

О результатах исследования шкворня и стопорной пластины, оси крепления поворотной вилки колеса передней опоры шасси р/n D44-3223-10_03MOD самолета DA-40NG RA-02641

Заместитель директора ГЦ БП ВТ Авиареги́стра России, А.А.Тушенцов
Начальник отдела металлофизических исследований авиационных материалов
Авиареги́стра 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
Ведущий инженер М.А. Тарасова

12.08.2024 при выполнении учебно-тренировочного полета на аэродроме Солдатская Ташла после выполнения взлета самолета DA-40NG RA-02641 произошло отделение колеса от передней стойки шасси. После выработки топлива КВС взял управление на себя и осуществлял управление самолетом до полной его остановки. Самолет остановился по оси ИВПП. Длина пробега после касания ИВПП передней стойкой составила около 110 м, общая длина пробега – около 350 м.

В Авиареги́стр России на исследование поступил шкворень с разрушенной шпилькой, стопорная пластина, резиновые кольца и шайбы (4 шт.) оси крепления поворотной вилки колеса передней опоры шасси р/n D44-3223-10_03MOD.

Самолет DA40NG RA-02641 выпуска 06.08.2014 наработал с начала эксплуатации 4760 час 51 мин, 14026 посадок. Последнее периодическое ТО по форме - проверка через 100 часов выполнена 26.07.2024, наработка после последнего периодического ТО составила 50 час 55 мин, 154 посадки.

Шкворень оси крепления поворотной вилки колеса передней опоры шасси р/n D44-3223-10_03MOD первой категории установлен на самолет DA-40NG RA-02641 04.04.2023, наработка СНЭ – 1528 пос.

*

*

*

По сведениям исследовательской базы данных Авиареги́стра России случай разрушения шпильки шкворня оси крепления поворотной вилки колеса передней опоры шасси самолета типа DA-40NG отмечается впервые.

Исследование проводилось с целью определения характера и причины разрушения шпильки шкворня по методике, предусматривающей выполнение следующих работ:

- оценка технического состояния шкворня, шпильки, стопорной пластины, резиновых колец и шайб;
- фрактографическое исследование шпильки;
- комплекс металлофизических исследований материала шпильки;
- анализ результатов проведенного исследования;
- формирование заключения.

Оценка технического состояния поступившего на исследование шкворня показала.

Шкворень поступил на исследование с отделившейся шпилькой крепления поворотной вилки колеса передней опоры шасси (рис. 1). На шкворне в зоне разрушения шпильки присутствуют следы повреждения материала шкворня (см. рис. 1), наиболее вероятно, от касания ИВПП при посадке. На шкворне и отделившейся части шпильки коррозионные и механические повреждения отсутствуют, на резьбовой части шпильки, отделившейся от шкворня, навинчена самоконтрящаяся гайка.

Стопорная пластина имеет износы торцевых поверхностей со стороны, сопряженной с поворотной вилкой. Износы материала стопорной пластины расположены в ее центральной части у отверстия под шкворень и в пазе под установку резинового уплотнения (рис. 2). С обратной стороны стопорной пластины имеется износ материала пластины со следами фреттинг-коррозии от контакта с шайбой крепежного пакета (рис. 3). В квадратном отверстии под шкворень стопорной пластины имеется износ материала с его оттеснением в сторону колеса передней опоры (рис. 4).

Резиновое уплотнение стопорной пластины имеет износ и вырывы эластомера со стороны контакта со стопорной пластиной, по размеру совпадающие с размерами износа стопорной пластины (рис. 5, 6).

Резиновое уплотнение шкворня находится в удовлетворительном техническом состоянии (рис. 7).

Шайбы находятся в удовлетворительном техническом состоянии (рис. 8).



а

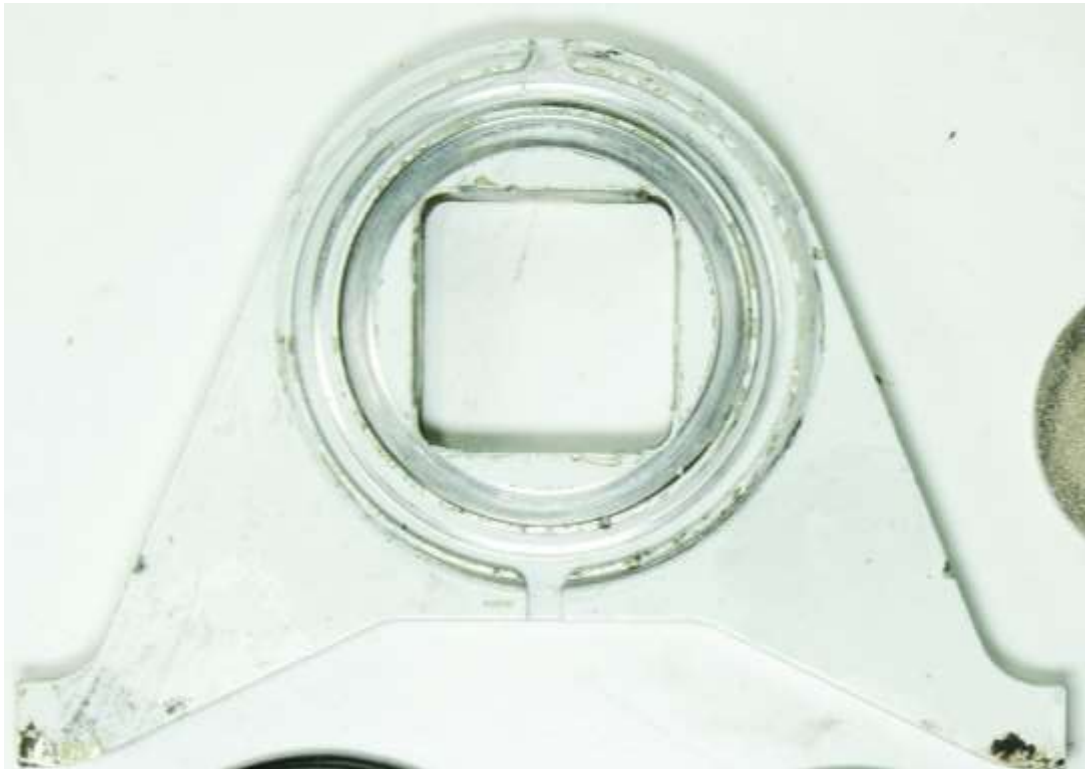


б



в

Рис. 1. Виды (а) шкворня и разрушенной шпильки, (б) стопорной пластины с резиновыми кольцами и шайбами, (в) шкворня в месте повреждения при поступлении на исследование. Стрелкой показано повреждения материала шкворня.

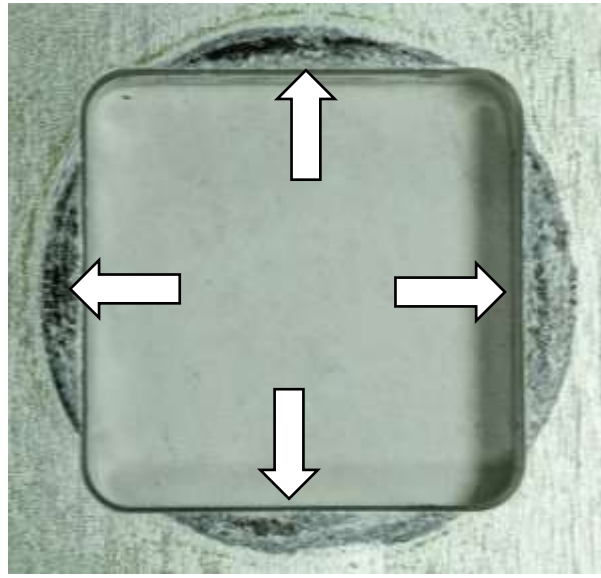


а

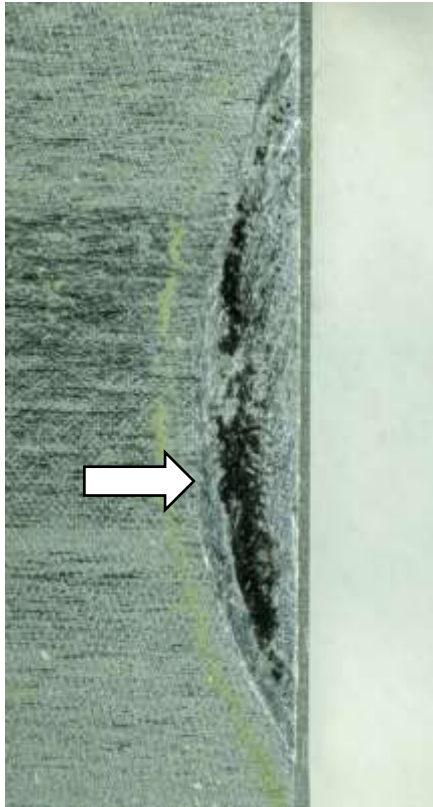


б

Рис. 2. Виды (а, б) стопорной пластины со стороны, сопряженной с поворотной вилкой при разном увеличении. Черной стрелкой показан износ у отверстия под шкворень, красной стрелкой износ в пазе под уплотнительное кольцо.



а

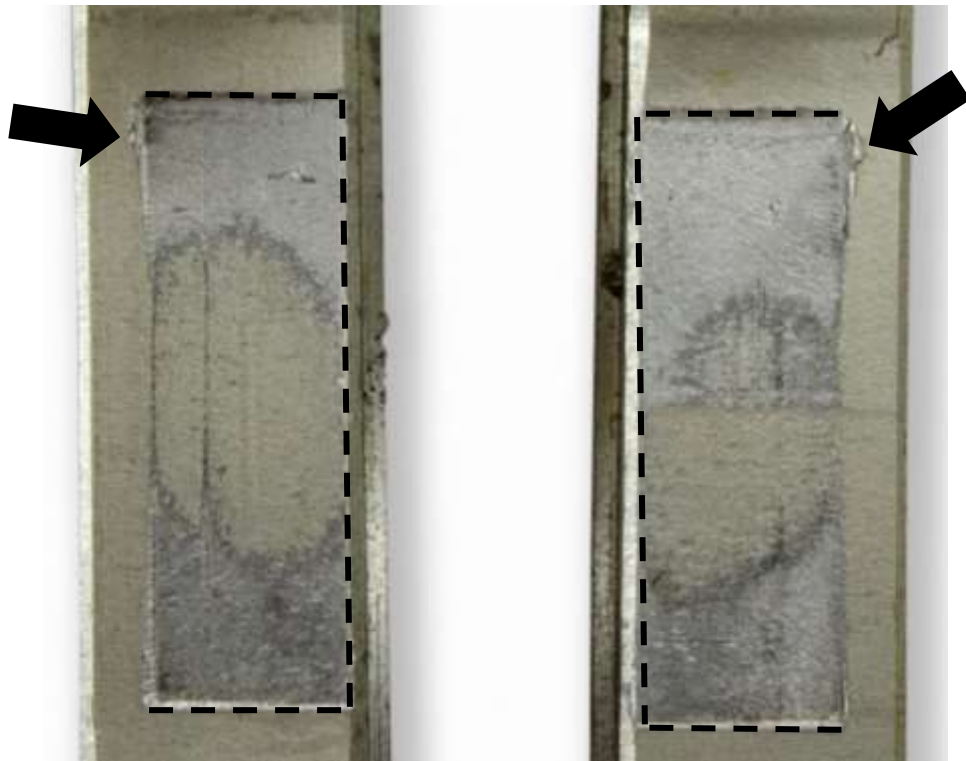


б



в

Рис. 3. Виды (а) износа материала пластины с ее нижней стороны со следами фреттинг-коррозии (показаны стрелками) и (б, в) при большем увеличении.



а

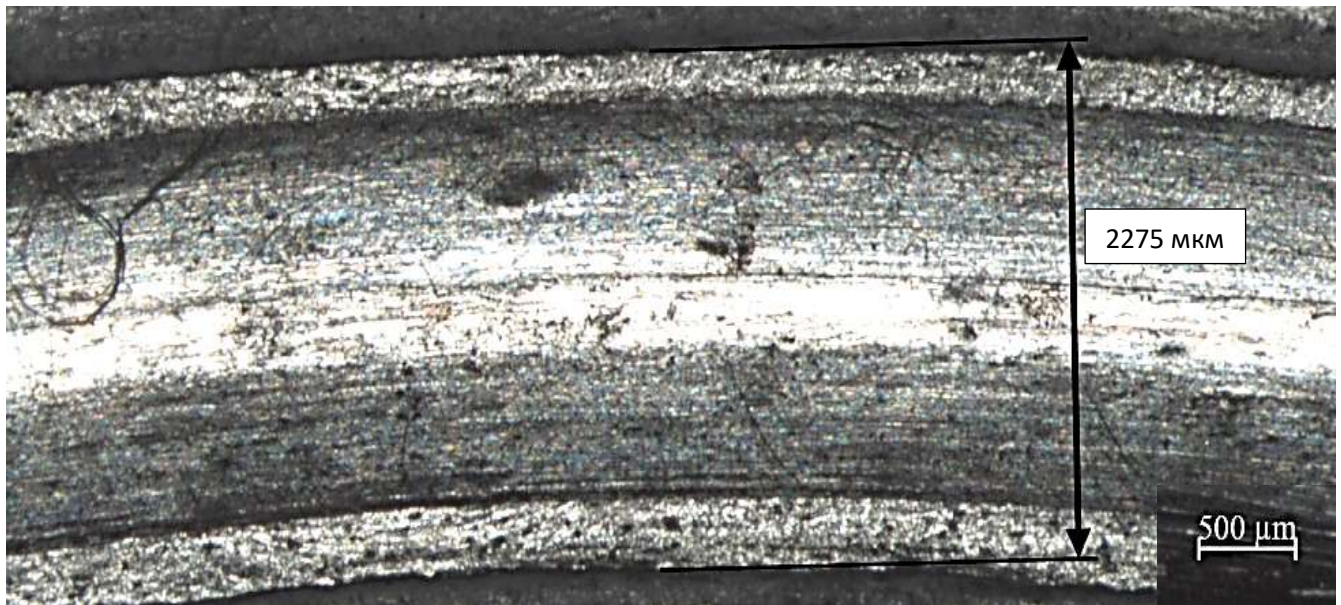


б

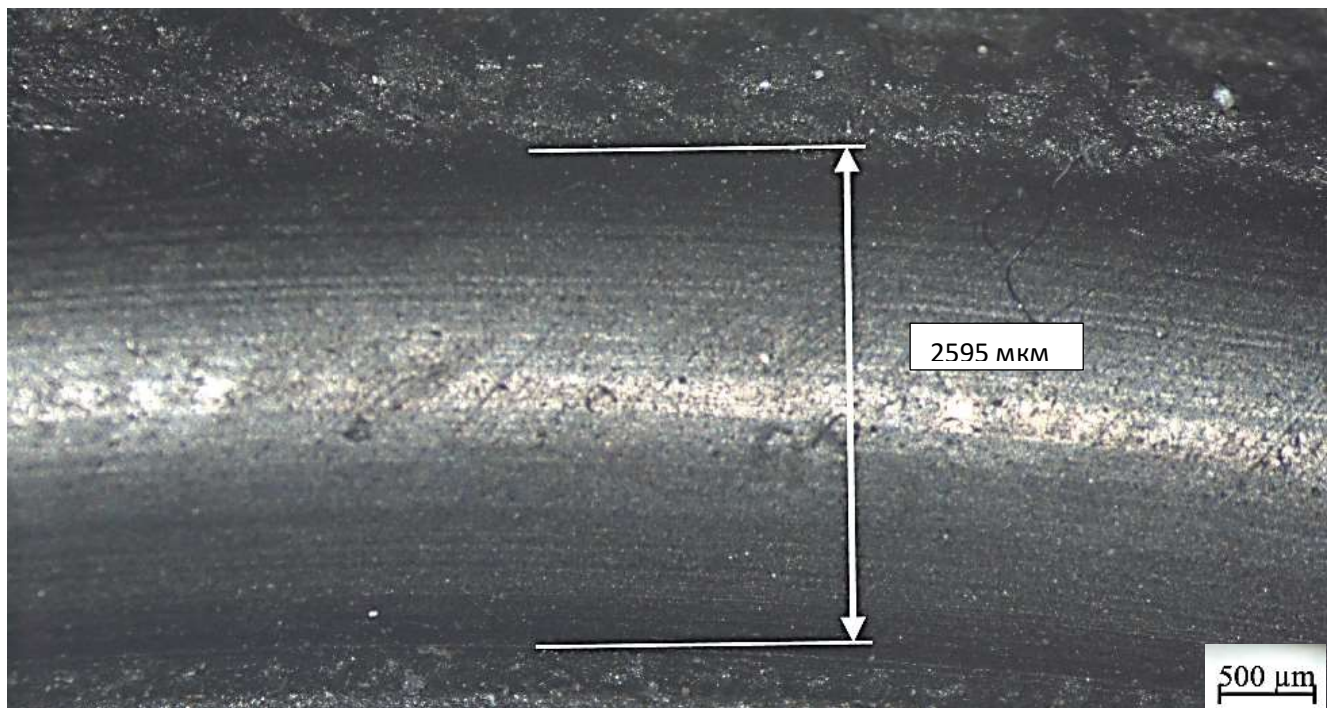
Рис. 4. Виды (а, б) износа поверхностей отверстия стопорной пластины под шкворень. Стелками показано отеснение материала. Пунктирной линией показан износ материала.



Рис. 5. Виды износа (а, б, в) резинового уплотнения стопорной пластины со стороны контакта с пластиной.



а



б

Рис. 6. Вид износа на стопорной пластине в пазе под уплотнительное кольцо— а, вид износа поверхности уплотнительного кольца, совпадающего по форме с износом на пластине – б. На видах (а, б) указаны размеры износов.



а



б

Рис. 7. Виды (а, б) резинового уплотнительного кольца шкворня с двух сторон.



а



б

Рис. 8. Виды (а, б) шайб резьбового соединения шпильки шкворня с двух сторон, соответственно.

Зона разрушения шпильки расположена на небольшом удалении от резьбы (рис. 9). Поверхность излома имеет однородную шероховатость с незначительной зоной долома (рис. 10). Направление полуэллиптических линий продвижения трещины (навстречу друг другу) указывает на усталостное разрушение от двустороннего изгиба. Незначительная зона долома указывает на низкий уровень напряжения при росте трещин.

Фрактографическое исследование шпильки, проведенное с помощью растрового электронного микроскопа NT4000L фирмы Ciqtek, показало, что зарождение разрушения произошло на небольшом удалении от резьбы (рис. 11).

По направлению развития трещины сформирован однородный рельеф излома с усталостными бороздками (рис. 12), шаг которых почти не меняется вплоть до зоны долома.

Проведённые измерения шага усталостных бороздок показали, что его величина находится в интервале 0,6 – 1,3 мкм (рис. 13).

Зона окончательного разрушения шпильки имеет эллипсоидную форму и свидетельствует о том, что навстречу основной трещине двигалась вторичная трещина с противоположной стороны шпильки (рис. 14).

На участке излома, сформированном при распространении встречной трещины от вторичного очага, также сформированы усталостные бороздки шагом более одного микрона (рис. 15).

Оценить длительность роста трещины на основе измерения шага усталостных бороздок не представляется возможным, поскольку отсутствует информация о связи циклов нагружения в эксплуатации с циклами формирования рельефа излома.

Измерения твердости материала шпильки шкворня с переводом на предел прочности показали, что предел прочности составляет 86 кг/мм².

В результате эмиссионного **количественного спектрального анализа** материала шкворня установлено, что он изготовлен из среднелегированной стали. Содержание химических элементов в материале шкворня в процентах приведено в таблице.

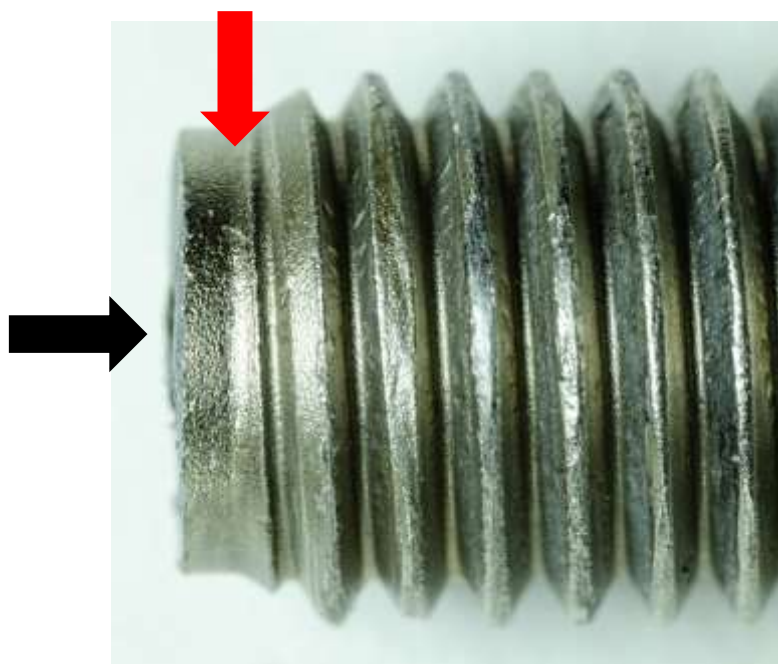


Рис. 9. Вид резьбы разрушенной шпильки при поступлении на исследование. Черной стрелкой показано сечение разрушения, красной – последний виток резьбы.

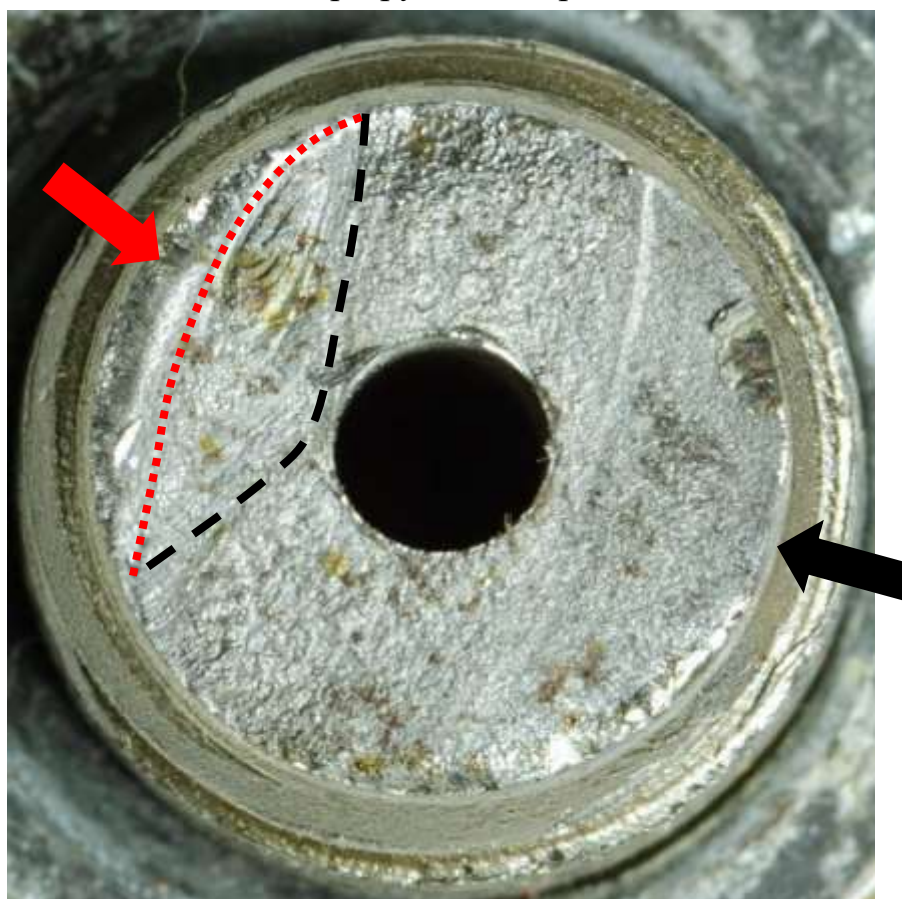


Рис. 10. Вид излома шпильки шкворня при поступлении на исследование. Черной стрелкой указан очаг магистрального усталостного разрушения и черным пунктиром его граница. Красной стрелкой показан очаг вторичной усталостной трещины и красными точками обозначена граница вторичного разрушения. Зона между красными точками и черным пунктиром – зона долома.

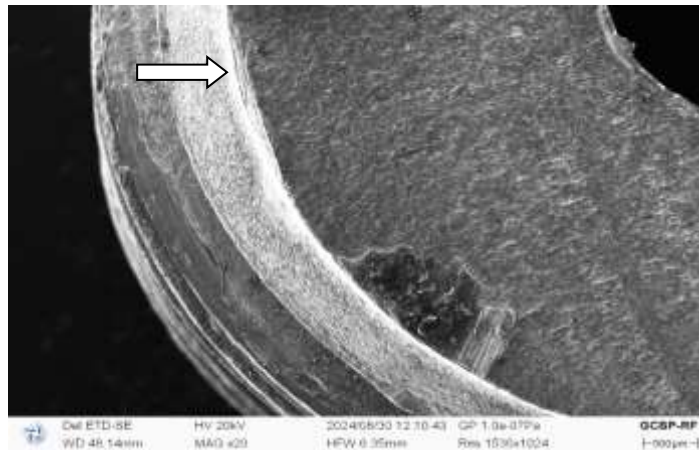


Рис. 11. Вид излома шпильки с указанием места расположения замкнутого очага разрушения.

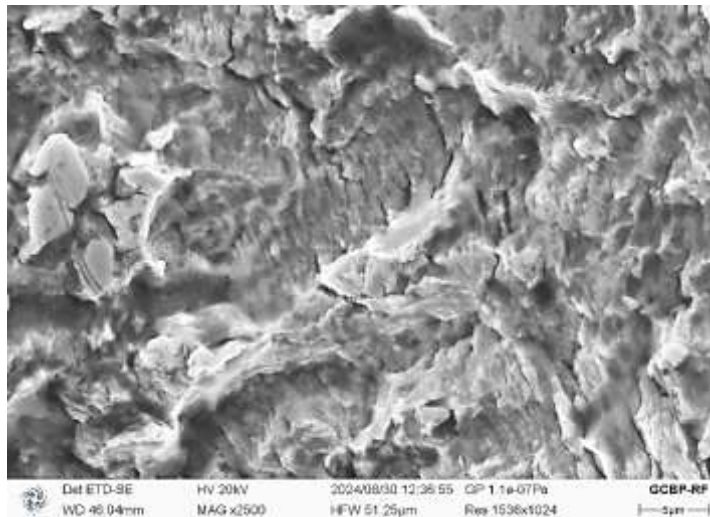


Рис. 12. Вид участка излома с выраженными усталостными бороздками.

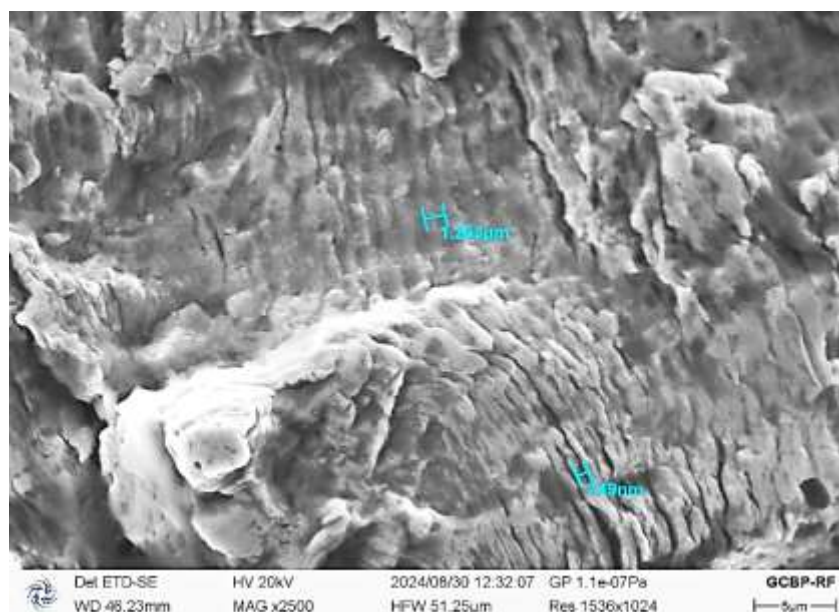


Рис. 13. Участок излома с измеренным шагом усталостных бороздок 1,263 мкм и 0,749 мкм.

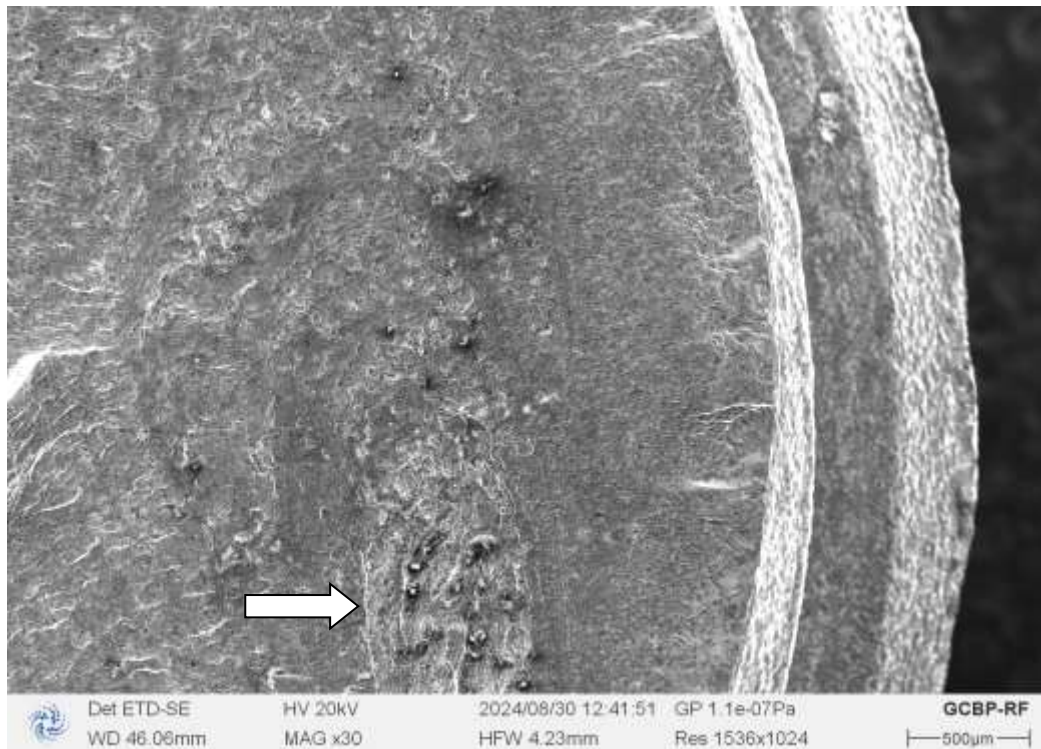


Рис. 14. Вид участка излома с зоной долома (указана стрелкой) и каскада ступенек (справа по поверхности шпильки), являющихся очагами зарождения вторичной трещины.

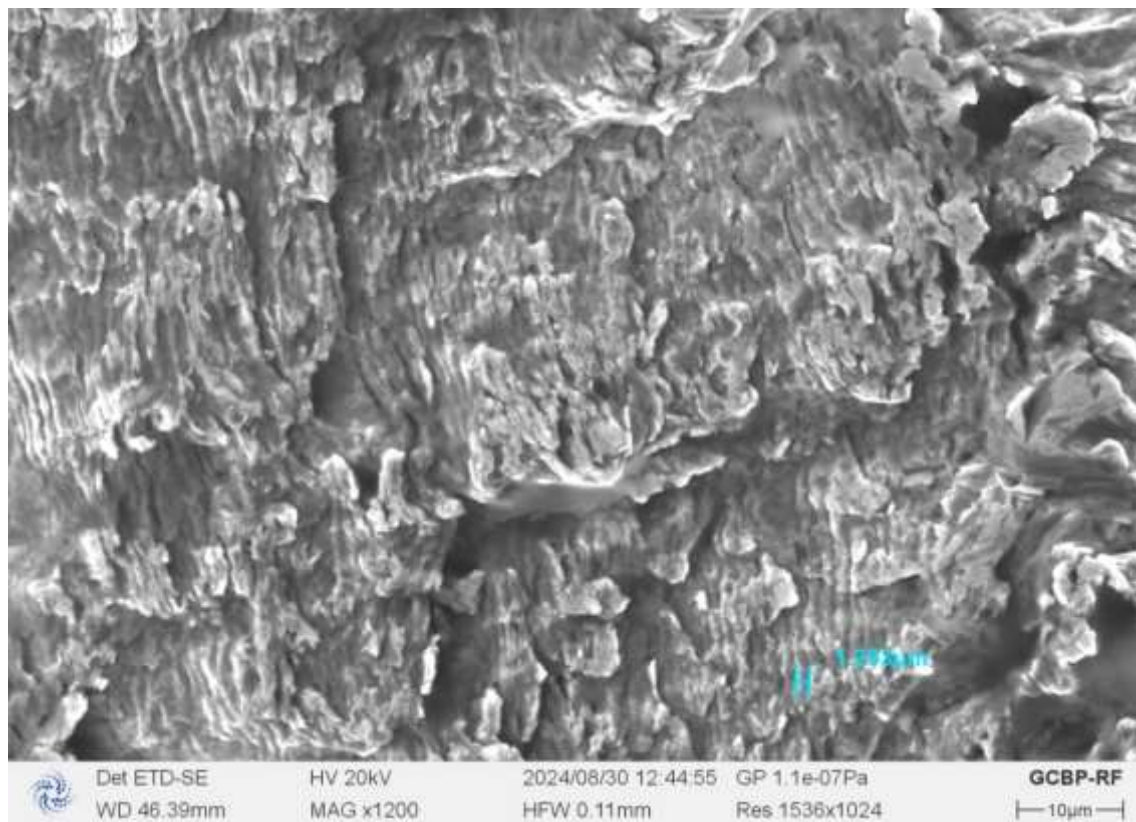


Рис. 15. Вид участка излома, сформированного от вторичного очага, с блоком усталостных бороздок с шагом около 1,253 мкм.

Таблица

Наименование детали	Fe	C	Cr	Mn	Mo	Si	V
Шкворень	основа	0,194	1,35	0,89	0,87	0,10	0,246

Металлографический анализ материала шпильки показал, что на всей поверхности резьбы нанесено защитное покрытие (рис. 16). Трещины в зоне резьбы отсутствуют. Микроструктура материала шпильки в зоне очага разрушения (рис. 17) и на удалении от него (рис. 18) схожа. Дефекты металлургического происхождения отсутствуют.

Витки резьбы гайки шпильки находятся в удовлетворительном техническом состоянии (рис. 19). Признаки работы с перекосом относительно сопряженной детали отсутствуют. Микроструктура материала гайки представлена на рисунке 20.

Анализ результатов проведенного исследования показал.

Разрушение шпильки шкворня поворотной вилки колеса передней опоры шасси имеет усталостный характер с очагами зарождения трещин на теле шпильки на небольшом удалении от резьбы. Концентраторы напряжения, способствующие зарождению трещины, в зонах очагов отсутствуют.

Резьба шпильки находится в удовлетворительном техническом состоянии. Признаки перетяжки, работы с перекосом сопряженных резьбовых деталей и трещин в резьбовом соединении отсутствуют. Защитное покрытие нанесено равномерно.

Зарождение и развитие одиночных усталостных трещин и трещин, движущихся навстречу друг другу, в элементах резьбовых соединений, происходит по причине необеспечения плотности стыка деталей пакета, фиксирующихся данным резьбовым соединением.

Неплотность стыка деталей пакета позволяет проходить через крепежные элементы резьбового соединения циклическим знакопеременным нагрузкам, как и в исследуемом случае, что вызывает зарождение усталостных трещин.

Неплотность стыка пакета деталей возможна при износе витков резьбы или снижении момента затяжки, при механических повреждениях крепежных элементов, при работе в условиях перекоса сопрягаемых резьбовых деталей.

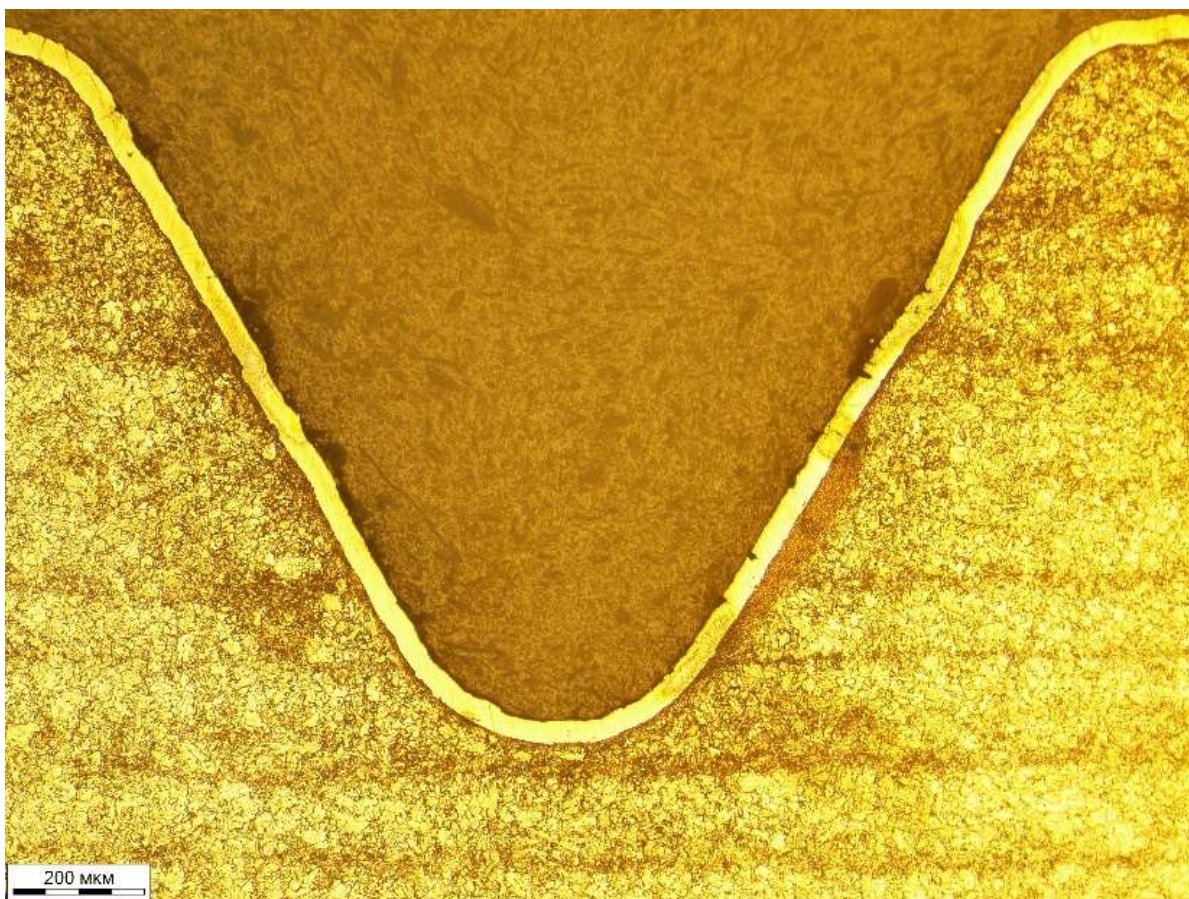


Рис. 16. Вид участка резьбы шпильки с нанесенным защитным покрытием.

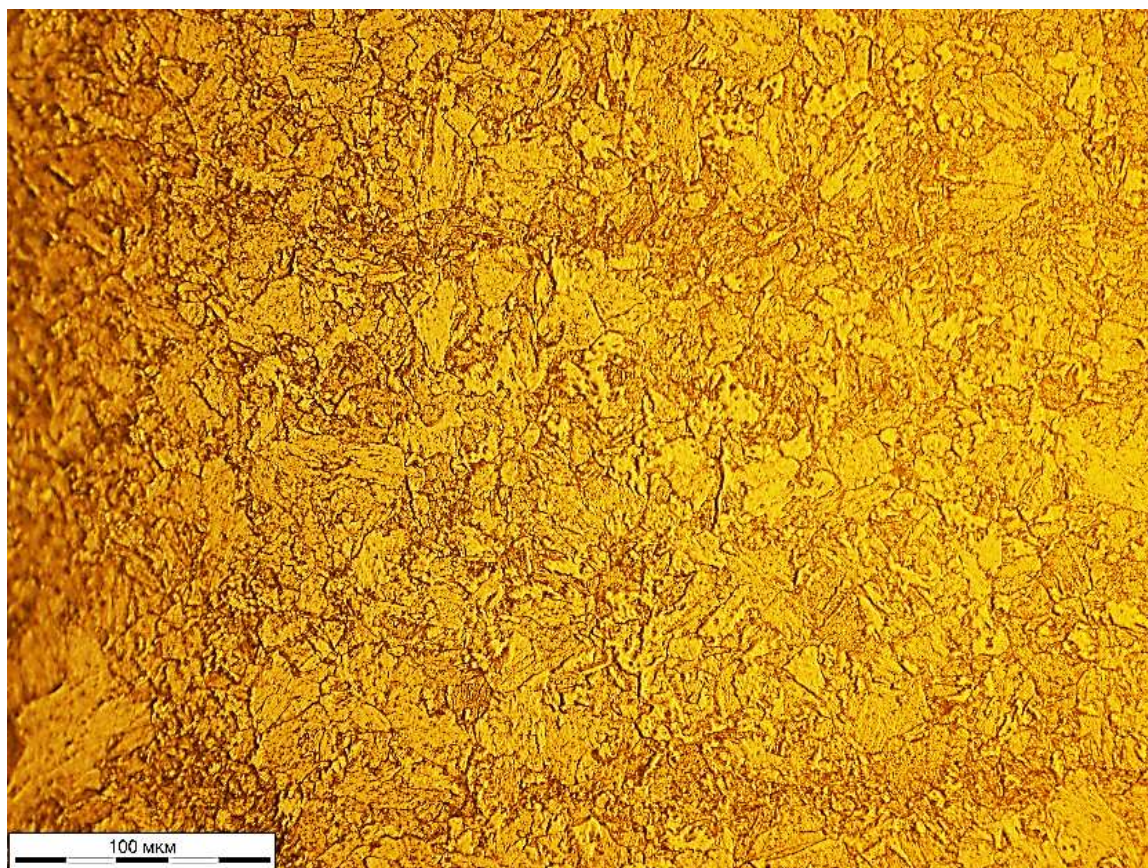


Рис. 17. Вид микроструктуры материала шпилька в зоне разрушения.



Рис. 18. Вид микроструктуры материала шпильки на удалении от зоны разрушения.



Рис. 19. Вид витков резьбы гайки шпильки шкворня.

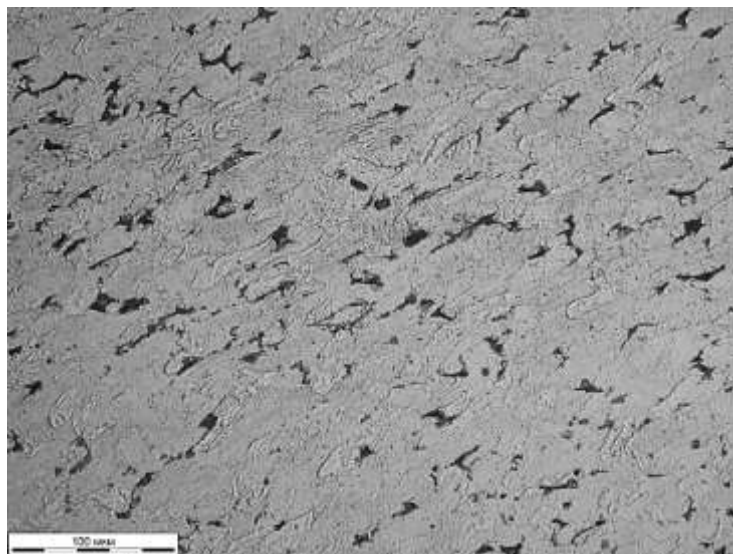


Рис. 20. Вид микроструктуры гайки шпильки шкворня.

В исследуемом случае детали резьбового соединения находятся в удовлетворительном техническом состоянии, что указывает на зарождение и развитие усталостного разрушения вследствие недостаточного осевого усилия от затяжки, о чем свидетельствуют фреттинг-коррозия на нижней поверхности стопорной пластины, износ с отеснением материала пластины в квадратном отверстии под шкворень и износ материала пластины в зоне квадратного отверстия под шкворень.

В руководстве по технической эксплуатации самолета типа DA-40NG не содержится требования к моменту затяжки гайки исследуемого резьбового соединения, а содержится требование к моменту страгивания поворотной вилки передней опоры после ее установки и затяжки гайки. Выдерживание данного требования не гарантирует необходимого осевого усилия от затяжки гайки для создания плотности стыка данного соединения.

По результатам выполненного исследования сформировано заключение о том, что разрушение шпильки шкворня оси крепления поворотной вилки колеса передней опоры шасси p/n D44-3223-10_03MOD самолета DA-40NG RA-02641 имеет усталостный характер и произошло в результате отсутствия достаточного осевого усилия от затяжки гайки, стягивающей пакет деталей поворотной вилки передней опоры шасси.

В целях предотвращения случаев разрушения шпилек шкворня передней опоры шасси p/n D44-3223-10_03MOD самолетов типа DA-40 предприятию разработчику было рекомендовано (заключение от 09.10.2024 № 10400-И/103) разработать мероприятия по исключению сборки поворотной вилки передней опоры с недостаточным осевым усилием в резьбовом соединении.