

УДК 620.179.16

## НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

**В.В. ДРЕВНЯК, Д.Н. КОЧКИН, О.Е. ЗУБОВ**

В статье рассматриваются различные направления повышения усталостной прочности, но не определяются причины возникновения внезапного разрушения. Обозначена проблема возникновения неожиданного разрушения при усталости. Предлагается направление повышения усталостной прочности проведением систематического контроля технического состояния изделий авиационной техники и выявление наиболее опасных очагов разрушения с применением акустической эмиссии.

**Ключевые слова:** усталостная прочность, поверхностное упрочнение, акустическая эмиссия.

Эффективным методом повышения долговечности работы изделий является создание слоистых или волокнистых материалов. Например, за счет создания высокопрочного поверхностного слоя при химико-термической обработке удастся повысить предел усталости стали до 2000 МПа. Наряду с этим резервы прочности должны обеспечиваться оптимизацией технологии и конструкции деталей машин с точки зрения повышения их надежности при переменном нагружении. Принятые способы производства, обработки и изготовления металлических изделий в то же время должны быть экономически оправданными для их использования в машиностроении.

Способ металлургического производства стали и сплавов оказывает существенное влияние на их усталостные характеристики. Наличие микропор, неметаллических включений, выраженной текстуры и других очагов концентрации напряжений может значительно снизить предел усталости или долговечность деталей или конструкций. Различные методы очистки стали – электронно-лучевой, вакуумно-дуговой и электрошлаковый переплавы являются эффективным способом улучшения структуры сплавов, особенно с точки зрения снижения вредных примесей, уменьшения количества неметаллических включений, повышения их дисперсности и плотности материала.

Сталь вакуумной плавки или после вакуумного переплава содержит более дисперсные включения, имеет пониженное содержание газов и большую плотность. Вакуумная плавка способствует повышению предела усталости высокопрочных сталей и мало влияет на усталостный процесс для низкоуглеродистых сталей.

Положительный эффект повышения предела усталости высокопрочных сталей и сталей со средней прочностью в виде проволоки или ленты оказывают электрошлаковый переплав и вакуумно-дуговая плавка. Однако эти методы получения стали значительно повышают ее стоимость. Рафинирование высокопрочных сталей значительно улучшает их способность к образованию локальной области пластической деформации в вершине усталостной трещины.

Усталостная долговечность металлов и сплавов сильно зависит от состояния и свойств поверхностного слоя материала или детали. Все типы поверхностной обработки (пластическая, термопластическая или химико-термическая) влияют на протяженность периода зарождения усталостного разрушения [1–3]. Качество механической поверхностной обработки, формирующей микрорельеф поверхности и, следовательно, концентрацию напряжений в местах надрезов, сокращает период зарождения трещин в общем цикле усталостного процесса.

Микроскопические остаточные напряжения в поверхностном слое возникают при любом виде поверхностной обработки. Растягивающие остаточные напряжения способствуют интенсивному образованию усталостных трещин, в то время как сжимающие оказывают противоположное действие.

Фазовый и химический состав поверхностного слоя оказывает положительное влияние на усталостные характеристики лишь в случае, когда упрочненный поверхностный слой силь-

нее сопротивляется воздействию циклической деформации, чем внутренние слои детали. Поэтому деформационное упрочнение поверхностного слоя, повышающее сопротивление протеканию циклической пластической деформации, – принятый способ повышения предела усталости железа и стали. Однако эффект может быть заметно уменьшен за счет циклического разупрочнения образцов в процессе нагружения.

Повышения уровня предела усталости деталей с острыми конструктивными надрезами достигают с помощью технологических обработок, прежде всего поверхностных участков. Наиболее часто используют механические, термические или химико-термические способы. Обработку проводят так, чтобы наряду с упрочнением поверхностного слоя материала в нем возникли сжимающие напряжения, которые компенсировали бы действие вредных растягивающих напряжений во внутренних областях [1]. Следует учитывать, например, что при циклическом кручении роль упрочненной поверхности максимальна, в то время как при растяжении-сжатии необходимо учитывать внутренние макроскопические деформации в объеме деталей. Примером увеличения предела усталости может служить дробеструйная обработка поверхностных слоев деталей в потоке падающих на поверхность с большой скоростью стальных шариков. Тогда достигается поверхностное упрочнение и образование сжимающих остаточных напряжений поверхностных участков. Повышение прочности для различных материалов достигает 20 %. В отдельных случаях прочность после дробеструйной обработки ниже, чем после полировки детали. Дробеструйная обработка эффективна для деталей с грубо обработанной поверхностью или после ее предварительного обезуглероживания. Когда необходима гладкая поверхность детали после дробеструйной обработки, то проводят тонкое шлифование.

При раскатке можно достичь значительного упрочнения и уровня остаточных напряжений при сохранении гладкой поверхности изделия и повысить предел усталости на 60 %. Эта обработка эффективна и для надрезанных изделий с внешними концентраторами напряжений.

Поверхностная закалка вызывает упрочнение поверхности и остаточные сжимающие напряжения, что приводит к повышению усталостной прочности до 90 %. Но поверхностную закалку используют ограниченно для деталей с простой формой. Высокий уровень упрочнения поверхности достигается при химико-термической обработке изделий [3].

При восстановлении изношенных деталей или для увеличения сопротивления износу и коррозии изделий проводят металлизацию, например, кадмием, оловом, цинком, которые мало влияют на усталостную прочность, но электрохимическое нанесение слоя хрома или никеля снижает эту прочность за счет растягивающих внутренних напряжений в слоях хрома или никеля.

Повышение предела выносливости можно получить после нанесения слоя пластических масс на поверхности деталей.

К конструкционным проблемам следует отнести проектирование деталей с уменьшением концентраторов напряжений. Важное значение имеет сварочная технология, которая может вызывать трещины в местах сварки, высокие внутренние напряжения и изменение свойств в зоне термического влияния. Сварочные работы следует выполнять качественно, а места сварки подвергать тщательному контролю.

Надежность работы деталей при усталостном нагружении может быть снижена за счет эксплуатационных факторов. Перечисленные направления повышения усталостной прочности не устраняют внезапное разрушение, если не определяются места зарождения опасных дефектов (трещин). Для устранения неожиданных катастрофических разрушений при усталости необходим систематический контроль с целью обнаружения места зарождения и развития трещин [2]. При этом может быть использован экономный вариант системы контроля с применением акустической эмиссии, который позволяет при удачном расположении датчиков обнаружить места зарождения трещин и их распространение.

Акусто-эмиссионный (АЭ) метод неразрушающего контроля обеспечивает выявление развивающихся дефектов посредством регистрации и анализа акустических волн, возникающих

в процессе пластической деформации и роста трещин в контролируемых объектах. Кроме того, метод АЭ позволяет выявить истечение рабочего тела (жидкости или газа) через сквозные отверстия в контролируемом объекте. Указанные свойства метода АЭ дают возможность формировать адекватную систему классификации дефектов и критерии оценки технического состояния объекта, основанные на реальном влиянии дефекта на объект.

Характерными особенностями метода АЭ, определяющими его возможности, параметры и области применения, являются следующие:

- обеспечение обнаружения и регистрации только развивающихся дефектов, что позволяет классифицировать дефекты не по размерам, а по степени их опасности;

- выявление в производственных условиях приращенной трещины на десятые доли миллиметра;

- свойства интегральности, обеспечивающие контроль всего объекта с использованием одного или нескольких преобразователей АЭ, неподвижно установленных на поверхности объекта;

- возможность проведения контроля различных технологических процессов и процессов изменения свойств и состояния материалов;

- положение и ориентация дефекта не влияют на выявляемость дефектов;

- меньшее число ограничений, связанных со свойствами и структурой конструкционных материалов, чем другие методы неразрушающего контроля;

- ограничением применения является в ряде случаев трудность выделения сигналов АЭ из помех. Это связано с тем, что сигналы АЭ являются шумоподобными, поскольку АЭ является случайным импульсным процессом. Поэтому, когда сигналы АЭ малы по амплитуде, выделение полезного сигнала из помех представляет собой сложную задачу. При развитии дефекта, когда его размеры приближаются к критическому значению, амплитуда сигналов АЭ и темп их генерации увеличиваются, что значительно увеличивает вероятность обнаружения такого источника АЭ.

Метод АЭ может быть использован для контроля объектов при их изготовлении, в процессе приемочных испытаний, при периодических технических освидетельствованиях в процессе эксплуатации.

Целью АЭ контроля является обнаружение, определение координат и слежение (мониторинг) за источниками АЭ, связанными с несплошностями на поверхности или в объеме металлоконструкции, сварного соединения изготовленных частей и компонентов. Источники АЭ рекомендуется оценивать другими методами неразрушающего контроля при наличии технической возможности. АЭ метод может быть использован также для оценки скорости развития дефекта в целях заблаговременного прекращения испытаний и предотвращения разрушения изделия. Регистрация АЭ позволяет определить образование свищей, сквозных трещин, протечек в уплотнениях, заглушках, арматуре и фланцевых соединениях.

АЭ контроль технического состояния обследуемых объектов проводится только при создании в конструкции напряженного состояния, инициирующего в материале объекта работу источников АЭ. Для этого объект подвергается напряжению силой, давлением, температурным полем или другими способами. Выбор вида нагрузки определяется конструкцией объекта и условиями его работы, характером испытаний.

Применение акустической эмиссии для оценки технического состояния и выявления скрытых дефектов на ранней стадии развития в силовых элементах летательных аппаратов в ряде случаев было бы полезно с целью обеспечения безопасности полетов. Учитывая существующий порядок оценки технического состояния летательных аппаратов традиционными методами, метод АЭ можно использовать как дополнительный при определенных условиях:

- расстановка датчиков АЭ должна учитывать самые нагруженные места конструкции и обеспечивать акустический тракт всей конструкции в целом с целью исключения «глухих» мест;

– схема нагружения части силовых элементов или конструкции в целом должна быть продумана и учитывать величину и длительность нагрузки с целью спровоцировать движение скрытых критических дефектов;

– в случае выявления источников АЭ, в месте их обнаружения проводят контроль одним из традиционных методов неразрушающего контроля – ультразвуковым, радиационным, капиллярным и другими предусмотренными нормативно-техническими документами. При этом сокращается объем традиционных методов неразрушающего контроля, поскольку в случае применения традиционных методов НК необходимо проведение сканирования по всей поверхности (объему) контролируемого объекта;

– проводят контроль одним или несколькими методами НК. При обнаружении недопустимых по нормам традиционных методов контроля дефектов или при возникновении сомнения в достоверности применяемых методов НК проводят контроль объекта с использованием метода АЭ. Окончательное решение о допуске летательного аппарата к эксплуатации или ремонту обнаруженных дефектов принимают по результатам проведенного АЭ контроля;

– в случае наличия в объекте не критичного дефекта, выявленного одним из методов НК, метод АЭ используют для слежения за развитием этого дефекта. При этом может быть использован экономный вариант системы контроля с применением одноканальной или многоканальной конфигурации акустико-эмиссионной аппаратуры.

Хорошим примером использования метода АЭ может служить оценка технического состояния потенциально опасных объектов военной техники. Метод АЭ в соответствии с «Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением» применяют при пневмоиспытании объекта в качестве сопровождающего метода, повышающего безопасность проведения испытаний. В этом случае целью применения АЭ контроля служит обеспечение предупреждения возможности катастрофического разрушения. Рекомендуется использовать метод АЭ в качестве сопровождающего метода и при гидроиспытании объектов.

Метод АЭ может быть использован для оценки остаточного ресурса и решения вопроса относительно возможности дальнейшей эксплуатации объекта. Оценка ресурса производится с использованием специально разработанной методики. При этом достоверность результатов зависит от объема и качества априорной информации о моделях развития повреждений и состояния материала контролируемого объекта.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Иванова В.С.** Разрушение металлов. М.: Металлургия, 1979.
2. Основы технического диагностирования объектов военной техники: Учеб. пособ. / Под ред. А.И. Гневко. М.: ВА РВСН имени Петра Великого, 2013.
3. Повышение коррозионной стойкости 30ХГСН2А путем имплантации ионов меди и свинца / В.В. Овчинников, Ю.В. Боровин, С.В. Якутина, Е.В. Лукьяненко, Д.А. Козлов, О.А. Парфеновская // Машиностроение и инженерное образование. 2013. № 3. С. 35–41.

## AIRCRAFT products INCREASING RELIABILITY DIRECTION

**Drevnyak V.V., Kochkin D.N., Zubov O.E.**

In the article different increasing directions of fatigue strength are considered, but the reasons of sudden distraction are not determined. The sudden distraction with fatigue appearance problem is designated. The fatigue strength increasing direction by aviation technology products technical condition systematic monitoring and the most dangerous distraction points detection with the use of acoustic emission method are suggested.

**Key words:** fatigue strength, surface hardening, acoustic emission.

## REFERENCES

1. **Ivanova V.S.** Razrushenie metallov. M.: Metallurgija, 1979.
2. Osnovy tehničeskogo diagnostirovanija ob#ektov voennoj tehniki: Ucheb. posob. Pod red. A.I. Gnevko. M.: VA RVSN imeni Petra Velikogo, 2013.
3. **Ovchinnikov V.V., Borovin Ju.V., Jakutina S.V., Luk'janenko E.V., Kozlov D.A., Parfenovskaja O.A.** Povыshenie korrozionnoj stojkosti 30HGSN2A putem implantacii ionov medi i svinca. Mashinostroenie i inženernoe obrazovanie. 2013. № 3. S. 35–41.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Древняк Владимир Владимирович**, соискатель МГТУ ГА.

**Кочкин Дмитрий Николаевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры АТО и РЛА МГТУ ГА.

**Зубов Олег Евгеньевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры АТО и РЛА МГТУ ГА, zubov13rak@yandex.ru.