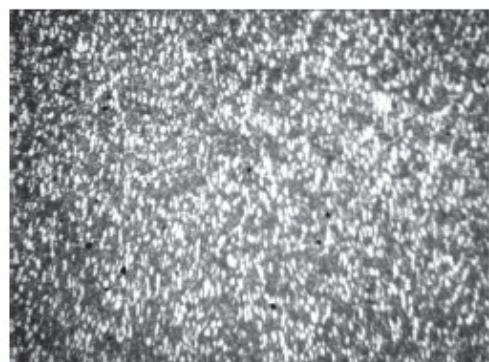
а)  $\times 500$



б)  $\times 500$



в)  $\times 500$



г)  $\times 500$

Рис. 5. Микроструктура образцов (материал сплав ВТЗ-1)

Таблица 6. Тип микроструктуры образцов

| № образца | Рис. 2 | Скорость деформирования, м/с | Температура осадки, °С | Степень деформации, % | Тип микроструктуры |
|-----------|--------|------------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------|
| 1         | а)     | 7                            | 960                    | 72                    | 7 ÷ 9 тип          |
| 2         | б)     | 0,7                          | 960                    | 72                    | 6 ÷ 7 тип          |
| 3         | в)     | 7                            | 930                    | 64                    | 4, 5 тип           |
| 4         | г)     | 0,7                          | 930                    | 64                    | 1, 2 тип           |

Полученные результаты подтверждают данные первого исследования и расширяют представление о характере влияния скоростных параметров деформации на формирование микроструктуры поковки из титанового сплава ВТЗ-1. Согласно рис. 5 микроструктура первого образца (рис. 5а) имеет 7 ÷ 9 тип и характеризуется крупным зерном первичной  $\beta$ -фазы и грубоигольчатым строением внутри зерна. Деформация

второго образца производилась при той же температуре и степени деформации (см. таблицу 2), но с меньшей скоростью деформирования. Согласно изображению на рис. 5б микроструктура второго образца, в отличие от первого, имеет 6 ÷ 7 тип и характеризуется игольчатым строением корзиночного плетения.

Деформация третьего (рис. 5в) и четвертого (рис. 5г) образцов производилась со степенью деформации 64 % и при температуре 930 °С, но с разными скоростями деформирования (см. таблицу 1). Согласно рис. 5 микроструктура третьего образца имеет 4 ÷ 5 тип и характеризуется игольчатым строением корзиночного плетения. В свою очередь микроструктура четвертого образца мелкозернистая равноосная 1 ÷ 2 типа. Как отмечалось выше, наличие такой структуры в поковках перед упрочняющей термообработкой является предпочтительной для получения в деталях оптимального сочетания прочности и пластичности.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Характер структуры титановых поволоков формируется в процессе деформации и не поддается исправлению термической обработкой. Для получения в поковке оптимального сочетания высокой прочности и пластичности для сплава ВТЗ-1 должно быть обеспечено формирование в процессе деформации равноосной (первого типа), или корзиночного плетения (второго типа) микроструктур.

2. На формирование микроструктуры в процессе деформации помимо температуры штамповки и степени деформации значительное влияние оказывает скоростной режим деформирования. Деформация с меньшими скоростями при регламентированной температуре штамповки и степени деформации, способствует формированию более благоприятной микроструктуры для получения совокупности высоких прочностных и пластических свойств.

#### **Список литературы:**

1. Р.З. Валиев, И.В. Александров/ Нанокристаллические материалы, полученные методом РКУ-пресования // Наноструктурные материалы: полученные методом интенсивной пластической деформацией. – М.: Логос, 2000. – 272 с.
2. Металлография титановых сплавов. / Под ред. Аношкина Н.Ф. и др. М.: Мир: Металлургия, 1980. 464 с.
3. Л.А. Никольский, С.З. Фиглин. В.В. Бойцов и др. / Горячая штамповка и прессование титановых сплавов. М., Машиностроение, 1975. 285 с.

4. Братухин А.Г., Иванов Ю.Л., Марьин Б.Н. и др. / Штамповка, сварка, пайка и термообработка титана и его сплавов в авиастроении. М.: Машиностроение, 1997. 600 с.