

Использование составленных моделей позволяет определять характеристики колебаний лопаток ГТД в процессе работы двигателя, что позволяет производить своевременную замену отработавших свой ресурс лопаток и существенно увеличить срок службы и надежность работы ГТД.

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ГТД

Скуратов Д.Л., Трусов В.Н.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Перспективным направлением абразивной обработки, способствующим снижению энергоемкости, повышению производительности, а также улучшению состояния поверхностного слоя деталей и, следовательно, увеличению их ресурса, является применение процессов прерывистого и электроабразивного шлифования.

Процесс прерывистого шлифования связан с использованием шлифовальных кругов с прерывистой режущей поверхностью, которые условно можно разделить на прерывистые, композиционные и комбинированные.

Энергоемкость процесса прерывистого шлифования исследовалась на универсальном круглошлифовальном станке модели 312М при круглом внутреннем шлифовании методом продольной подачи. Образцами являлись кольца, изготовленные из жаропрочной стали ЭП517-Ш и титанового сплава ВТ20. На этих же кольцах исследовались окружные остаточные напряжения.

Обработка колец из стали ЭП517-Ш велась сплошными, прерывистыми, составными композиционными и комбинированными кругами ПП 100х25х20 25А25М37К5, а колец из титанового сплава ВТ20 – сплошными и прерывистыми кругами ПП 100х25х20 63С25М36К5. Процесс шлифования колец из стали ЭП517-Ш осуществлялся на режимах:  $v_{кр} = 30$  м/с;  $v_{дет} = 27$  м/мин;  $S_{пр} = 0,5 \dots 1$  м/мин;  $S_{2х} = 2,5 \dots 7,5$  мкм/дв.ход. При обработке колец из титанового сплава ВТ20 скорость резания составляла  $v_{кр} = 34$  м/с, скорость детали  $v_{дет} = 32$  м/мин, продольная подача  $S_{пр} = 0,5$  м/мин, а поперечная подача ( $S_{2х}$ ) варьировалась в пределах от 2,5 до 10 мкм/дв.ход. В качестве СОЖ в обоих случаях использовался 5% содовый раствор.

Исследование показало, что удельный расход энергии и максимальные значения окружных растягивающих остаточных напряжений при шлифовании кругами с прерывистой режущей поверхностью на ука-

занных выше режимах, в среднем, соответственно на 15% и 18% меньше, чем при шлифовании кругами со сплошной рабочей поверхностью. Причем с возрастанием интенсивности процесса резания, то есть с увеличением поперечной и продольной подач, снижение удельного расхода энергии достигает 30...40%. Это обусловлено, на наш взгляд, уменьшением энергии, затрачиваемой на преодоление сил трения абразивных зерен по обрабатываемой поверхности.

Исследование энергоемкости электроабразивной обработки осуществлялось на модернизированном полуавтомате SWAIGL – 200 при круглом внутреннем шлифовании методом поперечной подачи. Для исследования круглого внутреннего электроабразивного шлифования использовались безбортовые кольца подшипника 7AB1032920P3 из теплостойкой стали ЭИ347-Ш и кольца с аналогичными размерами из жаропрочного титанового сплава BT9. На этих же кольцах исследовались окружные остаточные напряжения.

В качестве инструмента для круглого внутреннего шлифования колец из стали ЭИ347-Ш и титанового сплава BT9 использовались сборные композиционные круги ПП 100х32х20, состоящие из восьми чередующихся, одинаковых по размеру абразивных и токопроводящих сегментов, закрепленных в металлическом корпусе. Абразивные сегменты кругов, предназначенных для обработки стали ЭИ347-Ш и титанового сплава BT9, имели соответственно характеристики 24A16CM17K7 и 63C25BCM17K8. В связи с тем, что в процессе исследования сопоставлялся удельный расход энергии при обычном и электроабразивном шлифовании колец, выполненных из стали ЭИ347-Ш, размеры абразивного инструмента, характеристика сплошных кругов и сегментов композиционных кругов, а также режимы резания при обоих видах обработки были одинаковыми.

Процесс шлифования колец из стали ЭИ347-Ш и титанового сплава BT9 осуществлялся на режимах:  $v_{кр} = 28$  м/с;  $v_{дет} = 120$  м/мин;  $S_{поп} = 2...7$  мкм/с. Напряжение технологического тока при электроабразивном шлифовании стали ЭИ347-Ш и титанового сплава BT9 имело значения соответственно 13 В и 16 В.

Результаты исследования удельного расхода энергии при круглом внутреннем обычном и электроабразивном шлифовании колец из стали ЭИ347-Ш показали, что удельный расход энергии при электроабразивном шлифовании, когда значения подач находятся в пределах от 2,5 до 3,5 мкм/с, примерно на 40% меньше, чем при обычном абразивном шлифовании. Причем при обычном абразивном шлифовании стали ЭИ347-Ш удельный расход энергии с ростом поперечной подачи с 2,5 до 5,5 мкм/с уменьшился на 40%, то есть характер изменения удельного расхода энергии от поперечной подачи достаточно хорошо коррелирует с результата-

ми исследований, полученными при обычном шлифовании стали ЭП517-Ш и титанового сплава ВТ20.

Иной характер имеет данная зависимость при электроабразивном шлифовании. Так, при электроабразивном шлифовании стали ЭИ347-Ш с ростом поперечной подачи от 2,5 до 3,5 мкм/с удельный расход энергии шлифования вначале незначительно уменьшается, а затем с увеличением подачи до 7,0 мкм/с – возрастает. Это, на наш взгляд, связано с изменением соотношения электрохимического и механического съема в сторону увеличения последнего. Справедливость сделанного заключения подтверждает тот факт, что с ростом поперечной подачи удельные расходы энергии при обычном и электроабразивном шлифовании приближаются друг к другу и при  $S_n = 5,5$  мкм/с отличаются всего лишь на 16%. При электроабразивном шлифовании стали ЭИ347-Ш минимальный удельный расход энергии имеет место при  $S_n = 3,5$  мкм/с. По-видимому, при этой подаче обеспечиваются оптимальные соотношения электрохимического и механического съемов припуска. При круглом внутреннем врезном электроабразивном шлифовании колец из титанового сплава ВТ9 удельный расход энергии примерно в 3,1...3,8 раза меньше, чем при обработке колец из стали ЭИ347-Ш, а зависимость удельного расхода энергии от поперечной подачи не имеет экстремума.

При электроабразивном шлифовании стали ЭИ347-Ш с увеличением поперечной подачи с 4 до 7 мкм/с сжимающие окружные остаточные напряжения переходят в растягивающие, не превышающие 300 МПа с максимумом, располагающимся на глубине 10...20 мкм. Сопоставление величин окружных остаточных напряжений, полученных после электроабразивного шлифования стали ЭИ347-Ш, с остаточными напряжениями, формирующимися в поверхностном слое после обычного абразивного шлифования, показывает, что в первом случае имеют место преимущественно сжимающие остаточные напряжения, тогда как для второго случая наблюдаются в основном растягивающие остаточные напряжения, достигающие при  $S_{\text{пол}} = 3,3$  мкм/с 870...900 МПа.

При электроабразивной обработке титанового сплава ВТ9 максимальные значения окружных остаточных напряжений находятся под поверхностью на глубине 3...5 мкм. Причем увеличение поперечной подачи от 2,5 до 7 мкм/с приводит к переходу сжимающих остаточных напряжений (-200 МПа) в растягивающие, величина которых не превышает 300 МПа.

Таким образом, результаты исследования показали, что процессы прерывистого и электроабразивного шлифования имеют заметное преимущество перед обычным шлифованием и могут рассматриваться как энергосберегающие.