

4. М и т р я е в К.Ф., С а з о н о в М.Б., К р и в е н к о М.П. Влияние упрочняющей обработки микрошариками на наклеп и остаточные напряжения титановых сплавов //Оптимизация процессов резания жаро- и особопрочных материалов: Сб.науч.тр. /Уфимский авиац. ин-т. Уфа, 1982. С. 161-167.

5. Б и р г е р И.А. Остаточные напряжения. М.: Машгиз, 1963. С. 95-102.

УДК 543.42:621.45-226.2

И.Л.Шитарев, Ю.Н.Краснов

ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ
И СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЛОПАТОК,
ПОЛУЧЕННЫХ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ШТАМПОВКОЙ

Для определения качества материала лопаток, полученных методом высокоскоростного выдавливания, исследовались химический состав, макро- и микроструктура, механические свойства. Исследования показали, что механические свойства лопаток соответствуют ТУ; микроструктура, величина и характер распределения остаточных напряжений соответствуют нормам.

Для определения качества материала лопаток, полученных методом высокоскоростной штамповки (ВСШ), исследовались химический состав, макро- и микроструктура, механические свойства. Исследования показали, что химический состав материала всех исследованных лопаток, определяемый спектральным и химическими анализами соответствуют ТУ для стали УИ96Ш, а макроструктура плотная, без наличия дефектов.

Микроструктура материала штамповок представляет собой сорбит, ориентированный по мартенситу. Механические свойства материала определялись на стандартных разрывных и ударных образцах, вырезанных из замков термообработанных штамповок. В табл. I представлены средние значения механических свойств.

ISBN 5-230-16902-8. Методы обработки авиаматериалов. Самара, 1991

Т а б л и ц а I

Механические свойства штамповок

Номер ступе- ни	l , мм	σ_B , кгс/мм ² (МПа)	σ_s , кгс/мм ² (МПа)	δ , %	ψ , %	НВ(диа- метр от печатки), мм	KCV кгс м/см ² (Дж/м ²)
6	120	120 (1200)	108 (1080)	17	70	3,22	16 (16·10 ⁵)
5	150	114 (1140)	100,5 (1005)	16	69	3,3	20 (20·10 ⁵)
2	200	119,5(1195)	103,5 (1035)	17	66	3,25	20,5(10,5·10 ⁵)
		по ТУ ≥ 104,5	по ТУ ≥ 90,5	по ТУ ≥ 6,5	по ТУ ≥ 33	по ТУ 3,1-3,4	по ТУ ≥ 5,0

Для сравнения качества материала лопаток, изготовленных ВСШ в объемной штамповкой на кривошипном прессе, были проведены испытания по определению удельной работы разрушения образцов с трещиной при ударном изгибе. В табл. 2 представлены средние из 5 значений КСТ (по Дроздовскому) на лопатках 5 ступени длиной 150 мм.

Т а б л и ц а 2

Средние значения КСТ

Способ изготовления	К С Т	
	кгс м/см ²	Дж/м ²
лш	2,6	2,6·10 ⁵
объемная штамповка	2,54	2,54·10 ⁵

В связи с введением в технологический процесс операций холодной рихтовки пера с последующим стабилизирующим отпуском были проведены работы по определению уровня остаточных напряжений по методу Н.Н.Давиденкова после штамповки, отпуска, рихтовки и стабилизирующего отпуска на лопатках 2 ступени (табл. 3).

Из табл. 3 видно, что максимальные остаточные поверхностные напряжения возникают после операции обдувки металлическим песком, уровень которых снижается термической обработкой: последующие опе-

Остаточные поверхностные напряжения в штамповках

Операции технологического процесса	Остаточные напряжения, кгс/мм ² (МПа)
Штамповка (без обдувки)	-12...-17 (-120...-170)
Штамповка + обдувка	-65...-78 (-650...-780)
Штамповка + обдувка + т/о (570°C, 3 ч)	-17...-25 (-170...-250)
Штамповка + обдувка + т/о + рихтовка	-17...-24 (-170...-240)
Штамповка + обдувка + т/о + рихтовка + т/о (200°C, 3 ч)	-4...-12 (-40...-120)

рации рихтовки и стабилизирующего отпуска при T 200°C в течение трех часов существенно не влияют на уровень напряжений.

Анализ результатов исследования макро- и микроструктуры, определение механических свойств материала и остаточных напряжений показал, что качество материала лопаток соответствует требованиям ТУ, а по характеристикам ударной вязкости и пластичности значительно превышает предельные значения, заданные ТУ.

Для определения работоспособности лопаток проводились сравнительные усталостные испытания на вибростенде, длительные испытания на изделиях, определялись механические свойства и усталостная прочность после наработки на изделиях.

Определение предела ограниченной выносливости лопаток, изготовленных из заготовок, полученных методом ВСП и объемной штамповкой, проводилось при симметричном цикле нагружений с частотой основного тона изгибных колебаний на базе $2 \cdot 10^6$ циклов.

Испытания проводилось на лопатках, прошедших различные методы финишной обработки: электрополирование, виброгалтовка, упрочнение микрошариками с диффузионным алитированием – силикатно фосфатным (ДФА-СФ) покрытием (табл. 4).

Из табл. 4 видно, что предел ограниченной выносливости лопаток, прошедших поверхностное упрочнение, на 8-10 кгс/мм² (80-100 МПа) выше, чем у неупрочненных лопаток; причем предел ограниченной выносливости лопаток, изготовленных из заготовок ВСП, в средней на 2-4 кгс/мм² (20-40 МПа) выше, чем у заготовок объемной штамповки.

Пределы ограниченной выносливости лопаток

Виды финишной обработки	Номер ступени	Длина лопатки, мм	Пределы ограниченной выносливости, кгс/мм ² (МПа)	
			Объемная штамповка	ВСШ
Электрополирование	6	120	40-42 (400-420)	40-42 (400-420)
	8	80	42 (420)	42 (420)
Виброгалтовка	7	100	52 (520)	52-54 (520-540)
	9	60	50 (500)	50-54 (500-540)
Упрочнение микроша- риками + ДИФА-СФ покрытие	5	150	54 (540)	58 (580)
	2	200	50 (500)	52 (520)

Определение уровня остаточных напряжений проводилось на образцах, вырезанных из центра пера лопаток вдоль оси. Исследования показали, что в поверхностном слое залегают сжимающие напряжения: величиной от 33 до 65 кгс/мм² (330-650 МПа) для лопаток, изготовленных из заготовок ВСШ и объемной штамповки.

На основании положительных результатов исследований все лопатки компрессора (с I по I4 ступень) длительно испытывались в установленном режиме, испытания прошли успешно.

После длительных испытаний лопаток проведенные полные металлургические исследования и усталостные испытания показали:

механические свойства лопаток ($\sigma_B, \sigma_s, \delta, \psi, HB$) удовлетворительные и соответствуют ТУ;

микроструктура удовлетворительная;

при ЛЮМ-А контроле дефектов не обнаружено;

величина и характер распределения остаточных напряжений соответствует нормам инструкции;

предел ограниченной выносливости лопаток 7 ступени на базе $2 \cdot 10^6$ циклов составил 45 кгс/мм² (450 МПа);

сравнительные испытания по определению ударной вязкости KCV и KCT приведены в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Ударная вязкость материала лопаток, прошедших длительное испытание на установленный ресурс

Вид обработки	Номер ступени	КСУ		КСТ	
		кгсм/см ²	Дж/м ²	кгсм/см ²	Дж/м ²
Объемная штамповка	7	6,2	$6,2 \cdot 10^5$	1,0	$1,0 \cdot 10^5$
	7	5,4	$5,4 \cdot 10^5$	1,9	$1,9 \cdot 10^5$
	7	8,0	$8,0 \cdot 10^5$	2,3	$2,3 \cdot 10^5$
ВСШ	10	-	-	5,0	$5,0 \cdot 10^5$
	10	-	-	5,1	$5,1 \cdot 10^5$
	10	-	-	10,5	$10,5 \cdot 10^5$
	10	23,2	$23,2 \cdot 10^5$	10,9	$10,9 \cdot 10^5$
	10	23,5	$23,5 \cdot 10^5$	12,1	$12,1 \cdot 10^5$
	10	20,7	$20,7 \cdot 10^5$	15,4	$15,4 \cdot 10^5$
	10	20,5	$20,5 \cdot 10^5$	14,0	$14,0 \cdot 10^5$
	10	21,2	$21,2 \cdot 10^5$	12,0	$12,0 \cdot 10^5$
По ТУ	-	5,0	$5,0 \cdot 10^5$	Не нормируется	

Как видно из табл. 5, ударная вязкость материала лопаток, полученных методом ВСШ, выше, чем вязкость заготовок, полученных объемной штамповкой.

Проведенные исследования показали, что надежность и долговечность лопаток, изготовленных из заготовок ВСШ, выше, чем у лопаток из заготовок объемной штамповки, что позволило значительно повысить ресурс серийных изделий.