

О результатах исследования причины разрушения коленчатого вала двигателя МА-360-L2A с самолета Cessna 172 R «Синица – 7» RA-0826G

Заместитель директора ГЦ БП ВТ Авиарегистра России, А.А. Тушенцов
Начальник отдела металлофизических исследований авиационных материалов
Авиарегистра России, д.т.н. А.А. Шанявский
Начальник отделения А.П. Солдатенков
Начальник отделения М.А. Солдатенкова
Начальник отдела исследований аварийных и отказавших объектов
авиационной техники
С.В. Ростовцев

11.06.2024 на самолете Cessna 172 R «Синица – 7» RA-0826G при выполнении авиационных работ по лесопотрулированию в интересах ГОБУ «Мурманская авиабаза» в полете началась сильная вибрация двигателя, сопровождающаяся его нестабильной работой, на капоте появились следы моторного масла, с последующим закидыванием на лобовое стекло. Выполнена аварийная посадка на площадку, подобранную с воздуха.

В Авиарегистр России на исследование поступили коленчатый вал № LW 17230, противовес коленчатого вала № LW 72801, пальцы противовеса № LW 10977, 10945, стопорные шайбы противовеса № LW 71907, стопорные кольца пальцев противовеса № 14820, 4-й цилиндр в сборе № LW 12081, шатун № LW 171102, вкладыши коренные 13884Am03, SL11020m03 и вкладыши шатунные №13521 (рис. 1.) с двигателя МА-360-L2A в связи с инцидентом, произошедшим 11.06.2024 (выключение двигателя в полете).

Самолет Cessna 172 R «Синица – 7» RA-0826G (зав. № ЕЭВС.02.0262) ООО «АК «ЛАГГАР» выпуска 1996 Cessna aircraft, наработал с начала эксплуатации 2100 часов, 4500 посадок (согласно данным комиссии по расследованию).

Последний осмотр самолета выполнен в объеме 50 часов специалистами ООО «АК АГАТ» 03.06.2024 в месте временного базирования аэропорт Мурманск.

Двигатель Moonshine Aviation МА-360-L2A, заводской номер 032010-01, согласно данным комиссии наработал с начала эксплуатации 1707 часов. Двигатель установлен на ВС 25.04.2010. Данные о местонахождении двигателя и его наработке до 25.04.2010 отсутствуют.

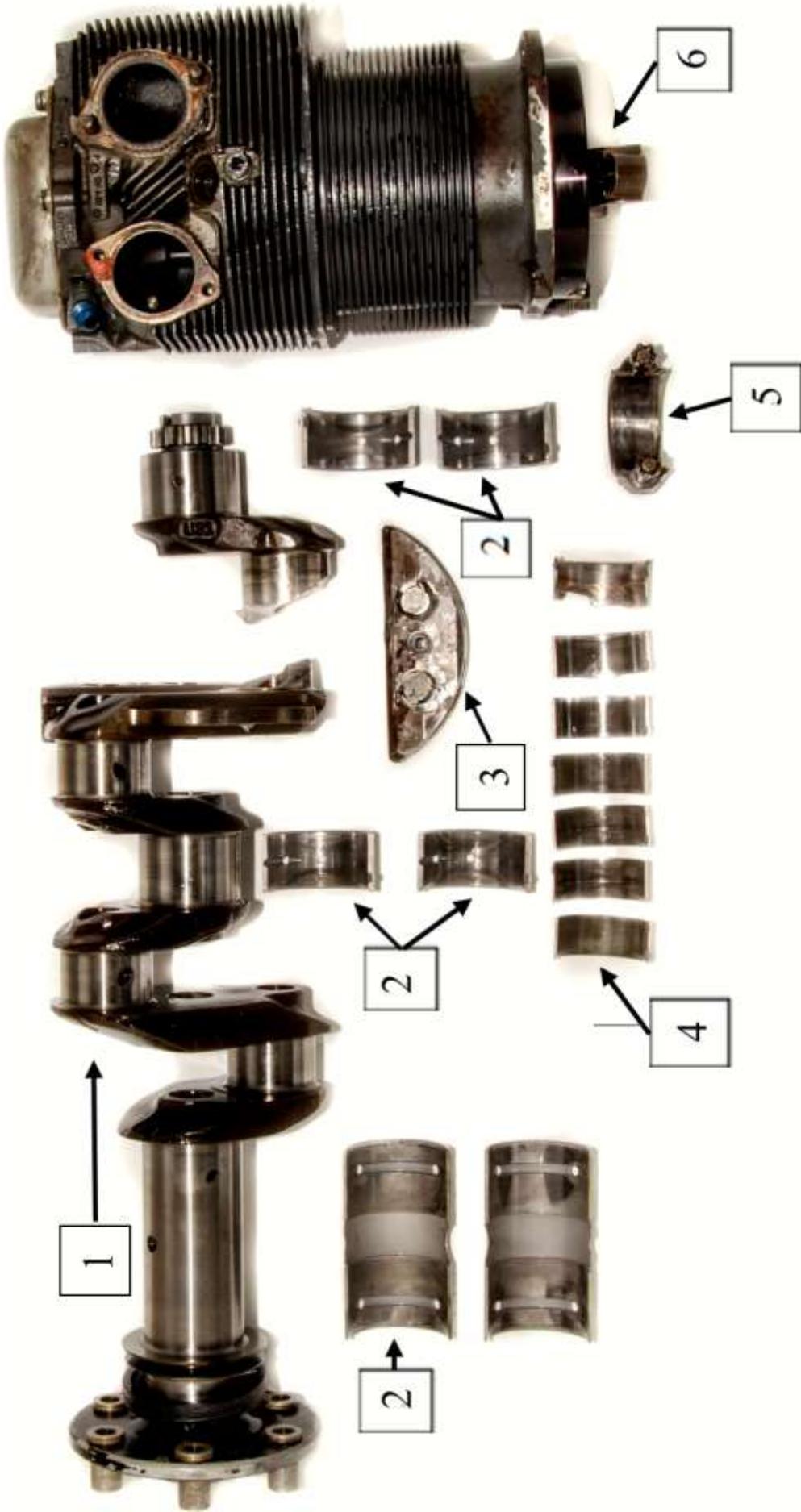


Рис. 1. Вид коленчатого вала при поступлении на исследование: 1 – коленчатый вал № LW 72801; 2- коренные вкладыши 13884Am03; 3 – шатунные вкладыши №13521; 5 - шатун № LW 171102; 6 – 4-й цилиндр в сборе.

Исследование проводилось с целью определения причины разрушения коленчатого вала № LW 72801 по методике, предусматривающей выполнение следующих работ:

- оценка технического состояния объектов;
- фрактографическое исследование коленчатого вала;
- комплекс металлофизических исследований материала коленчатого вала;
- анализ результатов проведенного исследования;
- формирование заключения.

Оценка технического состояния поступивших на исследование объектов показала, что все их повреждения носят вторичный характер и произошли после разрушения коленчатого вала.

Разрушение коленчатого вала (рис. 2) произошло по шатунной шейке 4-ого цилиндра в поперечном сечении, расположенном между маслоподводящими отверстиями (рис. 3). Коренные вкладыши находятся в удовлетворительном состоянии (рис. 4). Шатунные вкладыши трех шатунов в удовлетворительном техническом состоянии, один из вкладышей четвертого шатуна разрушен, второй – отсутствует (рис. 5). Признаки проворота коренных и шатунных вкладышей отсутствуют.

Коренные шейки коленчатого вала в удовлетворительном состоянии (рис. 6). Три шатунные шейки коленчатого вала находятся в удовлетворительном состоянии (рис 7).

Излом разрушенной шейки коленчатого имеет однородную шероховатость с отчетливо просматриваемыми полуэллиптическими линиями продвижения трещины и очагом зарождения трещины на рабочей поверхности с зоной перехода в долом с образованием скосов от пластической деформации, что указывает на усталостный характер разрушения (рис. 8).

Фрактографический анализ показал, что поверхность излома сильно затёрта, так что основные элементы рельефа плохо различимы. Тем не менее, вдоль края излома по радиусному переходу нет никаких признаков наличия геометрических или металлургических концентраторов напряжения (рис. 9).



Рис. 2. Вид отделившейся передней части шатунной шейки.

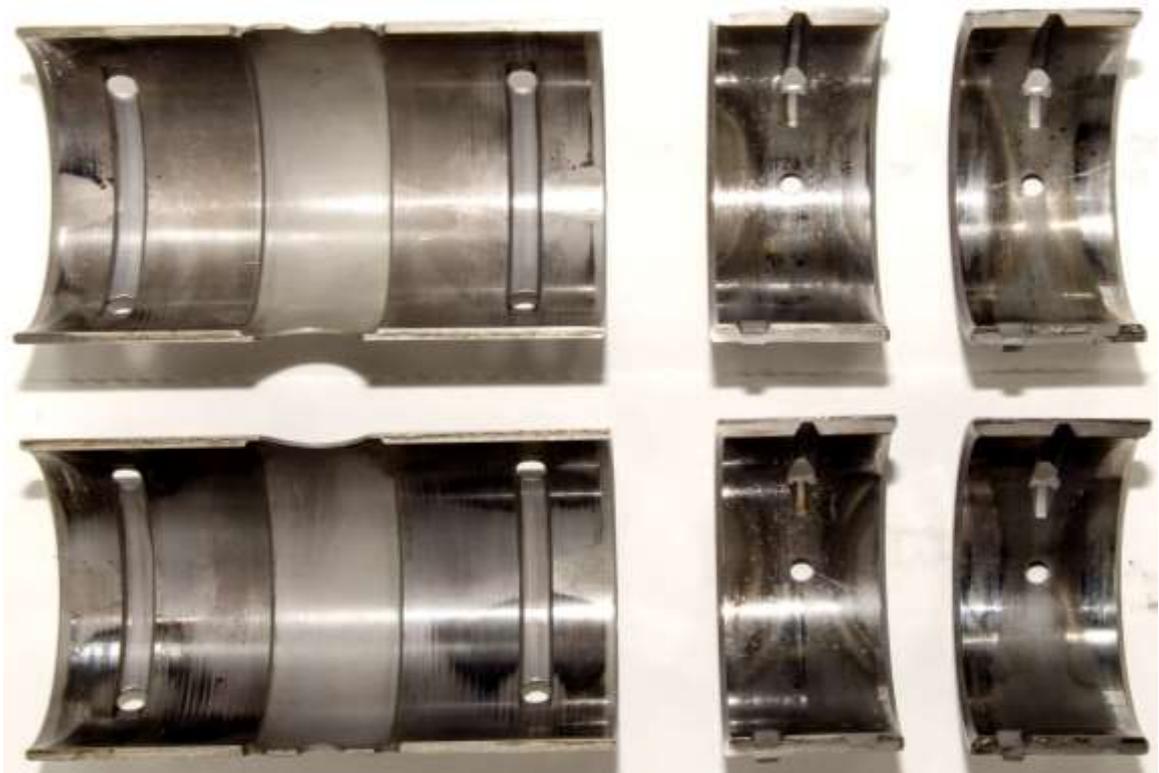


Рис. 3. Вид коренных вкладышей при поступлении на исследование.



Рис. 4. Вид шатунных вкладышей, стрелкой указан разрушенный четвертого шатуна.

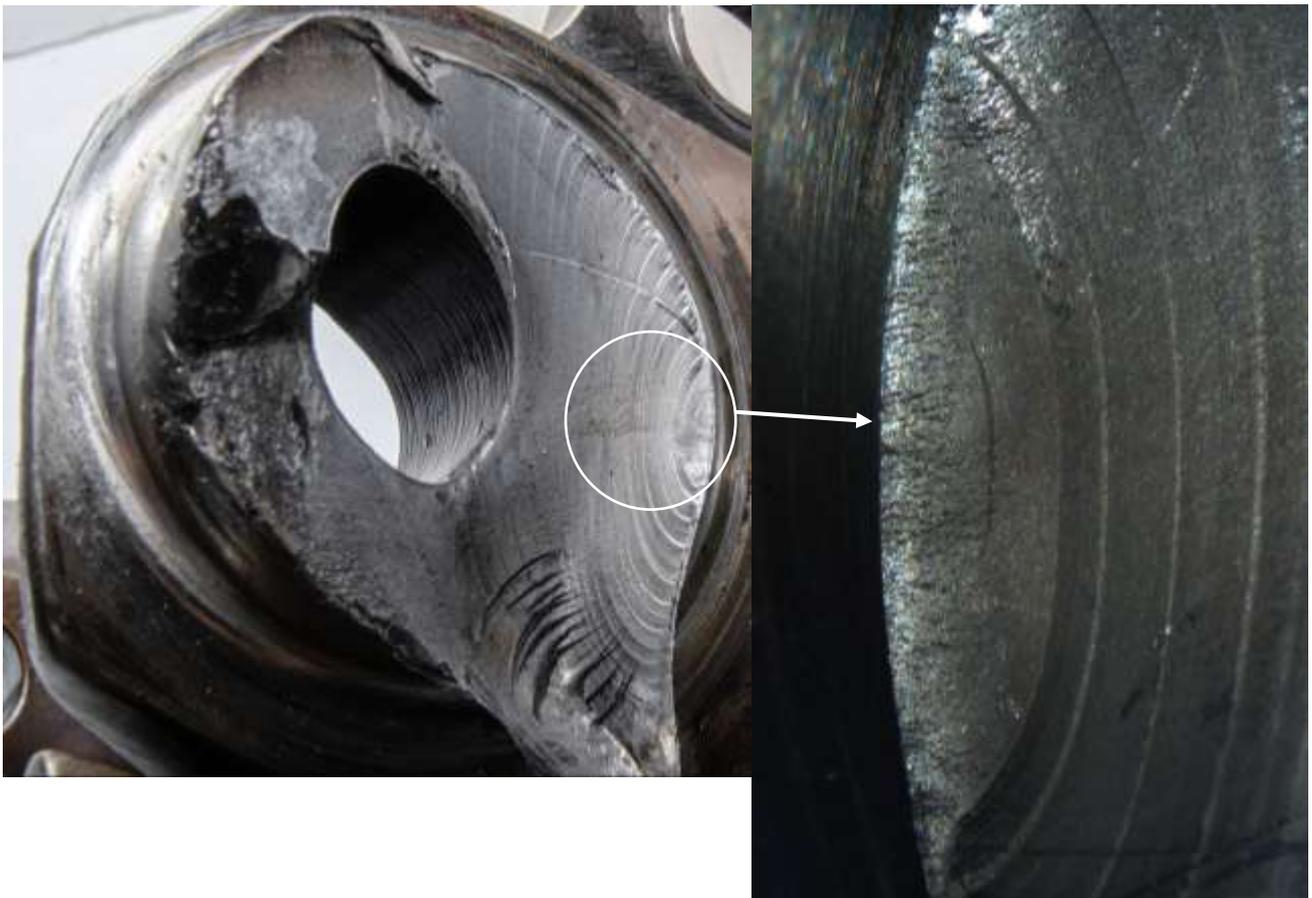


Рис. 5. Вид излома шейки коленчатого вала с указанием очага зарождения усталостной трещины.

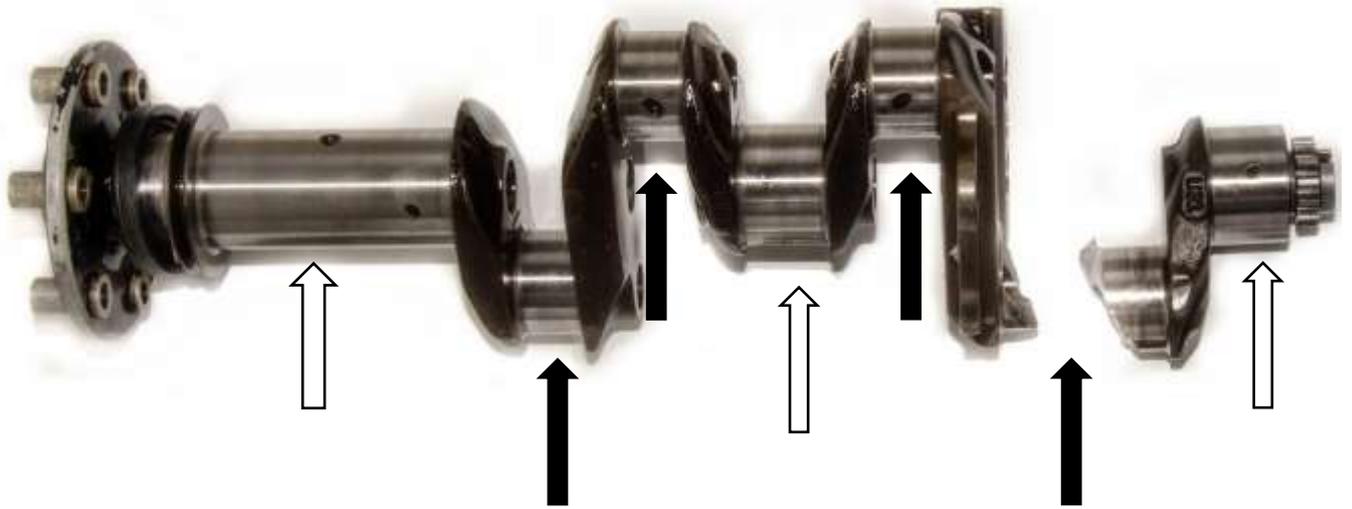
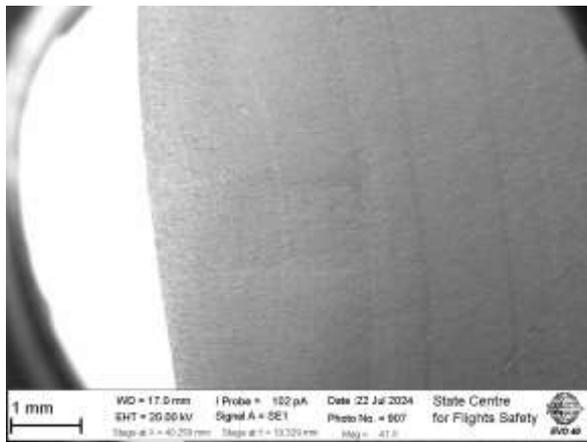
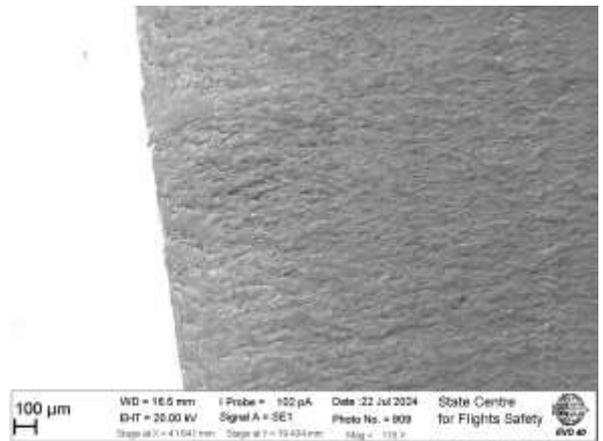


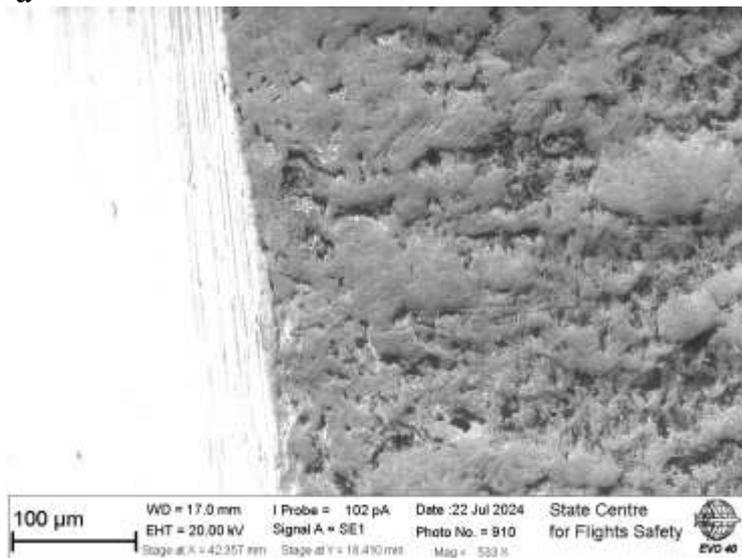
Рис. 6. Вид коренных (белые стрелки) и шатунных (черные стрелки) шеек коленчатого вала.



а



б



в

Рис. 9. Виды рельефа излома в зоне зарождения усталостной трещины (а) – (в) при разном увеличении микроскопа.

По направлению развития усталостной трещины в изломе сформирован каскад макро усталостных линий (рис. 10).

Далее расстояние между макролиниями резко возрастает, и их регулярное формирование происходит вплоть до зоны окончательного разрушения детали (рис. 11). Отсутствие выраженной зоны окончательного разрушения вала свидетельствует о том, что развитие трещины происходило в условиях снижающегося уровня напряжения. Такое поведение трещины реализуется в условиях изгиба.

Выявленное регулярное формирование макролиний указывает на регулярное (повторяющееся во времени) нагружение вала. Такое регулярное нагружение связано с повторяющимся циклом запуска и остановки поршневого двигателя. Поэтому количество наблюдаемых макролиний следует связывать с количеством циклов запуска и остановки двигателя.

Проведённый подсчёт макролиний показал, что развитие усталостной трещины происходило в течение не менее 81 цикла запуска и остановки двигателя.

Полуколичественный спектральный анализ материала коленчатого вала показал, что вал изготовлен из среднелегированной стали которая по содержанию легирующих элементов никеля, хрома, марганца, молибдена и кремния относится к среднелегированной стали типа ХНМА.

Измерения твердости материала коленчатого вала показало, что фактическое значение твердости составляет 39,5 HRC, что с учетом погрешности измерений соответствует стали типа ХНМА.

Металлографическим анализом материала коленчатого вала установлено, что его микроструктура в сердцевине удовлетворительная (рис. 12) и характерна для термообработанного материала, из которого изготовлен коленчатый вал. Микроструктура вблизи рабочей поверхности разрушенной шатунной шейки видоизменена (рис. 13а) без признаков перегрева, что характерно для длительной работы пары трения. Зона перехода микроструктур представлена на рисунке 13б.

Анализ результатов проведенного исследования показал, что разрушение коленчатого вала реализовано в области многоциклового усталости в материале, не имевшем концентраторов напряжения.

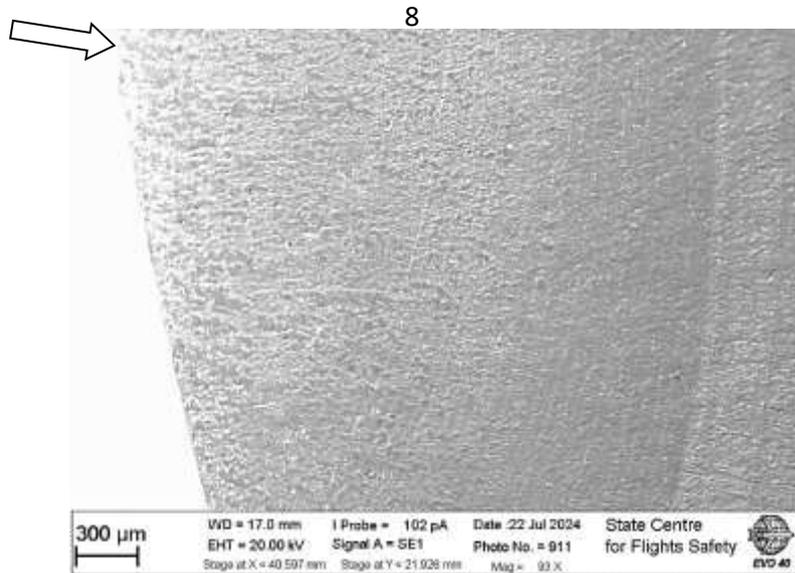


Рис. 10. Вид макролиний усталостного разрушения, сформированных на начальном этапе роста трещины около зоны зарождения трещины (указана стрелкой).

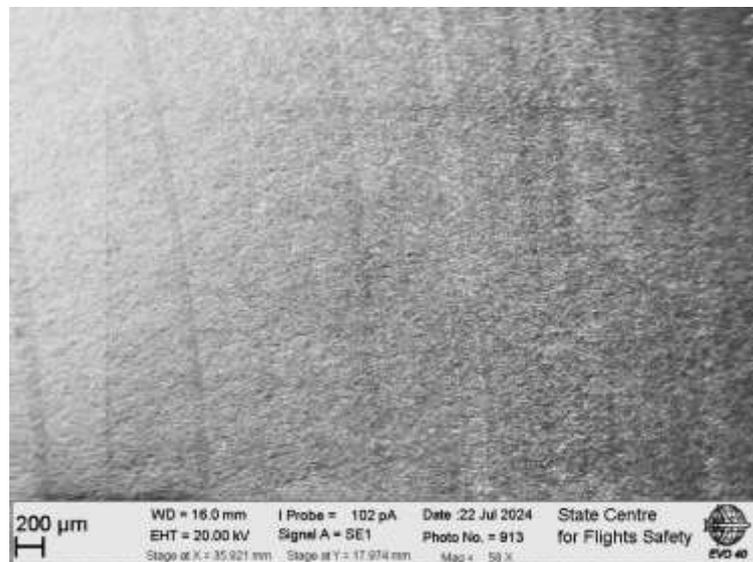
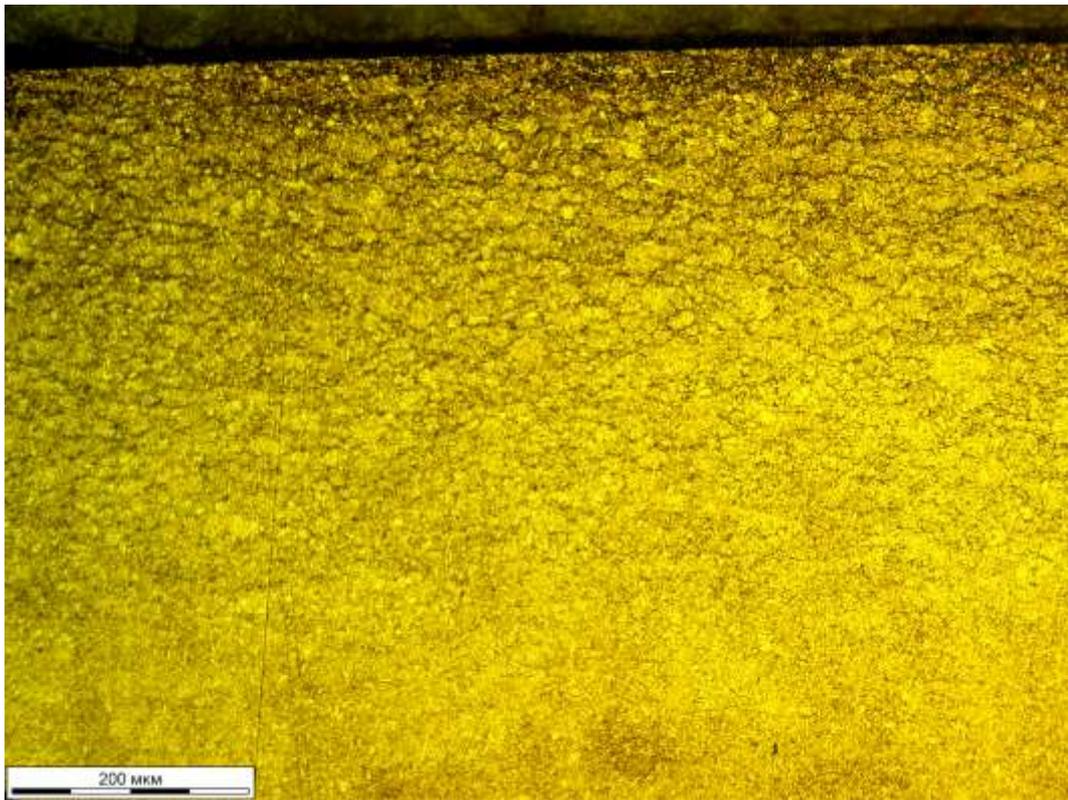


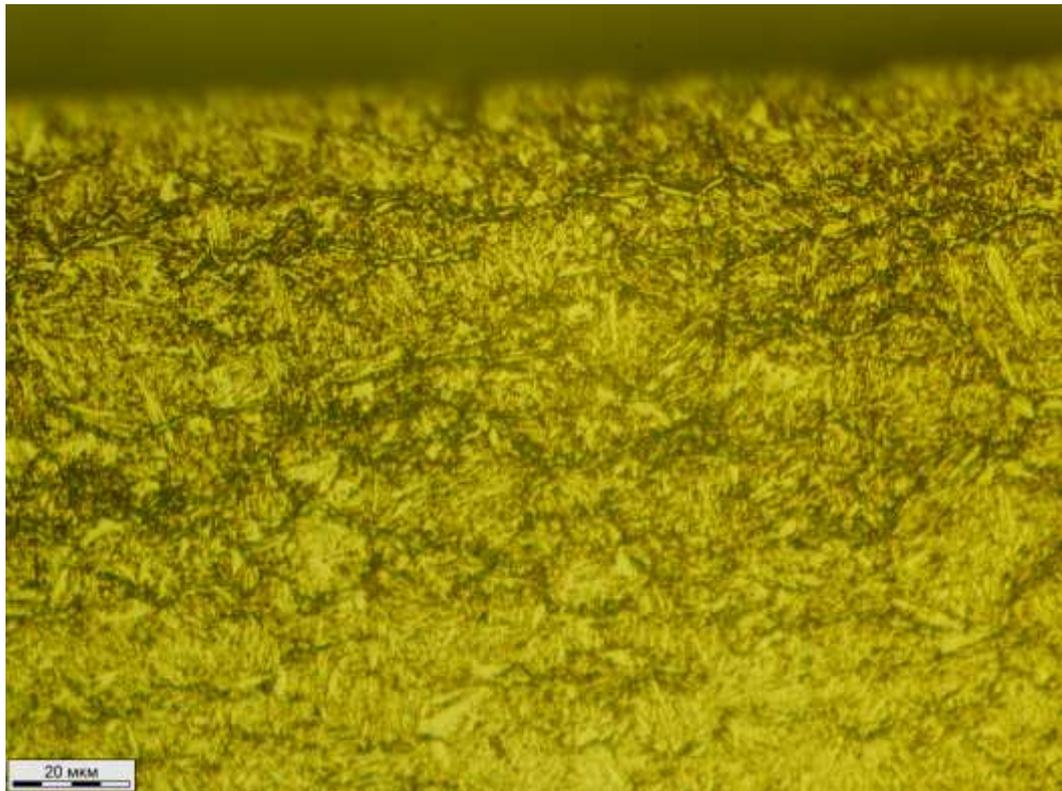
Рис. 11. Вид макролиний усталостного разрушения коленчатого вала на удалении от зоны зарождения усталостного разрушения.



Рис. 12. Вид микроструктуры основного материала коленчатого вала.



а



б

Рис. 13. Виды (а, б) микроструктуры материала коленчатого вала: а– вблизи рабочей поверхности, б – зона перехода.

Указанный вид разрушения с отсутствием концентраторов напряжения и отсутствием проворота шатунных вкладышей указывает на достижение материалом своего предельного состояния.

Длительность распространения усталостной трещины составила около 81 цикла запуска и остановки двигателя.

По результатам проведенного исследования сделано заключение о том, что разрушение коленчатого вала LW 10977 двигателя MA-360-L2A с самолета Cessna 172 R «Синица – 7» RA-0826G реализовано в области многоциклового усталости в материале, не имевшем концентраторов напряжения. Указанный вид разрушения с отсутствием концентраторов напряжения и проворота шатунных вкладышей указывает на достижение материалом своего предельного состояния.

Длительность распространения усталостной трещины составила не менее 81 цикла запуска и остановки двигателя (заключение от 29.08.2024 № 10391-И/103).