

В расчетах выходных показателей процесса шлифования основное значение имеет толщина среза, которая, как показывает сравнение, попадает в 95%-ный доверительный интервал на экспериментальные величины, что говорит об отсутствии влияния сравниваемых способов определения параметров стружки на их величину.

Таким образом, толщина единичного среза, определенная при помощи математической модели шлифования, может быть использована для расчетов выходных показателей процесса.

#### *Выводы*

1. Средняя толщина стружек, рассчитанная по толщине среза на базе математической модели процесса шлифования, составляет  $4,88 \pm 2,85$  мкм, что сопоставимо со средней толщиной стружек, равной  $4,93 \pm 0,21$  мкм, которая определена экспериментально.

2. Параметры срезов, определенные с помощью математической модели, можно использовать для расчетов параметров шероховатости обработанной поверхности, сил резания и т.п.

**Список использованных источников:** 1. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов / Е.Н. Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 316 с. 2. Huges F.H. Talking diamond grinding. Pat 5 / F.H. Huges // Tooling. – 1978. – Feb. 3-21. 3. Лурье Г.Б. Устройство шлифовальных станков / Г.Б. Лурье, В.Н. Комисаржевская. – М.: Высшая школа, 1983. – 215 с. 4. Азарова Н.В. Экспериментальное определение параметров радиальных колебаний шлифовального круга, сопровождающих процесс обработки / Н.В. Азарова, В.А. Сидоров, В.П. Цокур // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: зб. наук. праць. – Краматорськ: ДДМА. – 2011. – № 28. – С. 189-193. 5. Азарова Н.В. Исследование параметров стружки при плоском алмазном шлифовании / Н.В. Азарова, П.Г. Матюха, В.П. Цокур // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ. – 2009. – Вип. 6 (154). – С. 9-13. 6. Азарова Н.В. Математическая модель плоского врезного шлифования с вибрациями / Н.В. Азарова // Вестник двигателестроения. – Запорожье: ОАО «Мотор Сич». – 2005. – №1. – С. 119-123. 7. Байкалов А.К. Геометрические параметры стружки при шлифовании и притирке ЭВМ / А.К. Байкалов, Т.М. Волкова, Е.И. Вал // Синтетические алмазы. – 1972. – № 4. – С. 17-19.

*Поступила в редколлегию 14.06.2011*

**Bibliography (transliterated):** 1. Maslov E.N. Teorija shlifovanija materialov / E.N. Maslov. – M.: Mashinostroenie, 1974. – 316 s. 2. Huges F.H. Talking diamond grinding. Pat 5 / F.H. Huges // Tooling. – 1978. – Feb. 3-21. 3. Lur'e G.B. Ustrojstvo shlifoval'nyh stankov / G.B. Lur'e, V.N. Komisarzhvskaja. – M.: Vysshaja shkola, 1983. – 215 s. 4. Azarova N.V. Jeksperimental'noe opredelenie parametrov radial'nyh kolebanij shlifoval'nogo kruga, soprovozdajuwih process obrabotki / N.V. Azarova, V.A. Sidorov, V.P. Cokur // Nadijnist' instrumentu ta optimizacija tehnologichnih sistem: zb. nauk. prac'. – Kramators'k: DDMA. – 2011. – № 28. – S. 189-193. 5. Azarova N.V. Issledovanie parametrov struzhki pri ploskom almaznom shlifovanii / N.V. Azarova, P.G. Matjuha, V.P. Cokur // Naukovi prac'i Donec'kogo nacional'nogo tehnicnogo universitetu. Serija: Mashinobuduvannja i mashinoznavstvo. – Donec'k: DonNTU. – 2009. – Vip. 6 (154). – S. 9-13. 6. Azarova N.V. Matematicheskaja model' ploskogo vreznoho shlifovanija s vibracijami / N.V. Azarova // Vestnik dvigatelestroenija. – Zaporozh'e: OAO «Motor Sich». – 2005. – №1. – S. 119-123. 7. Bajkalov A.K. Geometricheskie parametry struzhki pri shlifovanii i pritirke JeVM / A.K. Bajkalov, T.M. Volkova, E.I. Val // Sinteticheskie almazny. – 1972. – № 4. – S. 17-19.

УДК 621.91

Ю.Н. Внуков, д-р техн. наук, Н.В. Гончар,  
Э.В. Кондратюк, канд. техн. наук, Д.Н. Степанов, Запорожье, Украина

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНО-АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОСТРЫХ КРОМОК ПАЗОВ ТИПА «ЛАСТОЧКИН ХВОСТ»**

*Запропоновано методи зниження ступеня впливу конструктивних та технологічних концентраторів напружень в небезпечному перерізі міжпазових виступів дисків компресорів з пазами типу «ласточкин хвіст» з жароміцних сплавів на фінішному етапі їх виготовлення. Застосування інструментів на основі полімерно-абразивних волокон та подальших зміцнюючих операцій зменшує концентрацію напружень в ободовій частині дисків в 2 рази.*

*Предложены методы уменьшения степени влияния конструктивных и технологических концентраторов напряжений в опасном сечении межпазовых выступов дисков компрессоров с пазами типа «ласточкин хвост» из жаропрочных сплавов на финишном этапе их изготовления. Применение инструментов на основе полимерно-абразивных волокон и последующих упрочняющих операций снижает концентрацию напряжений в ободной части дисков в 2 раза.*

JU.N. VNUKOV, N.V. GONCHAR, JE.V. KONDRATJUK, D.N. STEPANOV  
APPLICATION OF POLYMER-ABRASIVE TOOLS FOR PROCESSING SHARP EDGES OF GROOVES OF TYPE «DOVETAIL»

*The technological methods to decrease influence of constructive and technological stress concentrators in dangerous cross-section interslot ledges of compressor disks with the dovetail slots from superalloys at the finishing stage of making was offered. Application of cutting tools on the basis of polymer-abrasive fibers and subsequent hardening operations decreases the stress concentration of the disk rim parts by 2 times.*

Одной из основных задач современного авиадвигателестроения является обеспечение прочности и надежности высоконагруженных деталей, ограничивающих ресурс работы газотурбинных двигателей (ГТД). При этом из-за непрерывно возрастающих требований к экономичности и массе двигателей, детали становятся все более тонкостенными и сложнопрофильными. Особый интерес представляют собой диски компрессоров ГТД с пазами типа «ласточкин хвост», имеющие сложную конструктивную форму ободной части, работающие в условиях знакопеременных нагрузок и повышенных температур. Анализ отказов показал, что основной причиной является усталостное разрушение, при чем зарождение усталостных трещин происходит преимущественно в остром углу основания межпазовых выступов (МПВ), которые являются конструктивным концентратором напряжений [1].

Жаропрочные сплавы на никелевой и титановой основе, из которых изготавливаются диски компрессоров ГТД, имеют высокие характеристики прочности и способны сохранять их при длительной эксплуатации в условиях высоких температур, но являются чувствительными к концентрации напряжений. Уменьшение влияния концентраторов является актуальной задачей,

которую можно решить на финишном этапе технологического процесса изготовления дисков компрессора.

Основными параметрами, влияющими на величину конструктивной концентрации напряжений в основании МПВ [2], являются размеры и стабильность таких конструктивных элементов пазов типа «ласточкин хвост», как «выкружка» радиусом  $R$  и фаска шириной  $f$  (рис. 1,б).

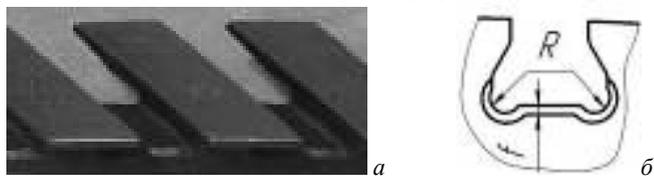


Рисунок 1 – Ободная часть диска (а) и паз типа «ласточкин хвост» (б)

Как отмечено авторами в работах [1,5], для деталей такого типа особую актуальность при уменьшении концентрации напряжений приобретает условия притупления кромок. В работах [2,6] были просчитаны напряжения, возникающие в зоне концентратора при различных геометрических формах опасного сечения у основания МПВ, определены рациональные величины  $R$  и  $f$  и установлено, что замена фаски  $f$  радиусом скругления  $r$  такой же величины уменьшает конструктивный коэффициент напряжений  $K_\sigma$  в 2 раза.

Целью данной работы являлся поиск и апробация способа удаления заусенцев после протягивания и скругления острых кромок в пазах типа «ласточкин хвост» для снижения концентрации напряжений путем получения радиусов скругления рациональной величины и благоприятного микрорельефа поверхностей ободной части дисков компрессоров из жаропрочных сплавов на примере дисков VI и VII ступеней компрессора высокого давления ГТД, изготовленных из сплава на никелевой основе ЭИ698-ВД.

Ранее на производстве для удаления заусенцев и снятия острых кромок по контуру паза типа «ласточкин хвост» дисков компрессора применяли шнур, пропитанный пастой ГОИ (рис. 2,а), который обеспечивал формообразование радиуса скругления у основания МПВ [7]. Из-за высокой стоимости, низкой производительности и невозможности автоматизации процесса, его заменили слесарной операцией – снятием фаски зенковкой (рис. 2,б). Вращение инструмента обеспечивалось пневмоприводом, обход по контуру паза – вручную.

Данная операция длится более 2-х часов, так как количество пазов – 117 и диск обрабатывают с двух сторон. Значительная часть времени уходит на установку, снятие и проворот диска для обработки пазов следующего сектора, а также на частую смену инструмента, который быстро изнашивается из-за плохой обрабатываемости материала диска. После снятия заусенков и острых кромок диск подвергают отделочно-упрочняющей обработке в псевдожизненном слое абразива (ПСА). Как в первом (абразивным шнуром), так и во

втором (зенковкой) случае не удается обеспечить автоматизацию обработки и постоянство размеров радиуса скругления или фаски по контуру паза.

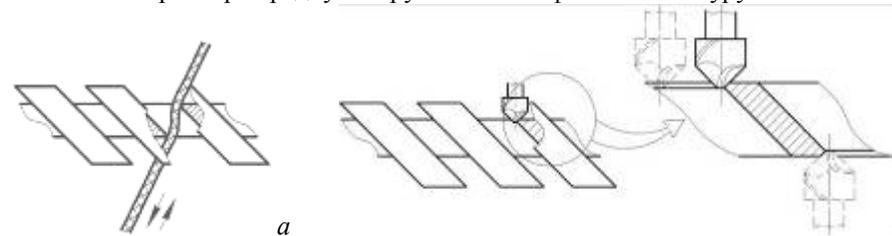


Рисунок 2 – Обработка кромок пазов шнуром (а) и зенковкой (б)

Для повышения производительности снятия заусенков и обработки кромок на поверхностях пазов ободной части диска была рассмотрена возможность применения инструментов на основе полимерно-абразивных волокон (ПАИ), они получили широкое применение для обдирки поверхностей от краски, ржавчины, нагара, окислов, старых покрытий, загрязнений с сохранением целостности первичного рельефа обрабатываемой детали.

ПАИ представляет собой щеточный инструмент вращательного действия (рис. 3, а, б, в), высокая эффективность работы которого достигается благодаря твердым и острым граням абразивных зерен, равномерно распределенных в массе очень гибкого и прочного волокна типа полиамидный корд (рис. 3,г), которое закреплено в ступице.

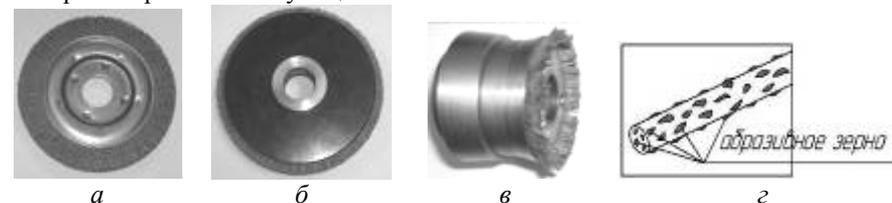


Рисунок 3 – Внешний вид применяемых в исследовании ПАИ: дисковый (а); дисковый с накладками (б); чашечный (в); полиамидное волокно с зерном абразива (г).

Важными свойствами ПАИ [8] являются:

- самозатачивание, так как в процессе притупления абразивного зерна и износа полимерной основы на смену приходят новые абразивные зерна;
- высокая упругость и гибкость – без опасности случайного разрушения как детали так и инструмента;
- отсутствие эффекта «засаливания»;
- незначительное прижимное усилие;
- малое тепловыделение в процессе работы;
- пригодность для работ как в сухих, так и во влажных средах;
- устойчивость к воздействию слабых кислот и щелочей;
- возможность обработки фасонных профилей;

– высокая стойкость при оптимальных режимах работы.

Для обеспечения необходимого температурного режима обработки иногда необходимо применять охлаждающие жидкости, так как при достижении определенной температуры в зоне обработки полимерная основа волокон может начать плавиться (в зависимости от типа полимера эта температура составляет 80...120 °С).

ПАИ обладает ещё одним важным преимуществом: отсутствием необходимости в точном взаимном расположении инструмента и обрабатываемых поверхностей, которое позволяет автоматизировать операции удаления заусенцев и закругление кромок сложнопрофильных деталей. При использовании жестких конструкций инструментов, в случае обработки деталей сложной формы требуется множество движений при точной последовательности и позиционировании, что делает автоматизацию процесса технически или экономически неприемлемой. При использовании ПАИ с гибкими волокнами в значительной степени снижаются требования к точности взаимного расположения детали и обрабатывающего инструмента, уменьшается сложность движений инструмента.

Выше перечисленные преимущества ПАИ дают возможность применения их для слесарной обработки заусенцев и острых кромок у пазов типа «ласточкин хвост» после протягивания, а также ее автоматизации для получения радиуса скругления требуемого размера. В настоящее время данный процесс недостаточно изучен, особенно в области обработки труднообрабатываемых жаропрочных сталей и сплавов.

Для оценки эффективности применения полимерно-абразивных инструментов использовали плоские лабораторные образцы 70×5,5×2 мм; оборудование – плоскошлифовальный станок; инструмент – дисковые ПАИ без и со специальными двусторонними накладками, регулирующими вылет волокон (рис. 3, а, б) и чашечный ПАИ (рис. 3, в) – со следующими характеристиками:

- наружный диаметр  $D$  дисковых ПАИ 120 мм; чашечных – 45 мм;
- вылет абразивного волокна  $L=5...21$  мм;
- материал абразива: электрокорунд нормальный 14А и карбид кремния 63С;
- диаметр  $d$  полимерного волокна 0,6 мм и 1,0 мм;
- зернистость абразива F280 и F90.

Перед обработкой для устранения радиального биения отдельных волокон, полимерно-абразивный инструмент, установленный на шпинделе станка, привели с помощью нагревательного элемента, закрепленного в специальном приспособлении (рис. 4). Можно получить любую форму рабочей поверхности ПАИ фасонного профиля, применяя нагревательный элемент с соответствующим профилем.

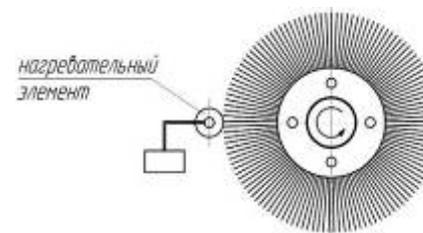


Рисунок 4 – Схема правки полимерно-абразивных инструментов

Для определения оптимальных характеристик инструмента и режимов резания (по условию максимальной производительности и минимальной шероховатости) была проведена обработка плоских образцов (рис. 5) при скоростях резания ( $V = 17...35$  м/с), подачах ( $S = 1...23$  м/мин), натягах ( $i = 1...5$  мм), количестве двойных ходов ( $n = 1...20$  дв.х.), с СОЖ и без СОЖ. Обработку жаропрочного сплава ЭИ698-ВД проводили на следующих режимах:

**Режим 1.** Обработка, требующая снятия дефектного слоя с большой производительностью:

- тип инструмента – дисковый ПАИ  $D=120$  мм,  $L=8$  мм,  $d=1$  мм, абразив 63С зернистостью F80;
- режимы обработки:  $S=1$  м/мин,  $V=17$  м/с,  $i=2$  мм,  $n=5...10$  дв.х., СОЖ – Аминил 2%.

**Режим 2.** Обработка поверхностей, имеющая целью полировальный эффект:

- тип инструмента – дисковый или чашечный ПАИ,  $L=20...22$  мм,  $d=0,6...1,0$  мм, абразив 14А (рекомендуемый) или 63С, F80...320;
- режимы обработки:  $S=1$  м/мин;  $V=17$  м/с,  $i=1$  мм,  $n=3...10$  дв.х., СОЖ – Аминил 2%.

Результаты исследований показали, что обработка ПАИ обеспечивает уменьшение значения  $Ra$  в зависимости от исходного значения от 1,6...3,2 мкм до 0,2...0,8 мкм.

Напряженно-деформированное состояние поверхностного слоя образцов после обработки полимерно-абразивными инструментами изменяется незначительно.

Степень поверхностного наклепа практически не зависит от выбранных режимов. Силовое воздействие волокон на поверхностный слой невелико, поэтому в данном случае наблюдается эффект «наследственности», где параметры поверхностного слоя формируются на предшествующих операциях. Увеличение наклепа на 2...7% вероятно происходит из-за многочисленных микроударов концов полимерно-абразивных волокон об поверхность при входе их в зону обработки.

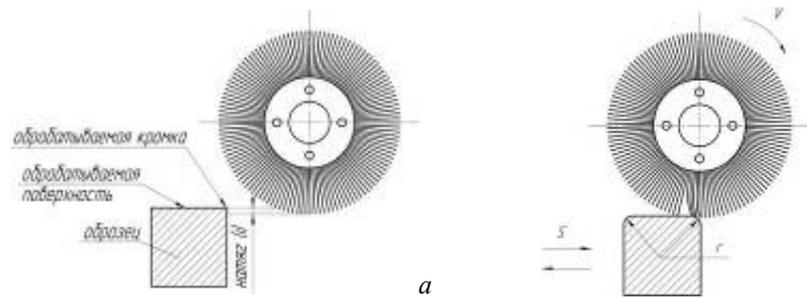


Рисунок 5 – Схема установки натяга дискового ПАИ (а); режимы обработки (б)

Также невелико влияние режимов обработки и параметров ПАИ на остаточные напряжения в поверхностном слое. Исследования показали изменение исходных остаточных напряжений после обработки на 25...75 МПа как в сторону растягивающих, так и сжимающих напряжений, в зависимости от выбранных режимов.

Следует отметить, что небольшое силовое воздействие ПАИ при обработке дает возможность улучшать шероховатость ранее упрочненных поверхностей без значительного изменения напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя. Исследовали распределения остаточных напряжений (рис. 6) четырех партий образцов где: две из них обработали УЗУ (упрочнение стальными шариками  $\varnothing 0,68$  мм в ультразвуковом поле), две – комплексно упрочнили (УЗУ стальными шариками + ПДУ – пневмодробеструйное упрочнение стеклянными микрошариками  $\varnothing 0,04...0,07$  мм) для получения значительных сжимающих остаточных напряжений. Оставив по одной партии каждой пары в качестве контрольных, остальные были обработаны ПАИ:

- партия 1. Обработка УЗУ;
- партия 2. Обработка УЗУ + ПАИ (режим 1);
- партия 3. Комплексное упрочнение (УЗУ + ПДУ);
- партия 4. Комплексное упрочнение (УЗУ + ПДУ) + ПАИ (режим 2).

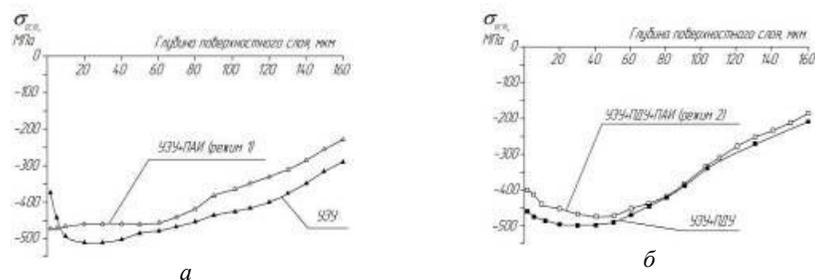


Рисунок 6 – Эпюры остаточных напряжений упрочненных образцов

Результаты исследования показали, что после обработки ПАИ поверхностей, которые предварительно подвергались УЗУ и комплексному упрочнению, происходит незначительное повышение уровня остаточных напряжений.

При обработке абразивно-полимерными щетками по режиму 1 за один проход снимается слой 2...3 мкм, за 5 проходов снимается 10...15 мкм – часто это слой с нестабильным напряженно-деформированным состоянием – пиками или резкими перепадами остаточных напряжений. В данном случае при применении режима 1 обработки ПАИ после УЗУ распределение сжимающих остаточных напряжений в поверхностном слое (рис. 6, а) становится более равномерным, что благоприятно сказывается на эксплуатационных свойствах поверхностного слоя.

Определив рациональные режимы обработки и параметры ПАИ для жаропрочного никелевого сплава ЭИ698-ВД, далее исследовали процесс обработки полимерно-абразивными инструментами межпазовых выступов дисков компрессора на натуральных образцах.

Формообразующей операцией получения паза «ласточкин хвост» с «выкружкой» радиусом  $R=0,6...0,8$  мм является протягивание комплектом из трех протяжек. При этом на выходе протяжки из паза образуются заусенцы, а на входе – острые кромки. При эксплуатации дисков компрессора в радиусе перехода паза «ласточкин хвост» и основания межпазового выступа зарождаются или создаются условия для зарождения усталостных микротрещин вследствие высокой концентрации напряжений и действия эксплуатационных нагрузок. Для продления ресурса диска (удаления слоя материала с микротрещинами, возникающими в эксплуатации, и уменьшения концентрации напряжений) после определенного периода работы, производится перепротягивание паза с образованием «выкружек» с радиусом перехода  $R=1...1,2$  мм. После данной операции также образуются острые кромки и заусенцы (рис. 7,а). Форма и размеры заусенцев различны. Их высота составляет от 0,2 до 0,5 мм. Наибольшей величины (0,5 мм) заусенцы достигают в остром углу у основания межпазового выступа.

Обработка дисковым полимерно-абразивным инструментом по режиму 1 обеспечивает высокую производительность удаления заусенцев. Вершина заусенцев удаляется за 3...4 дв.хода, а подошва заусенцев снимается за 5...10 дв.ход. В результате была получена чистая поверхность, без заусенцев, со слегка скругленными кромками. Величина их закругления составляла 0,2 мм, с неодинаковыми профилями, неравномерная по контуру. Таким образом, несмотря на быстрое удаление заусенцев, дисковый ПАИ не обеспечивает стабильного притупления острых кромок по всему периметру паза из-за затрудненного доступа волокон под козырьки межпазовых выступов.

Для обработки острых кромок в труднодоступных для дискового ПАИ местах пазов типа «ласточкин хвост» применили чашечный ПАИ (рис. 3,в). Во избежание контактов с выступающими козырьками межпазовых высту-

пов. Поверхность обработки наклонена под углом  $15^\circ$  к оси инструмента, что также обеспечивает отток тепла благодаря частичному контакту волокон с обрабатываемой поверхностью.

Обработка только чашечным ПАИ по режиму 1 требует большее количество ходов ( $n=20$  дв.ход.), т.к. имеет меньшую производительность, но при этом профиль кромок получается равномерным.



Рисунок 7 – Образец с заусенцами со стороны выхода протяжки после перепротягивания пазов (а) и после обработки последовательно дисковым и чашечным ПАИ (б)

Наиболее рациональным вариантом обработки кромок пазов типа «ласточкин хвост» после протягивания является последовательное применение дискового и чашечного ПАИ с реверсивным вращением инструментов при встречной подаче. Результатом является полное удаление заусенцев и стабильное скругление острых кромок, как донышка паза, так и в «выкружках» у основания межпазового выступа (рис. 7,б). В этом случае хорошо поддается обработке острая кромка верхней части паза (на выходе протяжки) в районе козырьков МПВ.

Измерения контура радиуса скругления в разных местах кромки паза – в остром и тупом углах у основания МПВ и в середине кромки дна всех обработанных пазов с двух сторон – проводили с помощью профилометра НОММЕЛ Т-8000. Радиусы скругления после обработки двумя типами ПАИ достигают величины 0,4...0,5 мм, что обеспечивает требования чертежа. Их контур – равномерный. Радиус скругления в угловых зонах (рис. 8,а) несколько меньше радиуса скругления у донышка паза (рис. 8,б) из-за меньшей плотности обрабатывающих полимерно-абразивных волокон, попадающих в труднодоступные места.

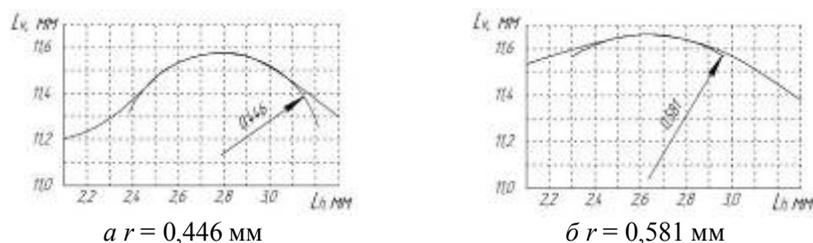


Рисунок 8 – Контур радиуса скругления кромок «выкружки» (а) и донышка (б) паза после последовательной обработки дисковым и чашечным ПАИ

Для получения полировального эффекта и уменьшения влияния технологических концентраторов напряжений после снятия заусенцев и скругления острых кромок можно использовать «мягкие» (менее жесткие) дисковые или чашечные инструменты с большим вылетом волокон 20...30 мм, а также ПАИ с меньшим диаметром волокон 0,6 мм.

Из-за невысоких требований к точности позиционирования ПАИ механизация данной операции обеспечивается при помощи несложного приспособления, позволяющего использовать несколько полимерно-абразивных инструментов. Изменением направлений вращения инструмента и диска, обеспечивается высокая производительность процесса (длительность операции составляет 20 мин) и стабильность качества обработки.

После формирования рациональной геометрии пазов применяют отделочно-упрочняющие операции УЗУ, ПДУ, имеющие целью получения благоприятных свойств поверхностного слоя (степени поверхностного наклепа и остаточных напряжений) [9]. Совместное влияние обработки ПАИ и последующее упрочнение позволяют обеспечивать высокую выносливость МПВ дисков.

Образцы из сплава ЭИ698-ВД с исходной шероховатостью  $Ra$  1,6 мкм обрабатывали дисковым ПАИ с режимом 1 и подвергли обработке УЗУ и ПДУ с рациональными режимами [9]. В табл. 1 приведены результаты исследований параметров шероховатости и технологической концентрации напряжений.

Таблица 1

№ п/п	Вариант технологии	Параметры шероховатости, мкм				$\alpha_{\sigma}^{mexh}$
		$Ra$	$S_m$	$\rho_m$	$t_m$	
1	ПАИ	0,16	10,15	21,76	0,33	1,04
2	ПАИ + УЗУ	0,82	12,12	42,24	1,57	1,14
3	ПАИ + ПДУ	0,57	9,12	16,64	1,18	1,19
4	ПАИ + УЗУ+ ПДУ	0,67	12,31	21,44	1,26	1,16

Технологическую концентрацию напряжений после различных механических операций оценивали с помощью коэффициента технологической концентрации напряжений  $\alpha_{\sigma}^{mexh}$  [3,4]:

$$\alpha_{\sigma}^{mexh} = 1 + 2\sqrt{\gamma(t_m / \rho_m)}, \quad (1)$$

где  $t_m$  – высота микронеровностей, мкм;  $\rho_m$  – радиус впадин микронеровностей, мкм;  $\gamma$  – коэффициент, учитывающий отношение высоты микронеровностей к шагу.

Результаты исследования показали, что ПАИ обеспечивает высокое качество отделочной обработки. При  $Ra = 0,16$  мкм наблюдается благоприятный микрорельеф с плавным профилем. Шероховатость несколько ухудшается после УЗУ, обработки шариками (стальными, стеклянными), из-за появления валиков и лунок, однако плавность микрорельефа сохраняется, что благоприятно сказывается на сопротивлении усталости образцов.

В пользу применения ПАИ говорит сравнение полученных (табл. 1) значений коэффициента технологической концентрации напряжений  $\alpha_\sigma = 1,04 \dots 1,09$  со значением  $\alpha_\sigma^{техн}$ , полученным после протягивания – 1,51, и после применения действующей технологии  $\alpha_\sigma^{техн} = 1,26$  [10].

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1) полимерно-абразивные инструменты разных конструкций могут быть эффективно использованы для финишной обработки сложнопрофильной ободной части дисков компрессора из жаропрочных сплавов, обеспечивая стабильность процесса и возможность механизации обработки;

2) обработку диска с целью удаления заусенцев после протягивания и скругления острых кромок по всему контуру пазов типа «ласточкин хвост» необходимо проводить последовательно дисковыми и чашечными полимерно-абразивными инструментами. Это позволяет обеспечить высокую производительность и качество обработки, так как стабильная величина радиуса скругления в опасном сечении (вместо фаски) более, чем в 2 раза уменьшает конструктивную и технологическую концентрацию напряжений в остром углу МПВ и положительно сказывается на напряженно-деформированном состоянии в зоне опасного сечения.

**Список использованных источников:** 1. Сахно А.Г., Яценко В.К., Гончар Н.В. «Оценка повреждающего воздействия концентраторов напряжений в межпазовых выступках дисков компрессора» // «Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні», - Запоріжжя, ЗДТУ, №1-2. – 1997, с.84-86. 2. Гончар Н.В., Павленко Д.В. и др. Исследование геометрических параметров пазов диска компрессора типа «ласточкин хвост» и определение их оптимального сочетания // Вестник двигателестроения, №1, 2007, с.60-65. 3. Богуслаев В.А., Яценко В.К., Пritchchenko В.Ф. Технологическое обеспечение и прогнозирование несущей способности деталей ГТД. – К: Манускрипт, – 1993. – 333с. 4. Гончар Н.В., Сахно А.Г. Влияние микроконцентраторов напряжений поверхности на выносливость дисков компрессора // Збірник наукових праць. Двигуни та енергоустановки. Випуск 30. Харків, ХАІ.– 2002.– С.97. 5. Гончар Н.В., Павленко Д.В. Оценка напряженно-деформированного состояния межпазовых выступов диска компрессора с пазами типа «ласточкин хвост» // Авиационно-космическая техника и технология, №8 (16), 2004, с.77-79. 6. Гончар Н.В., Павленко Д.В. и др. «Использование техники подмоделирования для оптимизации конструкции мелкоразмерных элементов деталей ГТД» // «Нові матеріали і технології в металургії та

машинобудуванні», - Запоріжжя, ЗНТУ, №2. – 2007, с.150-154. 7. Яценко В.К., Сахно А.Г. Оценка усталостной прочности межпазовых выступов дисков компрессора // Авиационно-промышленность. – 1990. – №11 – С. 24-26. 8. Абрашевич Ю.Д., Оглоблинский В.А., Оглоблинский А.В. Щеточные инструменты на основе полимерно-абразивных волокон // Мир техники и технологий. – Харьков, 2006. – №5. – С. 50-52. 9. Гончар Н.В. Павленко Д.В. и др. Технологические особенности комплексного упрочнения деталей ГТД / Н.В. Гончар, //Вестник двигателестроения. – 2006. – №1. – С.117-122. 10. Гончар Н.В., Степанов Д.Н. и др. Оценка качества поверхности образцов из никелевого сплава после обработки полимерно-абразивным инструментом // Авиационно-космическая техника и технология. – 2009. – №10/67 – С. 69-71.

Поступила в редколлегию 12.04.2011

**Bibliography (transliterated):** 1. Sahnо А.Г., Jacenko В.К., Gonchar N.V. «Ocenka povrezhdajuwegо vozdejstvija koncentratorov naprjazhenij v mezhfazovyh vystupah diskov kompressora» // «Novi materiali i tehnologii v metalurgii ta mashinobuduvanni», - Zaporizhzhja, ZDTU, №1-2. – 1997, s.84-86. 2. Gonchar N.V., Pavlenko D.V. i dr. Issledovanie geometricheskikh parametrov pazov diska kompressora tipa «lastochkin hvost» i opredelenie ih optimal'nogo sochetanija // Vestnik dvigatelestroenija, №1, 2007, s.60-65. 3. Boguslaev V.A., Jacenko V.K., Pritchchenko V.F. Tehnologicheskoe obespechenie i prognozirovanie nesuwej sposobnosti detalej GTD. K: Manuscript, 1993. 333s. 4. Gonchar N.V., Sahnо А.Г. Vlijanie mikrokoncentratorov naprjazhenij poverhnosti na vynoslivost' diskov kompressora // Zbirnik naukovih prac'. Dviguni ta energoustanovki. Vipusk 30. Harkiv, HAI. 2002.– S.97. 5. Gonchar N.V., Pavlenko D.V. Ocenka naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija mezhfazovyh vystupov diska kompressora s pazami tipa «lastochkin hvost» // Aviacionno-kosmicheskaja tehnika i tehnologija, №8 (16), 2004, s.77-79. 6. Gonchar N.V., Pavlenko D.V. i dr. «Iskol'zovanie tehniki podmodelirovanija dlja optimizacii konstrukcii me-lkorazmernih jelementov detalej GTD» // «Novi materiali i tehnologii v metalurgii ta mashinobuduvanni», - Zaporizhzhja, ZNTU, №2. – 2007, s.150-154. 7. Jacenko V.K., Sahnо А.Г. Ocenka ustalostnoj prochnosti mezhfazovyh vystupov diskov kompressora // Aviac. promyshlennost'. 1990. №11 S. 24-26. 8. Abrashevich Ju.D., Ogloblinskij V.A., Ogloblinskij A.V. Wetochnye instrumenty na osnove polimerno-abrazivnyh volokon // Mir tehniki i tehnologij. – Har'kov, 2006. №5. – S. 50-52. 9. Gonchar N.V. Pavlenko D.V. i dr. Tehnologicheskie osobennosti kom-pleksnogo uprochnenija detalej GTD / N.V. Gonchar, //Vestnik dvigatelestroenija. – 2006. – №1. – S.117-122. 10. Gonchar N.V., Stepanov D.N. i dr. Ocenka kachestva poverhnosti obrazcov iz nikelovogo splava posle obrabotki polimerno-abrazivnym instrumentom // Aviacionno-kosmicheskaja tehnika i tehnologija. 2009. №10/67 S. 69-71.