

УДК 620.172:778.38

Мажура С.О., Капустин А.А., Кесарийский А.Г.

ГОЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЛАКСАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Условия изготовления и эксплуатации современных промышленных изделий настоятельно требуют наличия данных, учитывающих длительную прочность конструкций, работающих в условиях релаксации напряжений. В настоящее время релаксационные процессы, происходящие в конструкционных материалах, в том числе в металлах и сплавах относительно полно описаны в отечественной и зарубежной литературе. Однако, изучению релаксационной стойкости реальных сборочных единиц, особенно при наличии в последних резьбовых соединений, посвящено незначительное количество работ. Кроме того, из-за отсутствия универсальной методики измерений и наличия сложной специфики микромеханических изменений деформируемых твердых тел в процессе релаксации, до сих пор, на наш взгляд, не выработан единый подход к самому понятию "релаксация напряжений резьбовых соединений". Так в работе /1/ указывается, что "...релаксацию напряжений в соединениях следует учитывать начиная с температур 300°C для большинства конструкционных сталей". В /2/ рекомендуют изучать "...релаксационные явления в механизме деформирования при низких температурах". В /3/ релаксацию напряжений резьбовых соединений измеряют "...при температуре, соответствующей температуре эксплуатации резьбового соединения.

На практике установлено, что релаксация напряжений в резьбовых соединениях происходит более интенсивно, чем в гладких образцах. Снижение предварительной затяжки резьбового соединения обусловлено ползучестью металла в результате длительного нагружения. Однако, в отличие от чистой ползучести, при которой определяют изменение длины образца под действием постоянной нагрузки, в данном случае под релаксацией следует понимать уменьшение предварительных напряжений вследствие снижения доли первоначальных упругих деформаций и увеличения доли пластических деформаций.

Релаксационная стойкость резьбовых соединений может быть оценена двумя принципиально различными методами: измерением деформационных изменений соединения и измерением нагрузки, необходимой для поддержания заданной начальной деформации. Однако, следует отметить, что практически во всех существующих методиках образцы (соединения) периодически освобождаются от первоначальных связей

или периодически разгружаются при достижении заданной дополнительной деформации, что существенно искажает истинный характер кривой релаксации напряжений.

С целью устранения вышеописанных недостатков и повышения достоверности получаемых результатов в качестве регистратора релаксации напряжений резьбовых соединений предлагается использовать один из современных методов лазерных неразрушающих испытаний – голографическую интерферометрию в реальном времени. Схема испытаний приведена на Рис. I.

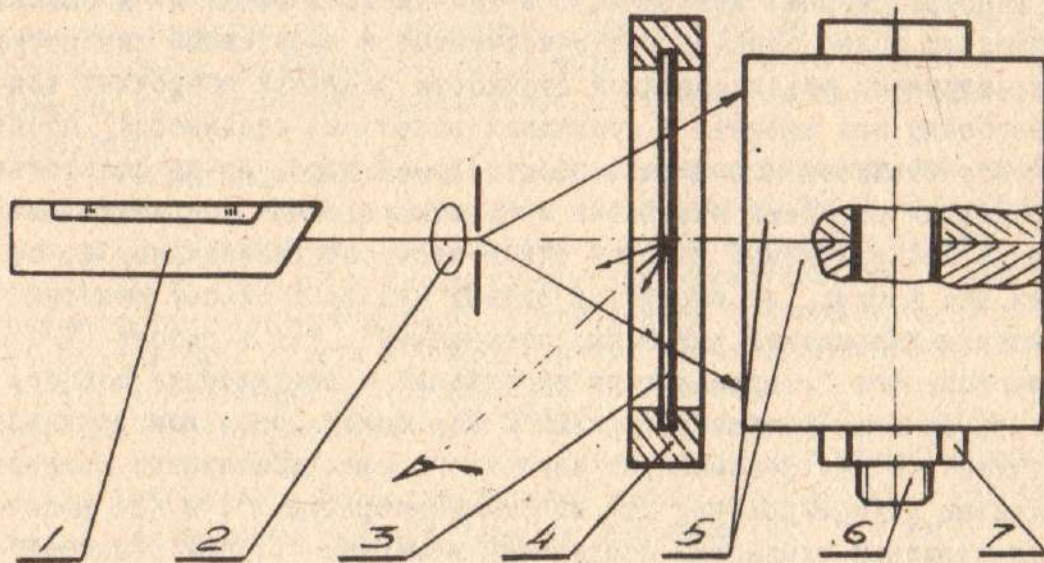


Рис. I

I – лазер; 2 – микрообъектив с диафрагмой; 3 – регистрирующая среда (голограмма); 4 – специализированный держатель; 5 – стягиваемые элементы; 6, 7 – болтовое соединение.

Измерения выполняются следующим образом. Стягиваемые элементы соединения 5 нагружают до требуемого начального удлинения болта 6. Затем когерентным излучением лазера I, расширенным объективом 2 до линейных размеров стягиваемых элементов 5, записывают голограмму 3, располагаемую в специализированном держателе 4 параллельно оси болта и образующей тягиваемых элементов на расстоянии, не превышающем половины длины когерентности лазерного излучения. Через равные промежутки времени, задаваемые программой испытаний, излучением лазера восстанавливают голограмму реального

реального времени, а характер и величину релаксации напряжений определяют путем сравнения интерференционных картин соединения.

Методика испытаний была апробирована на фланцевом резьбовом соединении диаметром 120мм из стали 45. Нагружение стягиваемых элементов производилось динамометрическим ключом с усилием затяжки 150 кгс. Программа испытаний была рассчитана на 72 часа с регистрацией интерферограмм через каждые 2 часа в первые сутки и 6 часов - в последующие. Голограммы реального времени во встречных пучках записывались посредством лазера ЛГН-215 на высокоразрешающую среду ПФГ-03 со стандартными режимами обработки. Оптическая схема испытаний собиралась на базе универсальной голографической установки СИП. По серии интерферограмм была построена графическая зависимость изменения цены интерференционных полос вдоль образующей стягиваемых элементов, что позволило рассчитать модель процесса релаксации резьбового соединения во времени.

Эффективность данной методики была подтверждена также при проведении испытаний на релаксацию напряжений элемента системы управления двигателя летательного аппарата. Конструкция системы состояла из двух цилиндров диаметром 2500мм (материал-композит), соединенных при помощи штифто-шпилечного соединения. После затяжки шпилек с моментом 8 кг.м производилась последовательная регистрация зоны размещения закладного элемента. При этом в процессе испытаний голограммы анализировались во влажном состоянии для поддержания чувствительности измерений путем корректировки времени выдержки между экспозициями. Каждый этап измерений заканчивался после получения на очередной интерферограмме одной интерференционной полосы. Полученная серия интерферограмм позволила построить графическую зависимость протекания релаксационного процесса. При этом, учитывая, что при регистрации голограмма располагалась в непосредственной близости к конструкции, перемещения в плоскости поверхности оболочки определялись с использованием спекл-интерферограмм, а нормальные - по голографической интерферограмме, записанных на одной регистрирующей среде./4/.

Анализ выполненных измерений показал, что релаксационные процессы в соединении практически прекращаются через 3-4 часа после сборки, при этом перемещения закладных элементов крепежа составило 20 мкм и как следствие произошло падение исходного момента затяжки на 12-14%. По результатам испытаний был откорректирован технологический процесс сборки системы (введена дополнительная подтяжка через 4 часа после сборки), что позволило повысить надежность конструкции.