

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

УДК 623-4

КОМБИНИРОВАННЫЙ ТЕРМОАКУСТИЧЕСКИЙ СПОСОБ МОДИФИКАЦИИ СТРУКТУРЫ ТИТАНОВОГО СПЛАВА

Калугина М.С.* , Ремшев Е.Ю.** , Данилин Г.А.*** , Воробьева Г.А.**** , Пехов В.А.***

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова,
ул. 1-я Красноармейская, 1, Санкт-Петербург, 190005, Россия*

* e-mail: mash-kalugin@yandex.ru

** e-mail: remshev@mail.ru

*** e-mail: Sapre4@yandex.ru

**** e-mail: Labmetcontrol@inbox.ru

Исследуется возможность использовать для входного контроля материала (титанового сплава) и корректировки физико-механических свойств методы акустической эмиссии и термоакустической обработки вместо классического метода — выбора оптимального режима термообработки. Для эксперимента были выбраны сплавы разных плавок (различаются механические свойства, микроструктура и т.д.). Установлено, что метод акустической эмиссии позволяет качественно оценить микроструктуру без применения трудоемких способов и принять решение о режимах обработки. Применение термоакустической обработки в качестве дополнительной обработки сплава ТС6, ВТ16 и ВТ23, имеющего низкие механические свойства в исходном состоянии, обеспечивает измельчение зерен и повышение комплекса свойств до требуемого уровня.

Ключевые слова: титановые сплавы, акустическая эмиссия, термоакустическая обработка.

Постановка задачи

Качество исходного материала в значительной степени предопределяет качество конечного изделия. В настоящее время одним из способов повышения энергоэффективности является применение легких сплавов и композиционных материалов в существующих и вновь разрабатываемых деталях космической и другой специальной техники, также в машиностроении широко используются тарельчатые пружины — упругие элементы, изготовленные холодной штамповкой и работающие при

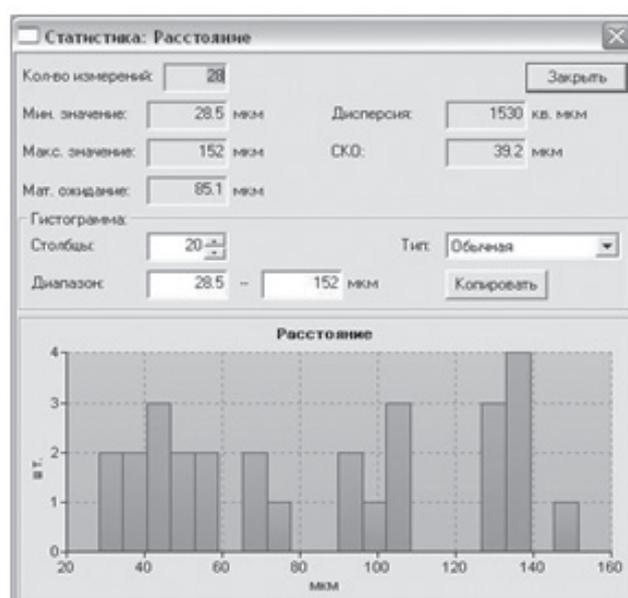
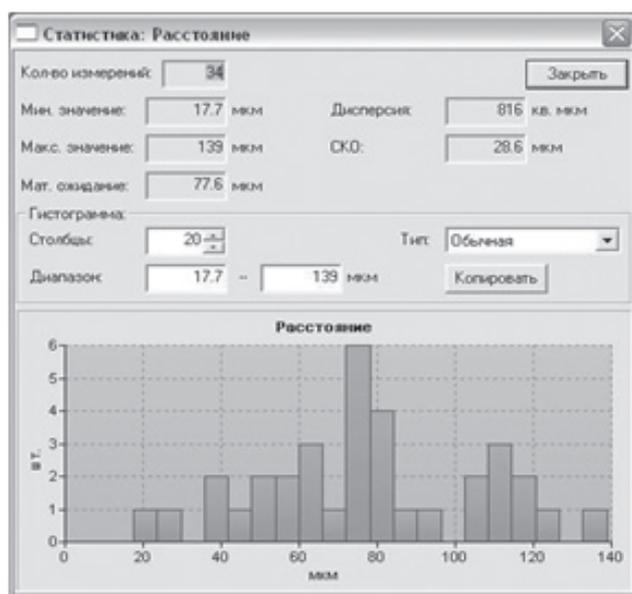
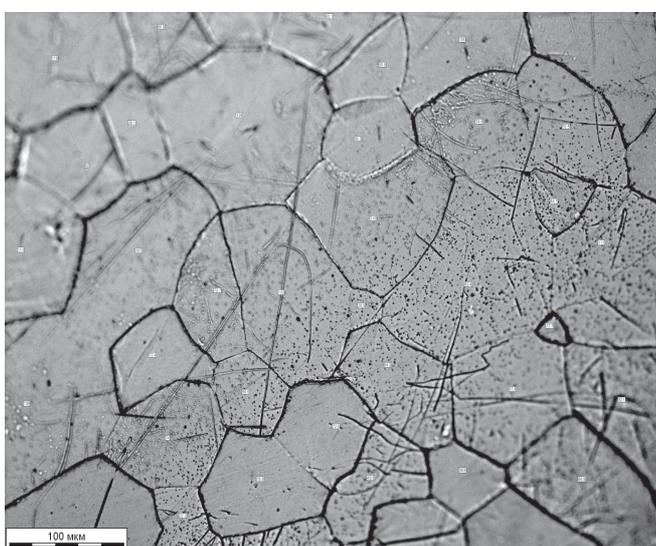
статической, динамической и циклической нагрузках [4, 5]. Применение титановых сплавов развивается с конца XX века как в отечественном, так и в зарубежном производстве. Отраслевые предприятия успешно разрабатывают и внедряют в производство технологические процессы изготовления изделий из двухфазных ($\alpha + \beta$) сплавов ВТ16, ВТ23 и сплава ТС6. Как правило, основными операциями, определяющими эксплуатационные свойства, являются операции термической обработки. Комплекс физико-механических свойств (титановые и

стареющие сплавы) формируется после операций закалки и старения. Классический подход к решению задачи выбора оптимального технологического процесса сводится к выбору оптимальных режимов термообработки (температура нагрева, время выдержки, среда закаливания, температура и время старения). Физические особенности титановых сплавов и особенности получения полуфабрикатов из них требуют знания и учета исходного состояния полуфабрикатов (механические свойства, микроструктура и др.) при построении технологического процесса. Поэтому на производстве необходимо иметь способ, позволяющий оперативно оценивать и корректировать физико-механические свойства исходного материала, а в некоторых случаях и готовой продукции. Потери, связанные с возвратом

материала изготовителю, или брак приводят к значительным материальным издержкам. В работе исследуется возможность использовать для входного контроля материала и корректировки физико-механических свойств методы акустической эмиссии и газодинамической обработки [1].

Исследование качества исходного материала

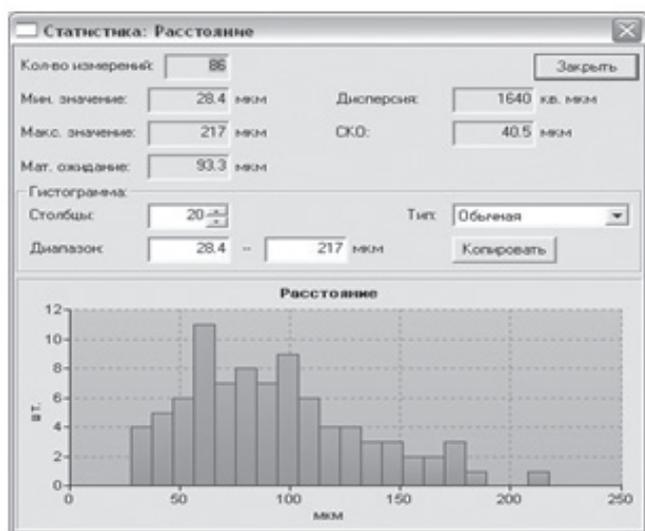
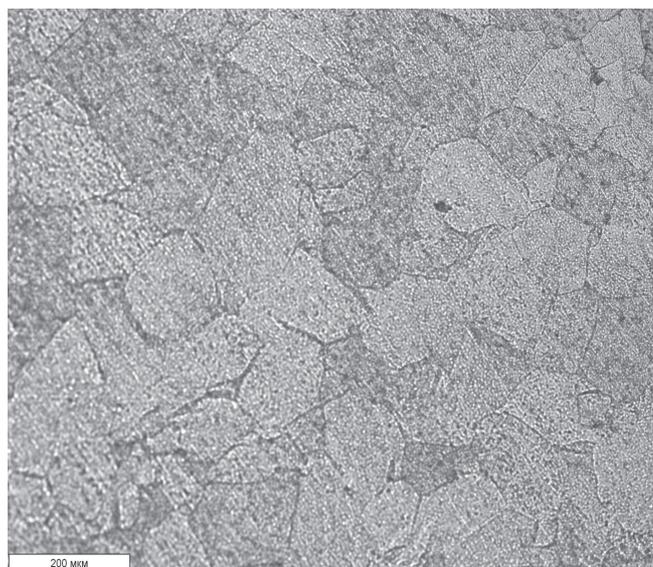
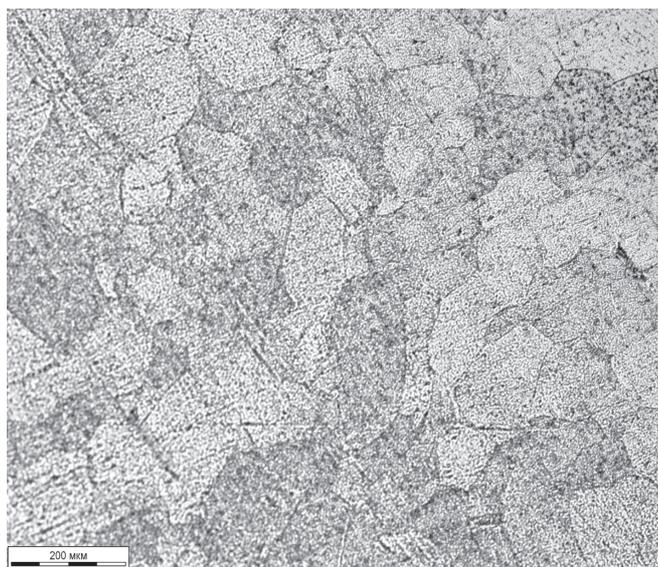
Различия механических свойств разных плавов и разброс показателей механических характеристик проволоки требуют от технолога решения о возможности изготовления пружин. Также необходимо оперативно определить состояние микроструктуры поступившего материала. На рис. 1 и 2 представлены фотоснимки различной микроструктуры сплава ТС6 в состоянии поставки. Микроструктуру ис-



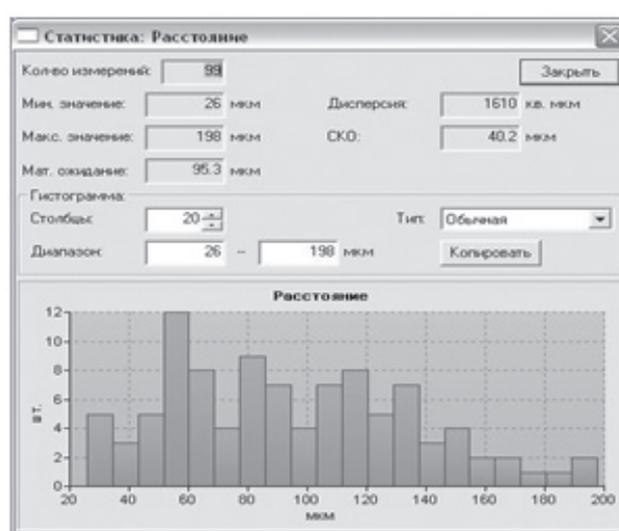
а)

б)

Рис. 1. Структуры и гистограммы распределения размера зерен в сплаве ТС6 (а, б) плавки №1 в состоянии поставки (пруток диаметром 8 мм). Фотоснимки и измерения размеров зерна сплава ТС6 в состоянии поставки №1 (пруток диаметром 8 мм)



а)



б)

Рис. 2. Структуры и гистограммы распределения размера зерен в сплаве ТС6 (а,б) плавки №2 в состоянии поставки (пруток диаметром 8 мм). Фотоснимки и измерения размера зерна сплава ТС6 в состоянии поставки №2 (пруток диаметром 8 мм)

следовали на головках цилиндрических образцов после испытания на растяжение (табл. 1).

Анализ структуры сплава ТС6 и гистограмм (рис. 1 и 2) показывает, что имеется различие как

в предельных значениях размеров зерен (max-min), так и в характере распределения зерен по размеру не только в разных плавках, но и в каждом прутке одной плавки (табл. 1).

Таблица 1

Размер зерен и характер их распределения в сплаве ТС6 плавки №1 и №2 в прутках диаметром 8 мм

№	Вид обработки сплава	Размер зерен, мкм		Количество зерен, % для плавки №1 и №2 размером, мкм					
		Плавка №1	Плавка №2	≤ 50		≤ 100		≥ 140	
				1	2	1	2	1	2
1	Исходное состояние	17,7-139	28 -217	~20	14	80	65	-	12
2	Исходное состояние	28,5-152	26-198	30		60	61	1	11
3	Исходное состояние + термоакустическая обработка	-	13-189	-	36	-	71	-	1

В плавке №2 сплава ТС6 зерен размером менее 50 мкм примерно в два раза меньше, чем в сплаве плавки №1, а количество зерен, имеющих размер более 140 мкм, достигает 11–12%. В сплаве плавки №1 зерна такого размера практически отсутствуют.

Влияние исходного материала на качество конечного изделия велико, доля этого влияния в производстве пружин из титановых сплавов (BT23, ТС6) значительна по сравнению с производством пружин из других материалов. В общем случае исходный материал в виде листов или поковок (тарельчатые пружины), лент и полос (спиральные пружины), проволоки и пруткового материала (винтовые пружины) поступает на предприятие-изготовитель пружин с сертификатом на материал. Проводят контроль параметров качества (рис. 3).



Рис. 3. Входной контроль исходного материала

Акустическая эмиссия

Физические особенности и условия производства титановых сплавов обуславливают некоторую нестабильность характеристик материала разных плавов, а в некоторых случаях и внутри плавки. Технолог по изготовлению пружин из титановых сплавов должен хорошо знать, как ведет себя сплав при различных режимах термомеханической обработки, а лучше всего иметь инструмент, позволяющий на любом этапе технологического процесса принимать верные решения для получения заданных механических и эксплуатационных свойств; одним из инструментов могут являться математические модели. Факторами, определяющими конеч-

ный результат, будут, в том числе, физико-механические характеристики входного материала. Степень значимости в технологическом процессе, а также адекватность этих моделей определяется не только математическим аппаратом и результатами экспериментального исследования, но и методикой их применения. Одна из задач работы — разработка этой методики [1, 2]. В классической постановке задачи оценки качества входного контроля необходимо:

- изготовить образцы для растяжения и кручения из партии материала;
- подготовить микрошлифы для исследования микроструктуры;
- провести испытания на растяжение и кручение;

- исследовать микроструктуру с применением микроскопа;
- проанализировать полученные результаты;
- провести визуальный осмотр, а в некоторых случаях — трудоемкий капиллярный контроль поверхности материала или др.;
- ультразвуковым методом проверить наличие внутренних дефектов.

Для определения качества входного материала ответственного изделия отсутствуют четкие критерии брака и способы его устранения. Для оперативного определения микроструктуры поступившего материала предлагается использовать испытание на растяжение с акустико-эмиссионным сопровождением.

Акустическая эмиссия материала (АЭ) вызвана динамической локальной перестройкой его структуры. Источником АЭ является область объекта испытаний, в которой происходит преобразование какого-либо вида энергии в механическую энергию АЭ. Сигнал АЭ — изменяющаяся физическая величина, отражающая сообщение об акустической эмиссии. Предполагается, что пластическая деформация при растяжении образца, являющаяся волновым процессом в исходном материале, сопровождается возникновением (испусканием) механических волн, которые, в свою очередь, могут дать информацию о микроструктуре материала. Такой способ позволит качественно оценить микроструктуру без применения трудоемких способов и принять решение о режимах обработки. Механическая волна представляет собой колебания отдельных частиц вещества. Отдельные частицы вещества, из которых, по нашим представлениям, состоит твердое тело, прикреплены к своим местам упругими силами. В структуре материала на распространение волн влияют: поверхности, которые вызывают отражения и образование поверхностных волн Рэлея и Лэмба; границы зерен, микротрещины, включения, которые вызывают отражения и дифракцию; анизотропия и неоднородности, которые искажают волновые фронты; нелинейность упругих свойств, которая ответственна за затухание и дисперсию. Параметрами АЭ являются импульс и амплитуда. Регистрируют, как правило, сигналы АЭ двух типов: непрерывная и дискретная эмиссия. Первый тип представляет собой непрерывную АЭ, характеризующуюся малой амплитудой (порядка нескольких микровольт), меняющуюся в нешироких пределах, и выглядит в виде шума, немного превышающего уровень шумов электронной аппаратуры, регистрирующей АЭ. Спектр непрерывной эмиссии содер-

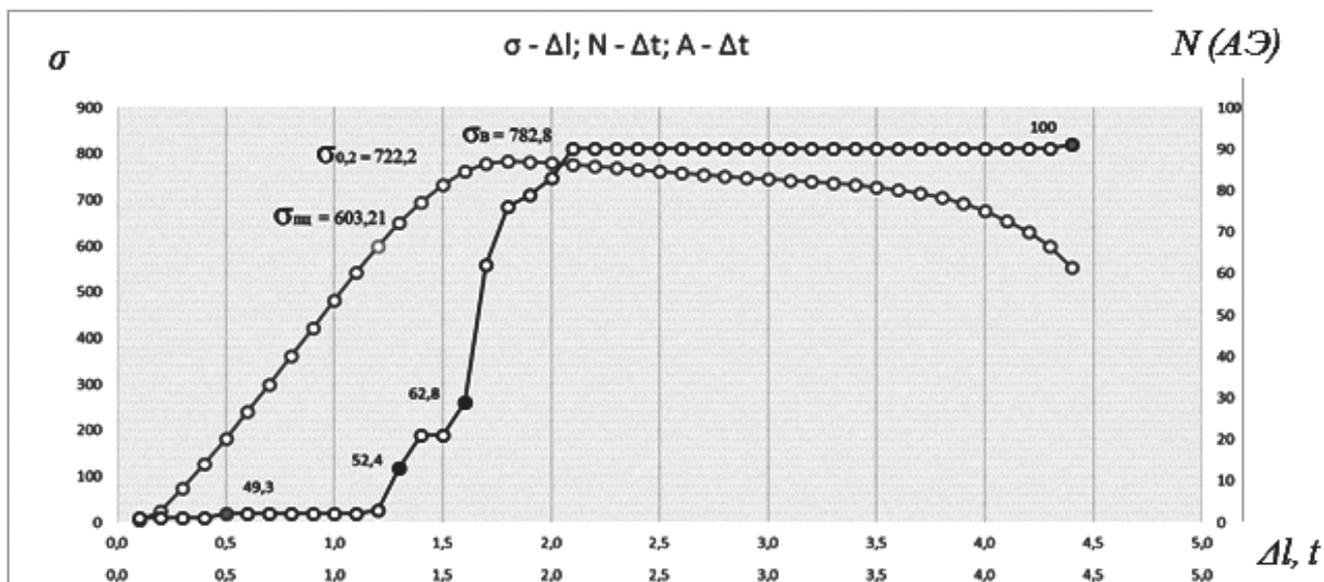
жит более высокие частоты по сравнению с эмиссией дискретного типа. Некоторые исследователи считают, что непрерывная эмиссия — результат наложения большого числа импульсов дискретного типа малой амплитуды. Ко второму типу относится дискретная эмиссия (вспышки АЭ), представляющая собой сложный переходный затухающий процесс, проявляющийся дискретно. При этом волны напряжений характеризуются большой амплитудой, которая может меняться в очень широком интервале и достигать нескольких вольт на преобразователе АЭ. Следует отметить, что форма волн напряжений в этом случае свидетельствует о наличии эффектов многократного отражения и возбуждения собственных резонансов объекта и датчика. Имеется следующее объяснение причин проявления непрерывной и дискретной эмиссии. Импульсы АЭ дискретного типа возникают в результате коллективного отрыва дислокаций от точек закрепления. Это проявляется в основном до предела текучести, и амплитуда сигналов зависит от прочности закрепления и числа отрывающихся дислокаций. Кроме того, считается, что амплитуда и число вспышек не должны зависеть от скорости деформации. За высокочастотную непрерывную эмиссию ответственно некогерентное движение дислокаций в результате торможения при взаимодействии их друг с другом или с другими дефектами. Уровень данного типа зависит от скорости деформации. Импульсы АЭ дискретного типа могут наблюдаться и за пределом текучести при больших степенях деформации, но в этом случае они уже вызваны процессом двойникования, формированием микротрещин или прорывом препятствий дислокационными скоплениями [3, 4].

Механические свойства сплава ТС6 обеих плавок представлены в табл. 2. На рис. 4 приведена совмещенная диаграмма испытания на растяжение

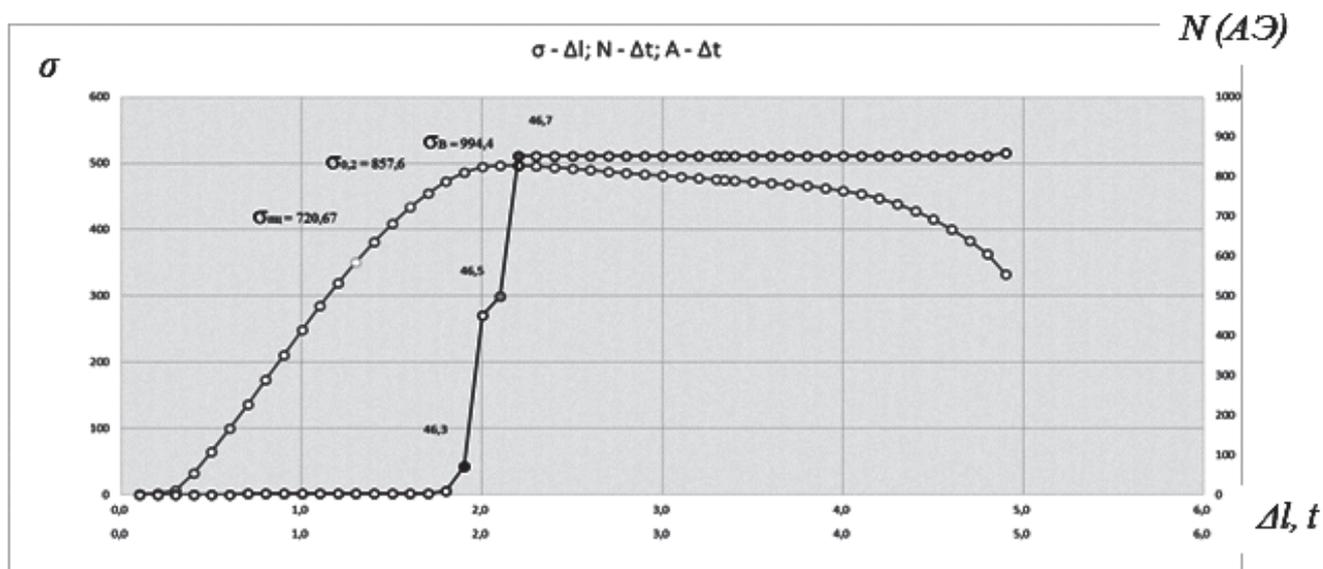
Таблица 2

Результаты механических испытаний на растяжение сплава ТС6 в исходном состоянии

№	Номер образца	Состояние сплава ТС6 плавок №1 и №2	Механические характеристики			
			$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %
ТС6 Ф4						
1	1(6)	Исх. состояние плавка № 1	673	712	20	36,9
2	2(7)		696	809	21	42,1
3	3(11)		789	845	22	39,8
4	1(9)	Исх. состояние плавка № 2	873	947	11	44
5	2(10)		842	925	11,8	50
6	1(1)	Плавка №2 после термоакустической обработки (рис. 4)	858	994	11,7	58
7	2(2)		955	962	12,2	43



а)



б)

Рис. 4. Совмещенная диаграмма зависимостей «напряжение — путь инструмента», «число сигналов — время», «амплитуда сигналов — время» для образца сплава ТС6: а — в состоянии поставки (плавка №1); б — после термоакустической обработки

образца из сплава ТС6 в исходном состоянии плавка №1 (см. табл. 1) с АЭ-сопровождением. На графических зависимостях (рис. 4, 5, б) представлены кривые напряжения и сигналов АЭ. На рис. 5 и 6 представлены диаграммы испытания на растяжение образца из сплава ТС6 после термоакустической обработки, совмещенной с термообработкой (старение). Сигналы АЭ, имеющие максимальные значения амплитуды, показаны сплошными черными кружочками.

Термоакустическая обработка

Плавка №1 сплава ТС6 имеет механические характеристики, не соответствующие сертификату,

показатели предела текучести и прочности ниже заявленных сертификатом, поэтому одним из способов изменения механических характеристик может служить метод термоакустического воздействия на исходный материал. На рис. 7 и в табл. 2 представлены структура и гистограмма распределения размера зерен в сплаве ТС6 плавки №2 в состоянии поставки и дополнительной термоакустической обработки и механические свойства соответственно. При сопоставлении размеров зерен сплава в исходном состоянии и после термоакустической обработки (см. табл. 1) видно, что в плавке №2 сплава ТС6 после обработки количество зерен размером менее 50 мкм увеличивается более чем в два

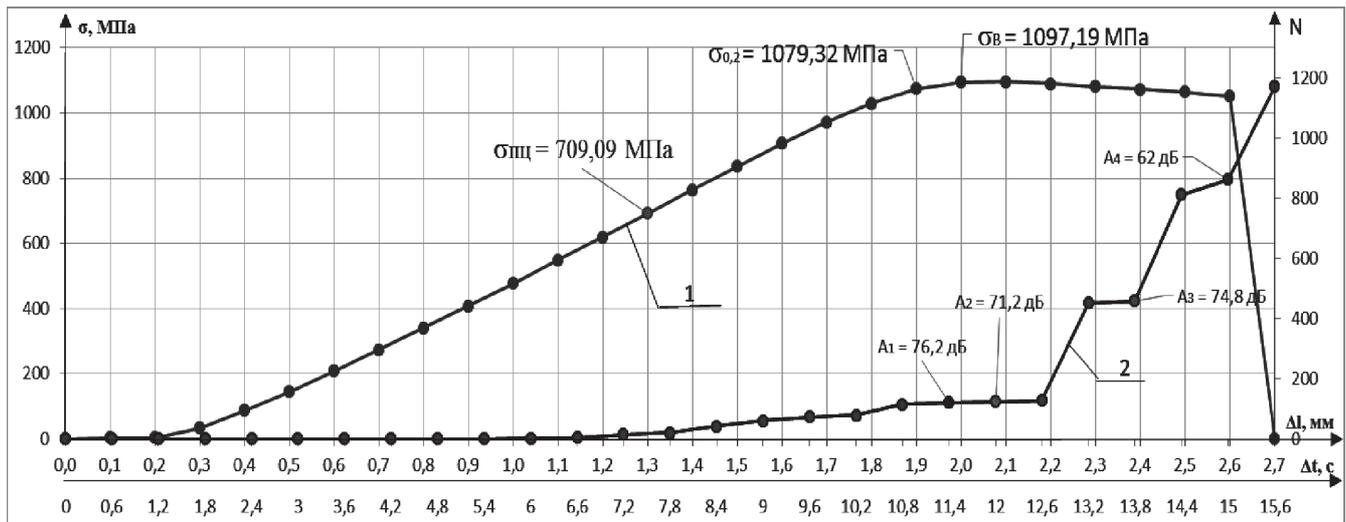


Рис. 5. Совмещенная диаграмма растяжения цилиндрического образца $\sigma - \Delta l$ и параметров акустической эмиссии $N - A, t$: 1 – диаграмма напряжение σ – деформация Δl цилиндрического образца сплава ТС6 ВТМО+термоакустическая обработка+старение 475°C 20 ч; 2 – суммарная акустическая эмиссия при растяжении, максимальные значения амплитуды сигналов АЭ ($A_1 = 76,2$ дБ; $\sigma_{A_1} = 1073,377$ МПа = $0,99 \sigma_B$; $A_2 = 71,2$ дБ; $\sigma_{A_2} = 1094,581$ МПа = $1,014 \sigma_B$; $A_3 = 74,8$ дБ; $\sigma_{A_3} = 1081,902$ МПа = $1,002 \sigma_B$; $A_4 = 62$ дБ; $\sigma_{A_4} = 1064,104$ МПа = $0,985 \sigma_B$)

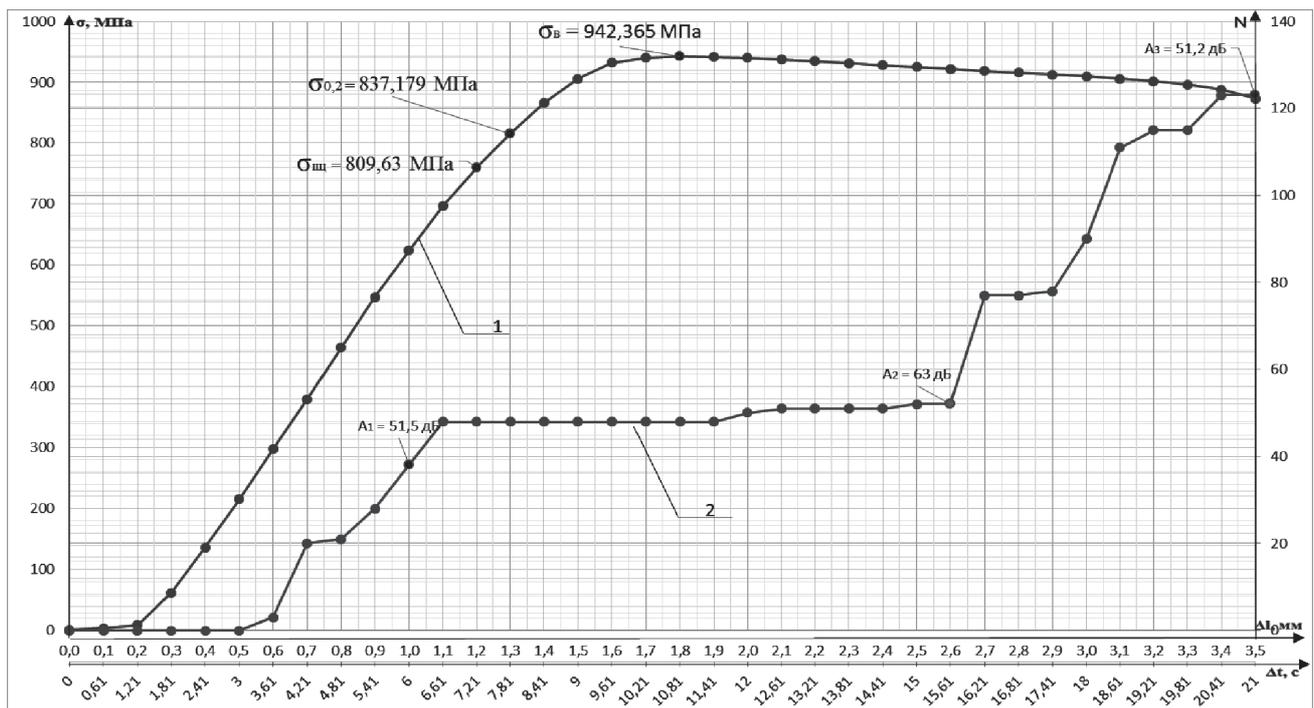


Рис. 6. Совмещенная диаграмма растяжения цилиндрического образца $\sigma - \Delta l$ и параметров акустической эмиссии $N - A, t$: 1 – диаграмма напряжение σ – деформация Δl цилиндрического образца сплава ТС6 ВТМО+ термоакустическая обработка+старение 475°C 5 ч; 2 – суммарная акустическая эмиссия при растяжении, максимальные значения амплитуды сигналов АЭ ($A_1 = 51,5$ дБ; $\sigma_{A_1} = 623,819$ МПа = $0,622 \sigma_B$; $A_2 = 63$ дБ; $\sigma_{A_2} = 921,824$ МПа = $0,978 \sigma_B$; $A_3 = 51,2$ дБ; $\sigma_{A_3} = 873,255$ МПа = $0,927 \sigma_B$)

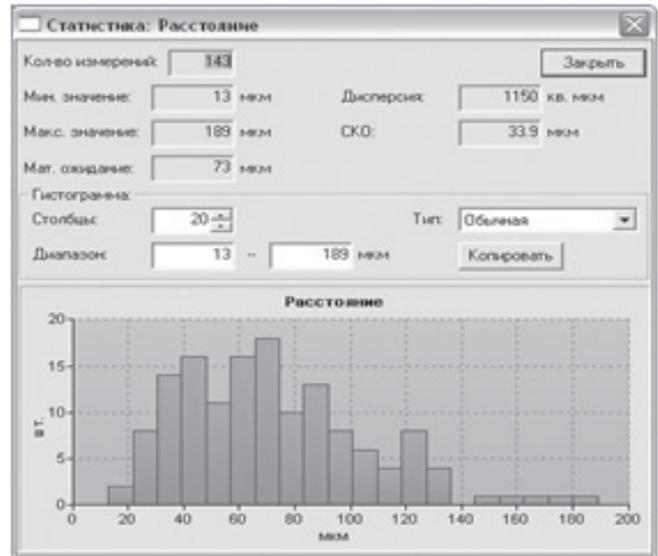
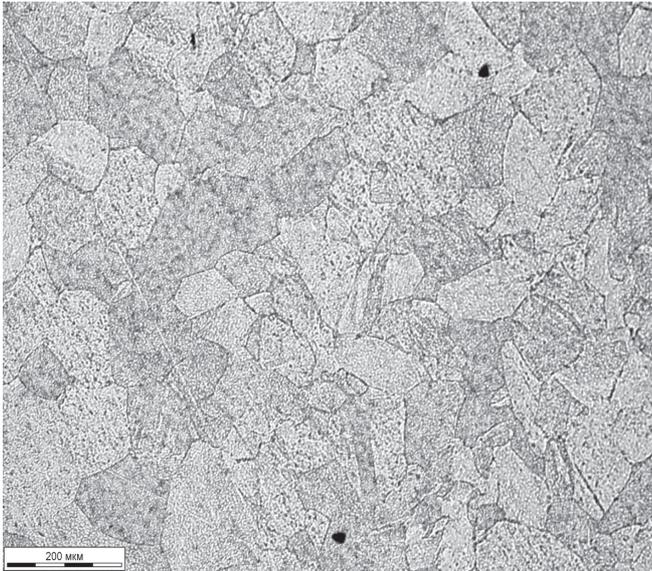


Рис. 7. Структура и гистограмма распределения размера зерен сплава ТС6 плавки №2 в состоянии поставки (пруток диаметром 8 мм) после термоакустической обработки. Фотоснимки и измерения размеров зерна сплава ТС6 в состоянии поставки №2 после термоакустической обработки (пруток диаметром 8 мм)

раза, а зерен размером более 140 мкм в сплаве не более 1%. После термоакустической обработки механические характеристики соответствуют сертификату, повышение механических свойств сплава плавки №2 (см. табл. 2) определяется измельчением зерен в процессе обработки.

Термоакустическая обработка относится к числу комбинированных средств воздействия на материалы [1–4]. При ее проведении осуществляется воздействие температурных и акустических полей с целью формирования свойств материалов в желаемом направлении как во всём объёме (глубина упрочнённого слоя определяется прокаливаемостью стали), так и в поверхностном слое благодаря образованию поверхностных оксидных структур или применению термоакустической обработки после

одного из видов химико-термической обработки. При этом охлаждение металла может проводиться до отрицательных температур в расширяющемся потоке газа, т.е. дополнительно реализуется криогенная обработка. Специальное технологическое оборудование для термоакустической обработки включает газоструйный генератор звука (ГГЗ), представленный на рис. 8, в резонаторе которого происходит охлаждение деталей.

При предлагаемой термической обработке охлаждение обрабатываемой заготовки 1 проводят в резонаторе 2, представляющем собой камеру, на открытом конце которой имеется фиксированный клин 3, перемещением которого регулируются амплитудно-частотные характеристики генерируемых акустических полей. Функционирование ГГЗ (со-

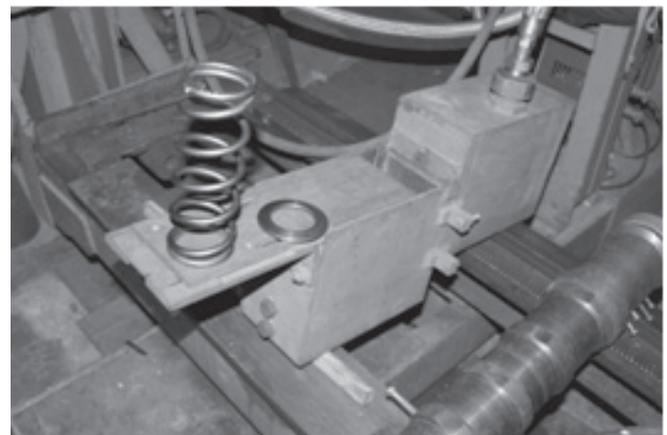
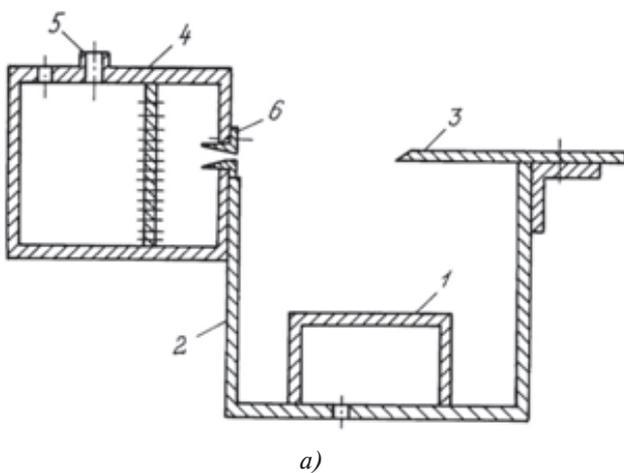


Рис. 8. Газоструйный генератор звука: а — чертёж газоструйного генератора звука (1 — заготовка; 2 — резонатор; 3 — фиксированный клин; 4 — ресивер; 5 — штуцер; 6 — сопловой блок); б — газоструйный генератор звука

здание мощных акустических полей в резонаторе 2) осуществляется с помощью рабочего газа, подаваемого в ресивер 4 через штуцер 5 с последующим истечением его через сопловой блок 6 над полостью резонатора 2.

Газоструйные генераторы звука — это механические генераторы звуковых и ультразвуковых волн, не имеющие движущихся частей, источником энергии в которых служит кинетическая энергия газовой струи. Выделяют несколько типов ГГЗ:

— свистки или статические сирены (свисток Гавро, свисток Гальтона, вихревой свисток, свисток Леваассера);

— мембранные излучатели;

— генераторы типа генератора Гартмана;

— динамические сирены.

При термоакустической обработке используют свистки различных видов, размеров и форм. Наиболее часто применяются свистки с прямой струёй или цилиндрического типа, которые представлены на рис. 9.

Свисток с прямой струёй представляет собой щель с регулируемыми размерами (0,5—1,5 мм). Благодаря изменению толщины щели можно регулировать воздействие воздуха на обрабатываемую деталь и изменять амплитуду вибраций, что напрямую влияет на механические характеристики материала. В свою очередь, цилиндрический ГГЗ образует струю грибовидного вида, что также сказывается на характеристиках материала благодаря более равномерной обработке.

Основными операциями в технологии термоакустической обработки являются нагрев деталей (заготовок) до определённых температур и последующее охлаждение, включая криогенное воздействие, в мощном акустическом поле звукового диапазона дискретных частот с уровнем звукового

давления 150—170 дБ в потоке газа. При термоакустической обработке металлических материалов происходит изменение микроструктуры, субструктуры и дислокационной структуры сталей и сплавов. Одним из основных эффектов любого оптимального режима термоакустической обработки является измельчение структурных составляющих сталей и сплавов, что обусловлено несколькими факторами: многоциклическим комплексным воздействием акустического поля с частотой 0,4—2,0 кГц (уровень звукового давления 160—185 дБ), нестационарным низкоскоростным потоком газа с одновременным воздействием напряжений, возникающих в процессе охлаждения материала до $T = 250 \div 320$ К, нагретого перед началом обработки, а при наличии фазовых превращений — напряжений, возникающих при переходе через точку превращения (фазовый наклеп).

Исследования в области качества исходного материала в пружинном производстве позволяют сделать вывод о возможности некоторой модернизации входного контроля как неотъемлемой части технологического процесса изготовления детали. Примерная схема подобного контроля представлена на рис. 10.

Известен способ термоциклической обработки (ТЦО) изделий из сплавов на основе титана, в том числе ВТ22 [8], при реализации которого осуществляли нагрев со скоростью $2,5 \text{ K}\cdot\text{c}^{-1}$ в интервале температур от комнатной до 1023 К и ускоренное охлаждение на воздухе.

При обработке условный предел прочности сплава возрастает с 1020 до 1080 МПа. Недостатком этого способа является небольшой эффект упрочнения, недостаточный для обеспечения требуемой релаксационной стойкости сплава.



а)



б)

Рис. 9. Свистки ГГЗ: а — свисток с прямой струёй; б — свисток с грибовидной струёй

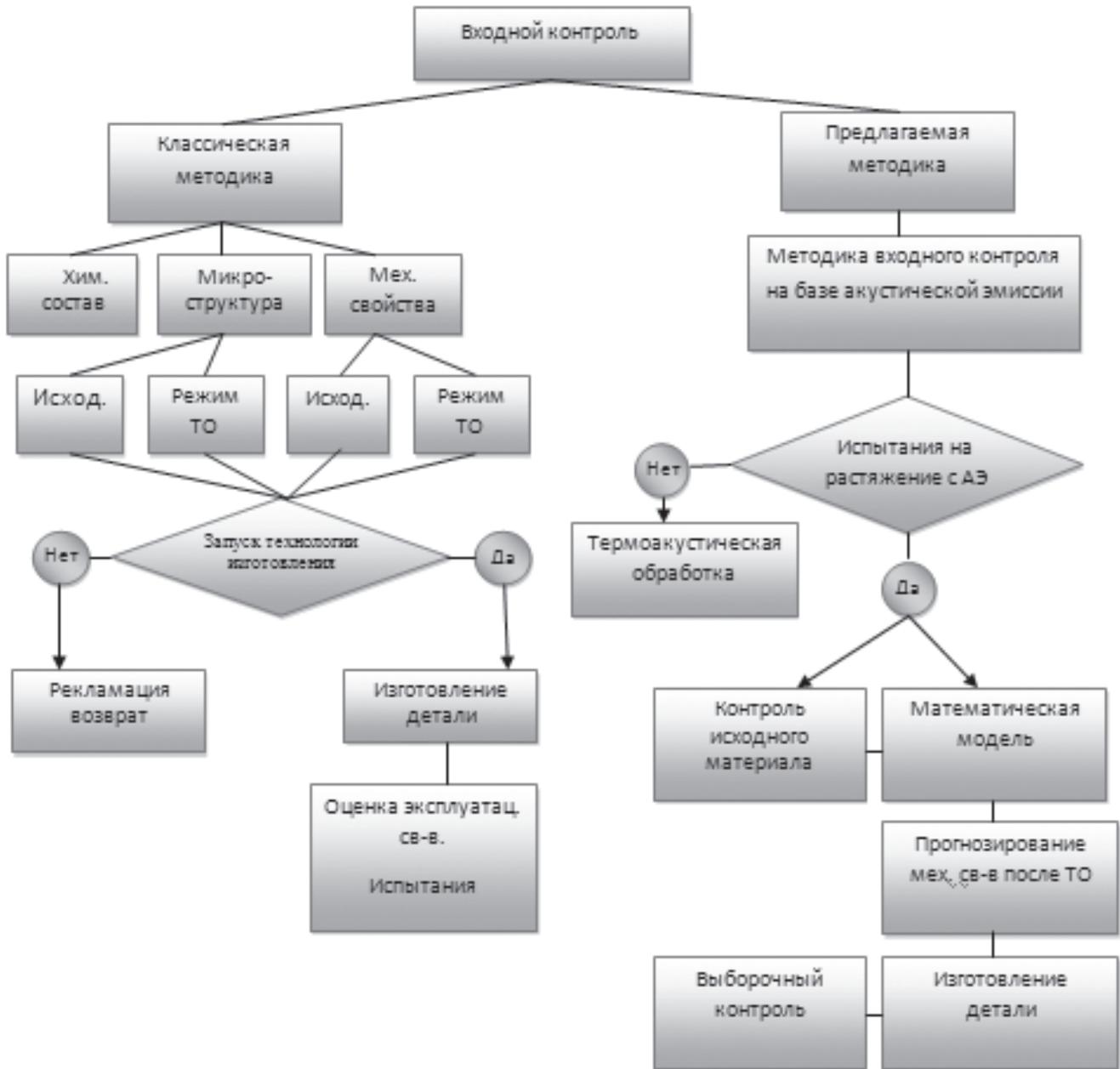


Рис. 10. Предлагаемая схема входного контроля в пружинном производстве

Титановые двухфазные сплавы мартенситного класса для достижения высоких значений прочности и релаксационной стойкости подвергают закалке и старению (для сплава ВТ 23 известен способ: нагрев до температуры 850°C, выдержка 1 час, охлаждение в воде, старение при температуре 550 °С в течение 10 часов (Ю.М. Лахтин), обеспечивающий возможность формирования структуры, механических и эксплуатационных свойств за счет протекания мартенситного превращения при закалке и последующего распада мартенситных фаз и метастабильной β -фазы при старении с образованием дисперсных α - и β -фаз (стандартная термическая обработка (СТО)). Основным недостатком является то, что способ не обеспечивает стабильных резуль-

татов достижения требуемых значений прочности, необходимых для таких изделий, как упругие элементы, например тарельчатые пружины (ТП).

Недостаточный уровень эксплуатационных свойств связан с многофакторным влиянием (исходная структура сплава после деформации, степень ее однородности в пределах партии и одного изделия, режимы нагрева и охлаждения сплава в процессе проведения термической обработки) на формирование структуры сплава.

При предлагаемой обработке благодаря одновременному воздействию на изделие из сплава титана при охлаждении потока газа с температурой ниже 0 °С и акустического поля достигается технический результат, а именно: измельчается первич-

Таблица 3

Корректировка физико-механических свойств титанового сплава

Термическая обработка (стандартная)	Режим предлагаемой обработки			Релаксационная стойкость R, %	
	Температура нагрева, °С	Уровень звукового давления, дБ	Среда охлаждения	После СТО	
				После СТО	После термоакустической обработки
Закалка 850 °С, вода; старение 550 °С, 10 ч	300	140	Поток воздуха+ акустическое поле	2,3–2,9 6–7 балл	1,2–2,0 5–6 балл
150					
160					
Закалка 850 °С, вода; старение 550 °С, 10 ч	420		Поток воздуха+ акустическое поле	2,3–2,9 6–7 балл	1,0–2,0 5–6 балл
Закалка 850 °С, вода; старение 550 °С, 10 ч	—	—	—	2,3 – 2,9 6–7 балл	

ная пластинчатая α -фаза твердого раствора, происходит частичная ее глобуляризация и измельчаются структурные составляющие, выделившиеся при распаде мартенситных фаз при старении, формируется внутризеренная структура с выстраиванием дислокаций в виде упорядоченных образований, т.е. формируется блочная структура, состоящая из сильно разноориентированных микрообъемов, а также уменьшаются внутренние микронапряжения на границах раздела фаз. Это позволяет изменять механические свойства в желаемом направлении: повысить прочность и релаксационную стойкость (табл. 3).

Предлагаемый способ после СТО снижает балл микроструктуры титанового сплава ВТ23 на 1–2 единицы, что приводит к улучшению релаксационных свойств ТП.

Вывод

1. Применение термоакустической обработки в качестве дополнительной обработки сплава ТС6, имеющего низкие механические свойства в исходном состоянии, обеспечивает измельчение зерен и повышение комплекса свойств до требуемого уровня.

2. Исследования в области качества исходного материала в пружинном производстве позволяют сделать вывод о возможности некоторой модернизации входного контроля как неотъемлемой части технологического процесса изготовления детали.

3. Установлено, что метод акустической эмиссии позволяет качественно оценить микроструктуру без применения трудоемких способов и принять решение о режимах обработки.

Библиографический список

1. Данилин Г.А., Титов А.В., Ремшев Е.Ю. и др. Оценка релаксационной стойкости тарельчатых пружин на основе метода акустической эмиссии // Деформация и разрушение материалов. 2012. № 3. С. 41–44.
2. Воробьева Г.А., Усков В.Н., Ремшев Е.Ю., Складнова Е.Е. Влияние термической и аэротермоакустической обработки на свойства деформируемых титановых сплавов // Материалы 15-й Международной научно-практической конференции «Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика». — СПб.: СПГПУ, 2013. С. 71–76.
3. Ремшев Е.Ю., Данилин Г.А., Воробьева Г.А., Силаев М.Ю. Обеспечение эксплуатационной надежности упругих элементов акустическими методами // Metallurg. 2015. № 3. С. 48–52.
4. Vorob'eva G.A., Remshev E.Yu. Effect of the Parameters of Aerothermoacoustic Treatment of 40Kh Steel on the Acoustic Emission Parameters // Russian Metallurgy, 2016. Vol. 2016. No. 3, pp. 189–192.
5. Лясников А.В., Агеев Н.П., Кузнецов Д.П. и др. Сопротивление материалов пластическому деформированию в приложениях к процессам обработки металлов давлением. — СПб.: Внешторгиздат, 1995. — 527 с.
6. Белогур В.П., Трещевский А.Н., Конев С.Ю. Опыт применения титановых пружин при повышенных температурах // Бизнес-Гид. 2007. № 1. С. 3–4.
7. Ланевский Т.М., Леонтьев М.К. Методика расчёта роста трещин во вращающихся элементах газотурбинного двигателя // Вестник Московского авиационного института. 2012. Т. 19. № 2. С. 121–133.
8. Гриднев В.Н., Ивасишин О.М., Ошкадеров С.П. Физические основы скоростного термоупрочнения титановых сплавов. — Киев: Наукова думка, 1986. — 256 с.

COMBINED THERMOACOUSTIC METHOD FOR TITANIUM ALLOY STRUCTURE MODIFYING

Kalugina M.S.* , Remshev E.Yu. , Danilin G.A.*** , Vorob'eva G.A.**** , Pekhov V.A.*****

*Baltic state technical university «VOENMEH» named after D.F. Ustinova,
1, Krasnoarmeiskaya str., Saint Petersburg, 190005, Russia*

* e-mail: mash-kalugin@yandex.ru

** e-mail: remshev@mail.ru

*** e-mail: Sapre4@yandex.ru

**** e-mail: Labmetcontrol@inbox.ru

Abstract

The paper studies the possibilities of using acoustic emission and gas-dynamic processing (thermo-acoustic processing) methods for initial check of a material (titanium alloy) instead of a traditional method, i.e. optimal heat treatment mode selection.

Implementation of thermos-acoustic processing as an extra treatment of TC6, BT16 and BT23 alloys, demonstrating low mechanical properties in the initial state, ensures grains refining and improvement of property package up to the required level.

Physical features of titanium alloys and specifics of obtaining semi-products on their basis require that a manufacturer should know and allow for these semi-products initial state (mechanical properties, microstructure, etc.) while process design. Thus, the manufacturer should possess the technique allowing promptly estimate and correct mechanical-and-physical properties of the basic material, and in certain cases of a complete spring either.

For the experiment, the authors selected the alloys from various foundries (mechanical properties, microstructure, etc.).

The presented study area of application is titanium alloys implementation for springs, employed in airspace and other special equipment manufacturing, where the quality of basic material predetermines largely the quality of a final product.

The carried out studies in the area of the basic material quality in spring production allows draw inference on the possibility of a certain initial check modernization, as unattainable part of a component manufacturing process. It is established, that acoustic emission method allows qualitatively estimate the microstructure without labor consuming estimation methods and take a decision on treatment schedule of manufacturing process. ATAP implementation as an extra processing of TC6 alloy, demonstrating low mechanical properties in its basic state, ensures grains refining and improvement of property package up to the required level.

Keywords: titanium alloys, acoustic emission, thermo-acoustic processing.

References

1. Danilin G.A., Titov A.V., Remshev E.Yu. *Deformatsiya i razrushenie materialov*, 2012, no. 3, pp. 41-44.
2. Vorob'eva G.A., Uskov V.N., Remshev E.Yu., Skladnova E.E. *Materialy XV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Tekhnologii uprochneniya, nanoseniya pokrytii i remonta: teoriya i praktika"*, St. Petersburg, 2013, pp. 71-76.
3. Remshev E.Yu., Danilin G.A., Vorob'eva G.A., Silaev M.Yu. *Metallurg*, 2015, no. 3, pp. 48-52.
4. Vorob'eva G.A., Remshev E.Yu. Effect of the Parameters of Aerothermoacoustic Treatment of 40Kh Steel on the Acoustic Emission Parameters. *Russian Metallurgy*, 2016, vol. 2016, no. 3, pp. 189-192.
5. Lyasnikov A.V., Ageev N.P., Kuznetsov D.P. *Soprotivlenie materialov plasticheskomu deformirovaniyu v prilozheniyakh k protsessam obrabotki metallov davleniem* (Resistance of materials to plastic deformation in metals pressure shaping applications), St. Petersburg, Vneshtorgizdat, 1995, 527 p.
6. Belogur V.P., Treshchevskii A.N., Konev S.Yu. *Biznes-Gid*, 2007, no. 1, pp. 3-4.
7. Lanevskii T.M., Leont'ev M.K. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta*, 2012, vol. 19, no. 2, pp. 121-133.
8. Gridnev V.N., Ivasishin O.M., Oshkaderov S.P. *Fizicheskie osnovy skorostnogo termouprochneniya titanovykh splavov* (Physical basis of speed of strengthening of titanium alloys), Kiev, Naukova dumka, 1986, 256 p.