

УДК 621.923.024:669.2955

П.Г.Петруха, А.Д.Чубаров

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ЛОПАТОК ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Изыскание путей улучшения качества поверхностного слоя пера лопаток и повышения эффективности обработки этих массовых и ответственных деталей ТРД привело к разработке метода ленточного шлифования [1]. Внедрение в производство данного процесса позволило снизить трудоемкость изготовления лопаток и получить более стабильное состояние их поверхностного слоя.

Итогом исследовательской работы кафедры в данном направлении явились рекомендации промышленности и результаты приведенные в работе [2], позволившие повысить эффективность ленточного шлифования пера лопаток из титановых сплавов.

Однако эти работы были посвящены только шлифованию, после которого следует заключительная операция технологического процесса изготовления лопаток - полирование. Обычно эта операция выполняется вручную, отличается высокой трудоемкостью, зависит от индивидуальных качеств исполнителя, что не гарантирует стабильное состояние поверхностного слоя пера лопатки и достаточную надежность детали.

Стремление механизировать операцию полирования, снизить ее трудоемкость и улучшить качество окончательно обработанных поверхностей лопатки привело к постановке настоящей работы.

Целью исследования являлось изыскание возможности окончательной обработки основной части пера лопатки из титановых сплавов на копировально-шлифовальных станках типа ЛШ-1. Перо лопатки сначала фрезеровалось с припуском 0,3-0,5 мм на сторону, а затем предварительно шлифовалось на станке ЛШ-1 с припуском под окончательное шлифование. Предварительное шлифование осуществлялось лентами СУ, 2ЯК1+4ФМЗ, КЗ40+25, рекомендованными, вместе с условиями шлифования, в работе 2.

В качестве режущего инструмента для окончательного шлифования были выбраны водостойкие абразивные шкурки на тканевой основе с наклеенными микропорошками КЗМ40 и ЭМ40, причем каждый из них наносился в два слоя. Полосы разрезались на ленты 1950x15 мм, которые затем склеивались внахлестку по обычной технологии, принятой для лент с двойной насыпкой зерна КЗ40+25. Однако эксперименты по шлифованию склеенными таким образом лентами показали, что они через 5-7 мин. работы разрываются у места склейки (рис. 1).

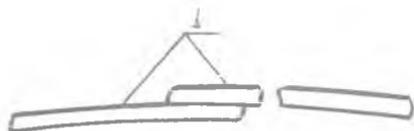


Рис. 1. Разрыв ленты с двойной насыпкой микропорошка КЗМ40+М40 у места склейки (у шва) при соединении концов ленты внахлестку; 1 - слой микропорошка КЗМ40+М40.

Причина заключалась в том, что толщина по шву (0,85 мм) существенно превышала толщину ленты (0,5 мм). Вследствие этого при проходе шва (места склейки) между родником и шлифуемой поверхностью детали резко возрастала нагрузка ленты, и последняя разрывалась. У лент, обычно применяемых для шлифования (с двойной насыпкой зерна КЗ40+25), толщина по шву несколько меньше толщины ленты, так как с участков, которые должны образовать шов, удалялся толстый двойной слой абразивного зерна. Удаление слоя микропорошка у лент КЗМ40+М40 или ЭМ40+М40 не утоняло их. Во избежание разрыва этих лент была разработана специальная методика склеивания. Она заключалась в том, что на нерабочую сторону ленты КЗМ40+М40 или ЭМ40+М40 (противоположную слой микропорошка) наклеивалась другая лента, например, уже работавшая лента КЗ40+25 с изношенным слоем абразивного зерна. Эта упрочняющая лента наклеивалась не по всей длине ленты КЗМ40+М40, а таким образом, что концы последней оставались свободными.

Причина заключалась в том, что толщина по шву (0,85 мм) существенно превышала толщину ленты (0,5 мм). Вследствие этого при проходе шва (места склейки) между родником и шлифуемой поверхностью детали резко возрастала нагрузка ленты, и последняя разрывалась. У лент, обычно применяемых для шлифования (с

Длина концов была несколько больше той, которая необходима для их склеивания внахлестку. Затем производилось склеивание этих концов ленты КЭМ40+М40 (или ЭБМ40+М40) (рис. 2).

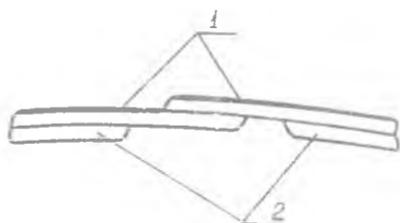


Рис.2. Лента с двойной насыпкой микропорошка КЭМ40+М40 и наклеенной упрочняющей лентой. 1-слой микропорошка КЭМ40+М40; 2-лента, наклеенная для упрочнения.

При проходе шва между роликом и шлифуемой поверхностью лопатки такая лента прогибалась в сторону ролика, поскольку на этом ее участке упрочняющая лента не наклеена, и возрастание нагрузки ленты не происходило, натяжение ее было равномерным. Склеенные таким образом ленты не подвергались разрыву при шлифовании и работали надежно.

При проведении экспериментов, наряду с проверкой лент на разрыв, производился выбор значений параметров режима шлифования.

Были выбраны следующие величины элементов режима резания:

скорость ленты (резания)	$V_l = 25$ м/сек;
поперечная подача	$t = 0,05$ мм на проход (лопатки);
продольная подача	$S_n = 6$ м/мин;
угловая подача	$\alpha = 35-37$ на ход стола.

В исследованиях применялась смазочно-охлаждающая жидкость (СОЖ), содержащая 0,25% эмульсола, 0,5% тринатрийфосфата и 0,25% нитрита натрия, подававшаяся в зону шлифования в обильном количестве.

С целью получения необходимых характеристик процесса, лопатки и ленты взвешивались до после шлифования. Производилось измерение шероховатости поверхностей лопаток по параметру R_a на профилометре-профилографе завода "Калибр". Было проведено исследование глубины и степени наклепа обработанной поверхности, при предлагаемом, а также других видах окончательной обработки лопаток (табл. I). Исследование наклепа выполнялось на образцах, вырезанных из пера лопаток вдоль выходной кромки. Микротвердость измерялась прибором ПМТ-3 при нагрузке 100 Г и увеличении, равном 487.

Степень наклепа определялась по формуле:

$$N = \frac{H - H_1}{H_1} \cdot 100\%$$

Таблица I

Технологический процесс обработки пера лопаток

Основные операции	Режущий инструмент	Пит. ос/мин	V _{свр} м/мин	S _з мм/зуб	t ₁ мм	V _п м/сек	Δn м/мин	t мм/проход	t ₂ град	V _{свр} м/сек	Связочно окл. жидк. (СОЖ)
Фрезерование предварительное	Фреза Ø 120 мм с пласт. ВК8 (E = 40)	6	12-15	0,8-1,2	1,5-2,5	-	-	-	-	-	-
Фрезерование окончательное	тот же	8	15-18	1,0-1,5	0,5-1,0	-	-	-	-	-	-
Шлифование: 1) на станке ДШ-1; а) предварительное б) окончательное 2) вручную	Ленты водостойкие с зерном ЭВ40, К340 и К340+25 с микропорошком К3М40+М40	-	-	-	0,2-0,5	30	9	0,1	0,6	-	Водный раствор 0,25% эмульсиона 0,5% Na ₂ PO ₄ 0,25% NaNO ₂
	шлифовальный круг ЭВ40М2К	-	-	-	0,015-0,02	25	6	0,05	0,6	-	-
Полирование предварительное (вручную)	Войлочные круги с зерном Э25, Э16, К325, К316	-	-	-	0,03-0,05	-	-	-	-	23	-
Полирование окончательное (вручную)	Войлочные круги с порошком К310, К36 и с пастой	-	-	-	0,02-0,03	-	-	-	-	II	-

где H - микротвердость обработанной поверхности кг/мм^2 ; H_1 - микротвердость исходного (неупрочненного) материала, кг/мм^2 .

Для уменьшения влияния случайных погрешностей на каждом уровне наклонного шлифа делалось по три отпечатка и измерялась величина их диагоналей; окончательный результат являлся средним арифметическим этих значений.

Результаты исследования основных характеристик процесса шлифования пера лопаток из титановых сплавов лентами с двойной насыпкой микропорошка КЗМ40+М40, приведены в табл. 2. Из анализа табл. 2 следует, что ленты обладают высокими для микропорошка режущими свойствами и обеспечивают получение требуемого класса чистоты обработки пера, что является важным достоинством исследуемого процесса. Некоторое различие в величинах минутной производительности и стойкости связано с особенностями технологии изготовления лент. Так, в опытах I и 2 применялись ленты концы которых соединены внахлестку без наклеивания на их нерабочую часть другой ленты (рис. 1). Поэтому ленты, примененные в опытах I и 2, через несколько минут работы разрывались у места соединения концов ленты. В опытах 6 и 7, хотя и применялись ленты с наклеенной на их нерабочую часть другой лентой (рис. 2), но она была неводостойкой, что приводило к ослаблению и расклеиванию лент.

Более эффективное шлифование имело место при использовании лент изготовленных согласно рис. 2, но в качестве крепежной применялась та же лента, что и рабочая - лента на тканевой основе с двойной насыпкой микропорошка КЗМ40+М40. Ленты склеивались так, что слой микропорошка был с обеих сторон. Таким образом достигалось наиболее рациональное осуществление процесса шлифования: сначала работами наружной стороной (в опытах II и I3), затем, перевернув ленту, - внутренней ее стороной (в опытах I2 и I4).

Весьма характерны результаты исследования шероховатости и наклепа поверхности пера лопаток, обработанных лентами с двойной насыпкой микропорошка КЗМ40+М40, а также шлифовальными кругами, лентами с двойной насыпкой зерна КЗ40+25 и полировальными кругами.

Из таблицы 3 следует, что наибольшие значения шероховатости и наклепа свойственны обработке шлифовальными кругами, выполняемой вручную. Особенно велика для данного вида обработки степень наклепа, величина которой в 4,5 раза превосходит степень наклепа при шлифовании лентами с двойной насыпкой зерна КЗ40+25. Этот результат свидетель-

Таблица 2

Результаты шлифования лопаток из сплавов ВТ3-1 и ВТ5-1

№ оп-тор	Наименование и материал лопатки	Характеристика лент	Производительность ленты в г.	Стойкость ленты Т в мин.	Машинная пропускная способность ленты, в г/мин	Ведущая снятого припуска (на сторону), в мм	Класс чистоты шлиф. поверхности лопатки	Состояние ленты после шлифования
1.	Рабочая из сплава ВТ3-1	КЭМ40+М40 без наклеивной ленты	1,06	8	0,13	0,015	-	Разорвана, но изношена не полностью
2.	- "	- "	0,66	5	0,13	0,015	-	- " -
3.	- "	КЭМ40+М40	1,49	14	0,11	-	-	Изношена
4.	- "	с наклеивной лентой	1,63	12	0,13	-	▽96	- " -
5.	- "	- "	1,66	14	0,12	-	-	- " -
6.	Спрямляющая	- "	0,90	9	0,10	-	-	Изношена не полностью
7.	Из сплава ВТ5-1	- "	0,60	6	0,10	-	-	Разорвана из-за дефекта склейки
8.	- "	- "	0,80	8	0,10	-	▽9в - ▽94	Изношена не полностью
9.	- "	- "	1,80	13	0,14	-	-	Изношена
10.	- "	- "	1,13	9,5	0,12	0,015	-	Изношена не полностью
11.	- "	- "	1,60	7	0,23	0,017	-	- " -
12.	- "	- "	1,70	7	0,24	0,018	▽9в	- " -
13.	- "	- "	1,34	7	0,19	0,015	-	- " -
14.	- "	- "	1,36	7	0,19	0,016	-	- " -

ствует о весьма высокой температуре при обработке титановых сплавов шлифовальными кругами вручную и специфичном характере наклепа при резании этих сплавов, отмеченном ранее [3]. Столь высокая степень наклепа, возникающая вследствие охрупчивания поверхностного слоя, является нежелательной. Следовательно, обработку пера лопаток из титановых сплавов шлифовальными кругами, выполняемую вручную, нельзя признать приемлемой в качестве операции, предшествующей полированию. Анализ других данных, приведенных в табл. 3, показывает, что значительно более благоприятным в рассматриваемом отношении следует считать шлифование пера лопаток водостойкими абразивными лентами с двойной насыпкой зерна К340+25. Еще лучшие результаты достигнуты при шлифовании лентами с двойной насыпкой микропорошка КЭМ40+М40. Из приведенного следует, что шлифование указанными лентами, после обработки лентами с зерном К340+25, по чистоте поверхности и параметрам наклепа не уступает полированию и может заменить его. При окончательном (декоративном) полировании после шлифования лентами с микропорошком КЭМ40+М40 можно получить наиболее благоприятное состояние поверхностного слоя пера лопаток (таблица 3, вид обработки № 6).

Выводы и рекомендации

1. Предложена окончательная обработка основной части пера лопатки из титановых сплавов ВТЗ-1 и ВТ5-1 на станках типа ЛШ-1 лентами с двойной насыпкой микропорошка КЭМ40+М40, исключая ручное полирование.

2. Разработаны рациональные условия машинного полирования основной части пера лопаток из титановых сплавов:

1) шлифование на станках типа ЛШ-1 лентами на тканевой основе (полудвунитка и саржа утяжеленная) с двойной насыпкой микропорошка КЭМ40+М40, изготовленными по разработанному в данном исследовании методу;

2) параметры режима шлифования:

скорость ленты = 15 + 25 м/сек ;

поперечная подача = 0,05 мм на проход (лопатки);

продольная подача = 5,5 + 6,5 м/мин;

угловая подача = 35 + 40 на ход стола.

3) обязательное применение смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ);

а) водного раствора, содержащего 0,25% эмульсола, 0,5% тринатрий-фосфата и 0,25% нитрата натрия;

б) водного раствора, содержащего 2% экстрадиола (эмульсола ВНИИ НП-117) и 0,3% кальцинированной соды;

Таблица 2

Шероховатость поверхности и наклеп поверхностного слоя пера лопаток из титанового сплава при различных видах абразивной обработки

№	Вид обработки	Шероховатость R_a в мкм	Класс чистоты и разряд по ГОСТ 2789-59	Параметры наклепа			Степень наклепа N в %
				Глубина наклепа h в мм	Микротвердость	Исходного материала H в кг/мм ²	
1.	Шлифование абразивными кругами (зруч-ную)	5 - 2,5	$\nabla 5 \pm \nabla 6a$	0,026	643	293	119
2.	То же с последующим предварит. и окончательным полированием	0,27 \pm 0,21	$\nabla 96 \pm \nabla 9b$	0,014	352	293	20
3.	Шлифование лентами с зерном К340+25	1,5 \pm 1,25	$\nabla 6b \pm \nabla 7a$	0,016	366	291	26
4.	То же с последующим предварительн. и окончательн. полированием	0,26 \pm 0,2	$\nabla 96 \pm \nabla 9b$	0,014	351	296	19
5.	Шлифование лентами с зерном К340+25 и лентами с микропсрошном К3М40+М40	0,31 \pm 0,2	$\nabla 9a \pm \nabla 9b$	0,015	360	300	20
6.	То же с последующим окончательным полированием	0,25 \pm 0,2	$\nabla 96 \pm \nabla 9b$	0,005	330	300	10

4) шлифованию лентами с двойной насыпкой микропорошка КЭМ40+М40 должна предшествовать обработка лентами типа СУ, 2ЯК1+4ФМЗ, КЗ40+25 или ПД, 4ЯК1+2ФМЗ, КЗ40+25 с последующим шлифованием лентами подобных характеристик, но с более мелкими частицами абразивного материала (с порошками № 8-10).

3) Применение указанных рекомендаций позволяет механизировать окончательную операцию обработки пера лопаток (подирование), значительно снизить трудоемкость их изготовления, получить обработанную поверхность в пределах 9а - 9б класса чистоты в минимальные значения параметров наклепа поверхностного слоя.

Литература

1. Митревич К.С. Высокопроизводительное шлифование, илифование сталей и жаропрочных сплавов абразивными лентами, изд. АН СССР, Москва, 1962.

2. Кривоухов В.А., Чубаров А.Д. Обработка резанием титановых сплавов, "Машиностроение", 1970.

3. Чубаров А.Д., Новиков Н.Н. Деформирование и роль температурного фактора в процессе резания титановых сплавов, "Вестник машиностроения", № 9, 1959.