



ЗАПИСКИ АВАРИЙЩИКОВ

Ведущий серии:

Борис ШАФАРЕНКО, кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Окончание, начало в №4-2019

14. Разрушения форсунок камеры сгорания ТРД

Турбореактивные двигатели 2-3 поколений отличались значительным количеством отказов, обусловленных разрушениями деталей в горячей части двигателей (камера сгорания, турбина, форсажная камера). Детали в ее зонах находятся под воздействием одновременно множества переменных и статических нагрузок различных видов при высоком уровне рабочих температур. Особенностью конструирования камер сгорания являлось то, что широкое применение расчетных методов при создании деталей было невозможным из-за неустойчивых параметров фронта пламени и горения топлива на различных режимах работы двигателя.

Например, на исследование после летного происшествия поступили узлы и детали двигателя одного из передовых на то время самолета-истребителя. Как установила летающая лаборатория на месте происшествия, прогар корпуса и лопаток соплового аппарата турбины,

разрушение рабочих лопаток 2-й ступени турбины и последующий отказ двигателя явились следствием разрушения корпуса форсунки № 1 топливного коллектора основной камеры сгорания.

Исследованием поверхности излома установлено, что его строение и наличие множества трещин, распространяющихся параллельно основному разрушению, свидетельствуют о разрушении корпуса форсунки по механизму ползучести, то есть медленное, постепенное разрушение под действием нагрузки, превысившей прочность материала в условиях повышенных температур. Материал корпуса по содержанию легирующих элементов – жаропрочный сплав в соответствии с ТУ. Микроструктура материала корпуса вдали от места разрушения соответствует нормально термически обработанному сплаву заданной марки.

Дефектов металлургического происхождения в зоне

разрушения нет. Разрушение по механизму ползучести, как показывали материалы предыдущих исследований, могло произойти в результате длительного статического нагружения от затяжки гайки корпуса при повышенных температурах вследствие следующих причин:

- перезатяжки гайки корпуса;
- несоответствия геометрических размеров деталей требованиям чертежа, вызвавшего перекос внутреннего пакета и дополнительное нагружение буртика корпуса;
- наличия концентраторов напряжений в месте перехода к упорному буртику для установки внутреннего пакета деталей форсунки;
- перегрева торцевой части корпуса до температур, при которых происходит разупрочнение материала корпуса.

Проверка моментов затяжки гаек корпусов всех форсунок коллектора (за исключением форсунки № 1) показала, что они не превышают величин, допустимых по ТУ. Определить момент затяжки гайки форсунки № 1 ввиду разрушения корпуса не представилось возможным.

Однако состояние (отсутствие сильного смятия) и геометрические размеры нижнего уплотнительного кольца свидетельствуют, что величина момента затяжки гайки корпуса форсунки № 1 не превышала требований ТУ. Экспериментами было установлено, что при последовательной затяжке гаек корпусов форсунок моментами от минимальных до максимально возможных с последующим нагревом корпусов до температуры 750°C и выдержке при этой температуре в течение 40 минут, разрушения (появления трещин) корпусов не происходит.

Геометрические размеры деталей форсунки №1 не имели отклонений в размерах, которые могли бы привести к разрушению корпуса форсунки. В месте перехода цилиндрической поверхности корпуса в буртик по радиусу $d = 0,6$ мм на форсунках №№ 1, 2, 7 и 18 обнаружены подрезы материала глубиной до 0,02 мм, которые чертежом не допускаются. Однако, подрез такого типа не мог оказывать влияния на разрушение корпуса, так как расположен ниже поверхности разрушения.

Таким образом, на деталях форсунки № 1 не было выявлено недостатков, которые могли бы привести к разрушению корпуса. Однако имеющиеся отклонения от требований чертежа свидетельствовали о недостаточном качестве изготовления деталей.

Степень нагрева материала корпусов определялась методом измерения твердости. Твердость материала корпусов форсунок № 2 и № 18 отклонений от норм ТУ не имеет. Результаты измерения твердости материала корпуса форсунки № 1 вблизи излома показали, что при переходе от цилиндрической части корпуса к буртику установки внутреннего пакета деталей форсунки твердость материала резко уменьшается: от $Hv5 = 321...336$ кг/мм² до $151...159$ кг/мм² – в зоне максимального раскрытия трещины и до $260...262$ кг/мм² в зоне долома, при норме по ТУ $Hv5 = 256...328$ кг/мм² (Рис.2).

Снижение твердости ниже допустимых значений указывает на то, что буртик корпуса форсунки №1 нагревался значительно выше температуры начала разупрочнения

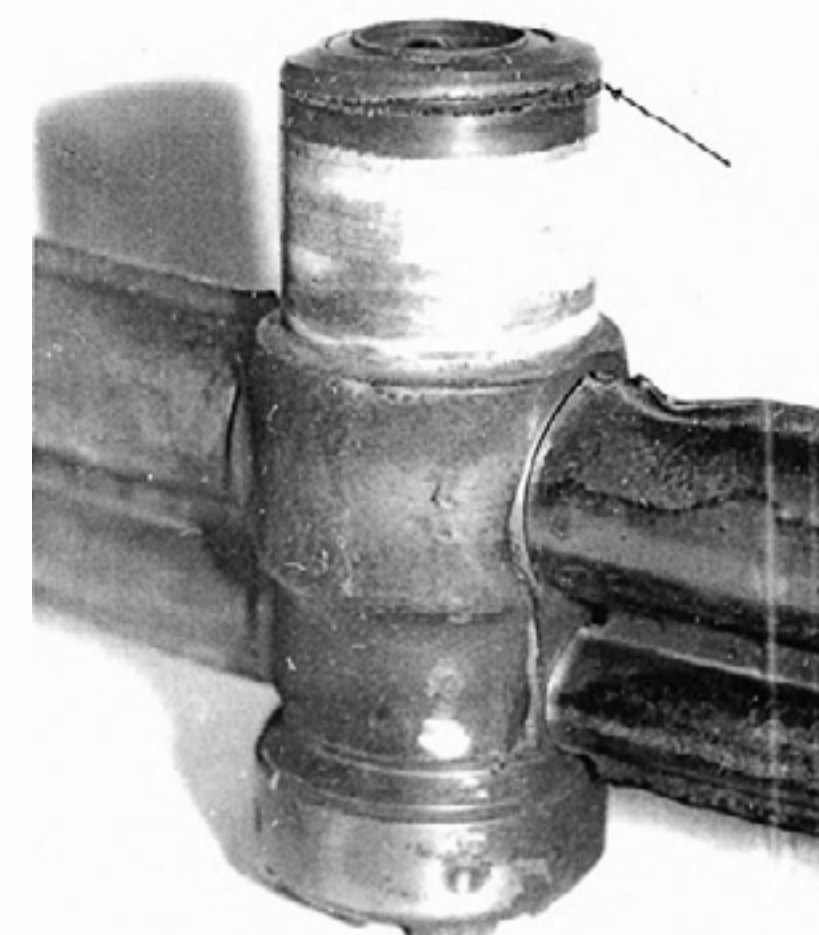


Рис.1. Вид разрушенной форсунки. Стрелкой показано место разрушения

материала форсунки.

Подобное изменение твердости и разупрочнение материала корпуса форсунки было зарегистрировано ранее при исследовании двигателей подобного типа на предприятии, где на корпусе форсунки № 3 в аналогичном месте образовалась сквозная трещина (глубиной 0,5 мм). В этом случае также наблюдалось резкое уменьшение твердости материала буртика до $193...213$ кг/мм² при нормальных ее значениях на цилиндрической части корпуса.

Резкое уменьшение твердости материала на буртике объясняется особенностями конструкции узла. Торцевая часть корпуса форсунки выступает в камеру сгорания на 4,7 мм (по ТУ) относительно торца втулки завихрителя жаровой трубы, поэтому наиболее нагретой частью форсунки оказывается упорный буртик, в то время как от средней части корпуса осуществляется теплоотвод через втулку и корпус завихрителя.

Сплав, используемый для изготовления форсунок, при нагреве материала до температуры порядка 800°C с последующей выдержкой в течение длительного времени (до 150 ч), не показывает уменьшения твердости менее норм ТУ. При нагреве материала до температуры 850°C с выдержкой более 10 часов, происходит его разупрочнение со снижением твердости ниже норм ТУ. Скорость протекания процессов разрушения зависит от соотношения температуры нагрева корпуса форсунки и времени выдержки при этой температуре.

Анализ статистических данных по случаям разрушения