

УДК 669.14.018.44:539.4

Е.Р. ГОЛУБОВСКИЙ, А.Н. СТАДНИКОВ, С.А. ЧЕРКАСОВА, А.Н. ПЕТУХОВ

ФГУП ЦИАМ им. П.И.Баранова, Россия

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АЗИМУТАЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИИ НА УСТАЛОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ И ЛОПАТОК ТВД*

Представлены результаты испытаний на многоцикловую усталость при колебаниях по первой изгибной форме при температуре 900°С монокристаллических образцов из сплава ЖС30ВИ и натуральных охлаждаемых рабочих монокристаллических турбинных лопаток из сплава ЖС32ВИ. Образцы и лопатки имели одну аксиальную кристаллографическую ориентацию <001> и различные заданные азимутальные ориентации. Получены значения пределов многоциклового усталости монокристаллических образцов и монокристаллических лопаток. Показано, что характер развития трещин различен как для образцов, так и для лопаток с различной азимутальной ориентацией монокристалла. Однако полученные результаты свидетельствуют о том, что пространственное расположение усталостных макротрещин в образцах и лопатках с различной азимутальной ориентацией не подчиняется какой-то определённой закономерности. Результаты проведенных исследований свидетельствуют об отсутствии явно выраженной зависимости характеристик многоциклового усталости монокристаллических образцов и монокристаллических лопаток от азимутальной кристаллографической ориентации.

Ключевые слова: монокристаллические образцы и лопатки, многоцикловая усталость, аксиальная и азимутальная ориентация, трещины, очаги зарождения трещины.

Введение

При существующей технологии отливки монокристаллических лопаток регламентируется аксиальная кристаллографическая ориентация (КГО) продольной оси рабочей лопатки. В настоящее время существуют две разные точки зрения по поводу влияния азимутальной КГО на работоспособность охлаждаемой монокристаллической лопатки. Так в работе [1] экспериментально показано, что характеристики длительной прочности монокристаллов никелевого жаропрочного сплава ЖС32ВИ с аксиальной КГО <001>, практически, не зависят от азимутальной КГО. Однако в работе [2] экспериментально установлено влияние азимутальной КГО на СРТУ. Кроме того, в работе [3] высказано предположение о возможном влиянии азимутальной КГО на характеристики циклической прочности монокристаллических охлаждаемых и неохлаждаемых рабочих лопаток турбины ГТД. Поэтому задача настоящей работы - исследовать влияние азимутальной КГО на характеристики многоциклового усталости (МнЦУ) при температуре 900°С монокристаллических образцов и охлаждаемых монокристаллических лопаток из жаропрочных никелевых сплавов.

1. Объекты исследования

Монокристаллические специальные плоские образцы были изготовлены механической обработкой из цилиндрических заготовок ($\varnothing \geq 16$ мм и $L = 230$ мм) жаропрочного никелевого сплава ЖС30ВИ [4]; плоская рабочая часть образца имела размеры 4x16x75 мм. Монокристаллические заготовки были получены по технологии ПМП на СНТК им. Н.Д. Кузнецова. Все заготовки и образцы прошли кристаллографическую аттестацию. Ось заготовок и, соответственно, образцов совпадала с КГО <001> (аксиальная ориентация) в пределах допустимого отклонения 10°. По азимутальной ориентации образцы были разделены на четыре партии (табл.1). Первая партия образцов с азимутальной ориентацией [001] имеет значения $\beta = 0^\circ$ (в этом случае вектор [010] лежит в плоскости широкой поверхности рабочей части образца). Вторая партия образцов - азимутальная ориентация имеет значение 15° (в этом случае между направлением [010] и плоскостью широкой поверхности рабочей части образца угол 15°). Соответственно третья партия образцов - с азимутом 30° и четвёртая - с азимутом 45°. Общее число образцов равнялось десяти, соответственно в каждой партии было по 2...3 образца.

Монокристаллические рабочие охлаждаемые лопатки 1-й ступени ТВД (рис., табл. 2) изготовлены из жаропрочного никелевого сплава ЖС32ВИ [4].

* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований проект 08-08-00142а



Рис. Внешний вид охлаждаемой монокристаллической лопатки 1-й ступени ТВД

Все лопатки имели кристаллографическую аттестацию, как в аксиальном, так и в азимутальном направлениях. В качестве базового направления была выбрана ось двигателя, а перпендикулярно к нему аксиальная ось лопатки. Отклонение продольной оси исследуемых лопаток (аксиальная ориентация) от кристаллографического направления $\langle 001 \rangle$ составляло угол $\alpha = 0 \dots 7,6^\circ$ и находилось в пределах допуска по ТУ на литье лопаток. Угол между осью двигателя и направлением $\langle 001 \rangle$ в плоскости поперечного сечения монокристаллической лопатки (в плоскости $\{001\}$) обозначен как угол β , который характеризует азимутальную КГО. По данным аттестации были составлены четыре партии лопаток (1-я партия - с азимутальной ориентацией 0° - 10° ; 2-я - 10° - 20° ; 3-я - 20° - 35° ; и 4-я - с азимутальной ориентацией 35° - 45°). Т.е. в 1-й партии азимутальная КГО $\langle 001 \rangle$ совпадала с осью двигателя, а в 4-й партии по оси двигателя была направлена азимутальная КГО $[110]$. Число лопаток в одной партии равнялось 3-4 шт. (табл. 2).

2. Методика испытаний

Испытания образцов и лопаток проводили на электродинамическом вибростенде типа УВЭ 10/5000 с печью радиационного нагрева при температуре 900°C по первой изгибной форме собственных колебаний в соответствии с требованиями стандартов [5, 6]. Для проведения испытаний была разработана специ-

альная оснастка для корректного фиксирования образца в заделке и фиксирования лопатки за замковую часть с полкой. До испытаний были определены частоты собственных колебаний по первой изгибной форме образцов и лопаток при температуре 900°C .

Режим нагружения образцов и лопаток при испытаниях на усталость при повышенной температуре оценивали по величине размаха колебаний 2А точек торцевого сечения образца или пера лопатки, измеряемого с помощью катетометра типа КМ-8.

По величине размаха колебаний 2А устанавливали и контролировали режимы нагружения объектов при испытаниях. Для этого, при возбуждении объектов при нормальной температуре, устанавливали индивидуальные тарировочные зависимости

$$\varepsilon_{\max}(\sigma_{\max}) = f(2A).$$

Индивидуальную тарировочную зависимость каждого объекта при температуре 900°C устанавливали пересчетом деформаций (напряжений), полученных при нормальной температуре $T = 20^\circ\text{C}$; пересчет на повышенную температуру проводили с использованием значений модуля упругости $E^{\langle 001 \rangle}$ для нормальной и повышенной температур (для сплава ЖС30ВИ - $[E^{\langle 001 \rangle}]_{20} = 136$ ГПа и $[E^{\langle 001 \rangle}]_{900} = 98$ ГПа; для сплава ЖС32ВИ - $[E^{\langle 001 \rangle}]_{20} = 126$ ГПа и $[E^{\langle 001 \rangle}]_{900} = 92$ ГПа).

Испытания на усталость лопаток проводили методом ступенчатого увеличения нагрузки в соответствии с ОСТ [6] до разрушения каждой лопатки. За базу испытаний принимали число циклов нагружения равное $N = 2 \cdot 10^7$ циклов. За критерий разрушения лопаток принимали падение резонансной частоты колебаний на $\Delta f \geq 20$ Гц.

В каждом образце и лопатке после испытаний контролировалось состояние поверхности на предмет выявления выхода усталостных трещин на поверхность визуальным методом, с применением оптического микроскопа и методом цветных красок.

3. Полученные результаты и обсуждение

Все образцы были испытаны на уровне $\varepsilon_{\max} = 0,255\%$ ($\sigma_{\max} = 25 \text{ кгс/мм}^2 = 245,25 \text{ МПа}$).

Данные испытаний образцов приведены в табл 1.

В результате испытаний образцов установлено, что число циклов до разрушения при заданном уровне максимальных напряжений в цикле $\sigma_{\max} = 25 \text{ кгс/мм}^2$ ($245,25 \text{ МПа}$) составило $N = (0,80 \dots 13,24) \times 10^6$ циклов.

При этом образцы с азимутальной ориентацией 15° имели максимальные значения числа циклов до разрушения.

Таблица 1

Результаты испытаний монокристаллических образцов на усталость при колебаниях по первой изгибной форме при $T=900^{\circ}C$ на уровне $\sigma_{max} = 25 \text{ кгс/мм}^2$ ($\epsilon_{max} = 0,255\%$)*

№ партии	№ образца	β_1 , град.	f_{20} , Гц	f_{900} , Гц	$N \cdot 10^{-6}$ цикл
1	1.	0	352	303	1,25
	2.	0	326	280	2,27
2	3.	15	304	260	3,59
	4.	15	345	296	2,24
	5.	15	327	284	13,24
3	6.	30	340	290	0,80
	7.	30	344	296	1,06
4	8.	45	360	304	1,09
	9.	45	349	299	1,52
	10.	45	351	299	6,19

*Угол β_1 - азимутальная КГО монокристалла; f_{20} -частота собственных колебаний по первой изгибной форме при $20^{\circ}C$, f_{900} - при $900^{\circ}C$; N -число циклов до разрушения.

Таблица 2

Кристаллографическая ориентация монокристаллических лопаток

№ партии	№ п/п	№ лопатки	α , градус	β , градус
1	1	1П 4138	+1,0	-1,9
	2	1Н 4040	+7,6	-5,0
	3	1П 4110	0	-6,3
2	4	1П 4148	+5,6	+16,5
	5	1П 4159	+1,9	+16,8
	6	1П 4266	+0,7	+12,1
3	7	1П 4223	+1,7	+30,7
	8	1П 4222	+3,8	+31,7
	9	1П 4224	+1,4	+31,3
	10	1П 4183	+1,6	+27,5
4	11	2Б 4359	+5,0	+40,2
	12	1П 4106	+5,4	-42,0
	13	1П 4135	+5,0	-37,8
	14	1П 4155	+2,0	-41,5

* - α -угол между продольной осью лопатки и направлением $[001]$ (аксиальная КГО); β - угол между осью двигателя и направлением $[010]$ в плоскости (001) (азимутальная КГО).

Однако все результаты испытаний образцов находятся в интервале разброса числа циклов до разру-

шения, характерного для испытаний на МнЦУ монокристаллических образцов литейных никелевых сплавов [7]. Разрушения образцов происходили вблизи их заделки в наиболее нагруженной зоне. На образцах после испытаний наблюдали по 2...3 усталостных трещины. Трещины на рабочих плоскостях расположены, как правило, под углом к продольной оси образца, а отдельные трещины – перпендикулярно оси.

В результате металлографических и фрактографических исследований установлено, что углы между продольной осью образца и направлением распространения трещин по широкой и малой граням рабочей части образца составляют ($45...50^{\circ}$) для азимутальной КГО, близкой к $\beta=0^{\circ}$, и ($80...90^{\circ}$) для азимутальной КГО, близкой к $\beta=45^{\circ}$. При этом очаги зарождения трещин у всех образцов расположены на поверхности их широкой грани. На части образцов очаги выделены достаточно четко, благодаря зональным полосам вблизи очага, в которых поверхность излома менее окислена. Непосредственно в очагах излом значительно окислен. В некоторых образцах очаг линейен, о чем свидетельствует полуэллиптический фронт зональных полос. В очагах дефекты материала не обнаружены. При азимуте $\beta=45^{\circ}$ непосредственно в очаге наблюдаются микросколы, выстроенные «пирамидой» с последующим развитием трещины по одной кристаллографической плоскости.

Необходимо подчеркнуть, что трещины в образцах при различных азимутальных ориентировках развивались, как правило, по октаэдрическим кристаллографическим плоскостям семейства (111).

Результаты испытаний лопаток, проведенных методом ступенчатого увеличения нагрузки [6], приведены в табл. 3.

Как следует из табл. 3, среднее значение предела МнЦУ профильной части лопаток при температуре $900^{\circ}C$ на базе $N = 2 \cdot 10^7$ составило $\sigma_{.1} = 22,5 \text{ кгс/мм}^2$ (220,7 МПа). На основании экспериментальных данных (табл. 2) можно сделать вывод о том, что предел МнЦУ лопаток практически не зависит от азимутальной ориентации. Значения этого предела для лопаток с различной азимутальной КГО различаются менее чем на 10%. Максимальные значения предела МнЦУ имеют лопатки с азимутальной ориентацией в диапазоне $\beta=10...35^{\circ}$. Этот результат согласуется с результатами испытаний монокристаллических образцов.

Образование и развитие макротрещин усталости произошли по входной кромке вблизи радиуса перехода пера в полку хвостовика в зоне действия максимальных напряжений. Магистральные усталостные трещины расположены под углом к продольной оси лопатки. При этом наблюдаются трещины, отходящие от магистральной и расположенные перпендикулярно оси лопатки.

Таблица 3

Результаты испытаний монокристаллических лопаток на МНЦУ
при колебаниях по первой изгибной форме при температуре $T = 900^{\circ}\text{C}$.

№ партии	№ п/п	№ лопатки азимут., КГО	f_1 Гц	ε_{max} %	σ_{max} кгс/мм ²	N, циклы	Примечание	
1	1.	1П 4138 (-1,9°)	2640	0,163	15	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2640	0,218	20	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2640	0,272	25	$2,5 \cdot 10^6$	(-)*	
	2.	1Н 4040 (-5,0°)	2410	0,163	15	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2410	0,218	20	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2410	0,272	25	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2410	0,300	27,5	$2,15 \cdot 10^6$	(-)*	
	(-)*по спинке и по полке							
	3.	1П 4110 (-6,3°)	2640	0,163	15	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
2640			0,218	20	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*		
2640			0,272	25	$1,6 \cdot 10^6$	(-)*		
2	4.	1П 4148 (+16,5°)	2370	0,163	15	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2370	0,218	20	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2370	0,272	25	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2370	0,300	27,5	$1,4 \cdot 10^6$	(-)*	
	(-)* по спинке в зоне s_{max} и по полке							
	5.	1П 4159 (+16,8°)	2430	0,163	15	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2430	0,218	20	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2430	0,272	25	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2430	0,300	27,5	$1,3 \cdot 10^7$	(-)*	
2	6.	1П 4266 (+12,1°)	2380	0,163	15	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2380	0,218	20	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2380	0,272	25	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2380	0,300	27,5	$1,6 \cdot 10^6$	(-)*	
3	7.	1П 4223 (+30,7°)	2390	0,163	15	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2390	0,218	20	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2390	0,272	25	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2390	0,300	27,5	$5,74 \cdot 10^6$	(-)*	
	(-)*по спинке в зоне s_{max} на удалении $L \approx 15\text{мм}$ от полки							
	8.	1П 4222 (+31,7°)	2440	0,163	15	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2440	0,218	20	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2440	0,272	25	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2440	0,300	27,5	$3,5 \cdot 10^6$	(-)*	
(-)*и по полке со стороны корыта								
3	9.	1П 4224 (+31,3°)	2410	0,163	15	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2410	0,218	20	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2410	0,272	25	$8,68 \cdot 10^6$	(-)*	
	10.	1П 4183 (+27,5°)	2400	0,163	15	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2400	0,218	20	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
		2400	0,272	25	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*		
		2400	0,300	27,5	$7,9 \cdot 10^6$	(-)*		
(-)* и по полке хвостовика со стороны корыта.								
4	11.	2Б 4359 (+40,2°)	2450	0,163	15	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2450	0,218	20	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2450	0,272	25	$3,8 \cdot 10^6$	(-)*	
	(-)*со стороны корыта.							
	12.	1П4106 (-42,0°)	2470	0,163	15	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2470	0,218	20	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2470	0,272	25	$1,38 \cdot 10^7$	(-)*	
	13.	1П 4135 (-37,8°)	2395	0,163	15	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2395	0,218	20	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2395	0,272	25	$4,74 \cdot 10^6$	(-)*	
	14.	1П 4155 (-41,5°)	2620	0,163	15	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2620	0,218	20	$2,0 \cdot 10^7$	(+)*	
			2620	0,272	25	-	(-)*	
(-)*При запуске по полке со стороны спинки в зоне s_{max} пера.								

*(+) лопатка прошла базовое число циклов без разрушения; (-) разрушение по входной кромке вблизи $R_{\text{пер}}$.

Металлографическими и фрактографическими исследованиями установлено, что развитие трещин во всех лопатках проходило по плоскостям кристаллографического скола (111).

Для азимутальной ориентации близкой $\kappa\beta = 0^\circ$ очаги разрушения расположены на поверхности входной кромки или на поверхности спинки вблизи радиуса перехода от полки хвостовика к перу.

Для азимутальной ориентации $\beta = 15^\circ$ очаги разрушения расположены либо на поверхности отверстий под охлаждающий воздух, либо на поверхности штырьков во внутренних полостях.

Для азимутальной ориентации $\beta = 30^\circ$ очаги разрушения расположены либо на поверхности штырьков в канале под охлаждающий воздух, либо на поверхности входной кромки лопаток в сечениях пера более высоких, чем при азимуте 0° .

Для азимутальной ориентации $\beta = 45^\circ$ очаги разрушения расположены на поверхности входной кромки вблизи радиуса перехода от полки хвостовика к перу.

Заключение

Результаты экспериментального исследования показывают, что азимутальная ориентация практически не оказывает влияния на сопротивление многоциклового усталости монокристаллических образцов и рабочих охлаждаемых монокристаллических лопаток 1-й ступени ТВД.

Металлографический и фрактографический анализ образцов и лопаток после испытаний подтверждает вывод о незначительном влиянии азимутальной ориентации и свидетельствует о том, что это влияние может проявляться в расположении очагов зарождения усталостных трещин – очаги в некоторых лопатках зарождаются в отдельных зонах внутри пера лопатки (для лопаток с $\beta = 15^\circ$ и $\beta = 30^\circ$).

Необходимо отметить, что оценка влияния азимутальной ориентации на МнЦУ получена при простой схеме нагружения образцов и лопаток – по первой изгибной форме. Возможно, это влияние будет более значительным при иных схемах нагружения (с учётом более высоких форм собственных колебаний и при наличии статической составляющей напряжений).

Авторы признательны Генеральному конструктору СНТК им. Н.Д. Кузнецова Д.Г. Федорченко

за помощь в организации работ по отливке монокристаллических заготовок из сплава ЖС30ВИ, их кристаллографической аттестации и изготовлении плоских образцов. Авторы также признательны В.Н. Ларионову (ММП «Салют») за помощь в организации работ по кристаллографической аттестации лопаток из сплава ЖС32ВИ, которые исследованы в настоящей работе.

Литература

1. Голубовский Е.Р. Влияние аксиальной и азимутальной кристаллографической ориентации на прочностные характеристики жаропрочных никелевых сплавов для монокристаллических лопаток ГТД / Е.Р. Голубовский, И.Л. Светлов, К.К. Хавацкий // Конверсия в машиностроении. – 2005. – №4-5. – С. 113-115.
2. Anisotropy of low cycle and thermal fatigue of single-crystal as cast nickel-base superalloy GS6F / E.N. Kablov, E.R. Golubovskiy, A.I. Epishin, I.L. Svetlov // Proc. of the «Fifth International Conference on Low Cycle Fatigue – LCF-5», Berlin, Germany, September 9-11, 2003, изд. DVM, 2004, Berlin, Germany. – P. 153-158.
3. Еленевский Д.С. Прочность монокристаллических лопаток турбин при вибрационном, термоциклическом и вибротермоциклическом нагружении / Д.С. Еленевский, В.А. Соляников // В кн. Новые технологические процессы и надёжность ГТД. Вып.7 «Обеспечение прочностной надёжности рабочих лопаток высокотемпературных турбин». – М.: ЦИАМ, 2008. – С.40-61.
4. Энциклопедия «Машиностроение» / Разд. II «Материалы в машиностроении» // Том II-3 «Цветные металлы и сплавы. Композиционные металлические материалы». Редактор-составитель И.Н. Фридляндер. 2001, М., Машиностроение. – 880 с.
5. ГОСТ 25.502-79 «Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость».
6. ОСТ 100870 – 77. «Лопатки ГТД. Методы испытаний на усталость».
7. Голубовский Е.Р. Экспериментальное исследование многоциклового усталости монокристаллов жаропрочных никелевых сплавов / Е.Р. Голубовский, Н.Д. Жуков // Сб. ст. Вопросы авиационной науки и техники. Серия «Авиационное двигателестроение». Вып.4(1327) «Проблемы конструкционной прочности современных ГТД», 2006. – М.: ФГУП ЦИАМ им. П.И. Баранова. – С. 62-70.

Поступила в редакцию 30.05.2009

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. А.М. Локощенко, заместитель директора НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ВПЛИВУ АЗИМУТНОЇ ОРІЄНТАЦІЇ НА СТОМЛЕНІСТЬ МОНОКРИСТАЛІЧНИХ ЗРАЗКІВ І ЛОПАТОК ТВД

Є.Р. Голубовський, О.М. Стадніков, С.О. Черкасова, А.М. Петухов

Представлені результати випробувань на багатоциклову стомленість при коливаннях по першій ізгибній формі при температурі 900⁰С монокристалічних зразків із сплаву ЖС30ВІ і натурних охолоджуваних робочих монокристалічних турбінних лопаток із сплаву ЖС32ВІ. Зразки і лопатки мали одну аксіальну кристаллографічну орієнтацію <001> і різні задані азимутні орієнтації. Набуті значень меж багатоциклової стомленості монокристалічних зразків і монокристалічних лопаток. Показано, що характер розвитку тріщин різний як для зразків, так і для лопаток з різною азимутною орієнтацією монокристала. Проте отримані результати свідчать про те, що просторове розташування стомлених макротріщин в зразках і лопатках з різною азимутною орієнтацією не підкоряється якійсь певній закономірності. Результати проведених досліджень свідчать про відсутність явно вираженої залежності характеристик багатоциклової стомленості монокристалічних зразків і монокристалічних лопаток від азимутної кристаллографічної орієнтації.

Ключові слова: монокристалічні зразки і лопатки, багатоциклова стомленість, аксіальна і азимутна орієнтація, тріщини, осередок зародження тріщини.

EXPERIMENTAL ESTIMATION OF INFLUENCE AZIMUTHAL ORIENTATIONS TO THE FATIGUE OF SINGLE-CRYSTAL SAMPLES AND TURBINE BLADES

E.R. Golubovskiy, A.N. Stadnikov, S.A. Cherkasova, A.N. Petukhov

Results of tests HCF at fluctuations on the first form at temperature 900C single crystal samples from alloy GS30VI and natural cooled single crystal turbine blades from alloy GS32VI are presented. Samples and blades had one axial crystallographic orientation <001> and the various set azimuthal orientations. Values of limits of HCF of single crystal samples and single crystal blades are received. It is shown, that character of development of cracks is various both for samples, and for blades with various azimuthal orientation of a single crystals. However the received results testify that the spatial arrangement of fatigue macro cracks in samples and blades with various azimuthally orientation does not submit to any certain law. Results of the lead researches testify to absence of obviously expressed dependence of characteristics of HCF of single crystal samples and single crystal blades from azimuthally crystallographic orientations.

Key words: Single crystal samples and blades, high cycle fatigue, axial and azimuthal orientation, cracks, the nucleation sites for of origin of a cracks.

Голубовский Евгений Ростиславович – д-р техн. наук, профессор, начальник отдела конструкционной прочности сплавов, ФГУП ЦИАМ им. П.И. Баранова, Москва, Россия, e-mail: golubovskiy@ciam.ru.

Стадников Александр Николаевич – вед. конструктор, ФГУП ЦИАМ им. П.И. Баранова, Москва, Россия.

Черкасова Светлана Александровна – вед. инженер, ФГУП ЦИАМ им. П.И. Баранова, Москва, Россия.

Петухов Анатолий Николаевич - докт. техн. наук, профессор, начальник сектора, ФГУП ЦИАМ им. П.И. Баранова, Москва, Россия, ustalost@ciam.ru.