

ВОПРОСЫ ПРОЧНОСТИ КРЫШЕК ЦИЛИНДРОВ СРЕДНЕОБОРОТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Введение

Современные требования по повышению удельной мощности, экономичности и долговечности среднеоборотных дизелей определяют дальнейшее форсирование рабочего процесса, что неминуемо повышает тепломеханическую напряженность деталей, образующих камеру сгорания. Для деталей, работающих в области неизотермического малоциклового нагружения, актуальна задача расчета долговечности.

Формулирование проблемы

В работах по исследованию поведения конструкции при неизотермическом малоцикловом нагружении [1] отмечается, что для оценки долговечности можно использовать расчетные данные. При этом необходимо решать задачи термопластичности в циклической температурно-временной постановке для чего в первую очередь в качестве исходных, необходимо иметь данные по тепловому состоянию конструкции, соответствующие характерным режимам работы двигателя. Расчет полноразмерной крышки цилиндра методом конечных элементов в такой постановке практически невозможен без существенного упрощения модели, даже при использовании современных ЭВМ. Расчет всей конструкции и не требуется, поскольку область неупругих деформаций имеет локальный характер. Учитывая тот факт, что рассмотрение отдельной области конструкции без учета влияния отдаленной части (например, при расчете температурных полей) приводит к большим погрешностям, была разработана концепция расчета, позволяющая учитывать влияние отдаленной части [2]. Концепция расчета основана на методе декомпози-

ции матрицы жесткости конструкции, в основе которого лежит процесс редуцирования по Гайану, часто применяющийся в методе суперэлементов. Для неупругого расчета выделяется центральная часть или нижняя плита (огневое днище), что позволяет учесть все зоны концентрации напряжений в огневом днище крышки. После этого, полученные данные используются для определения опасного состояния и вероятности его достижения при заданном количестве циклов с использованием деформационно-кинетических критериев [1,4,8].

Экспериментальное решение проблемы оценки долговечности

В настоящее время на Коломенском заводе для оценки работоспособности крышек цилиндров применяется методика, основанная на получении остаточных напряжений в детали после некоторой нагрузки (около 25% моторесурса). Остаточные напряжения получают методом разрезки элементов огневого днища крышки (межклапанных перемычек) с предварительно наклеенными на них тензодатчиками (Рис.1).

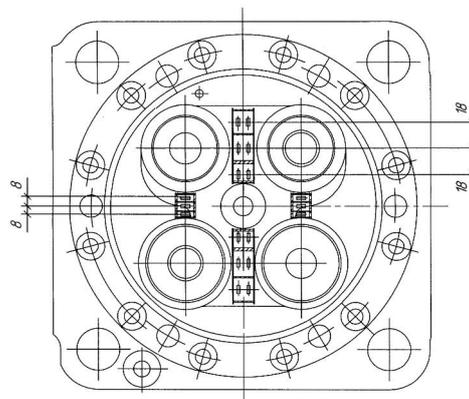


Рис. 1. Эскиз расположения тензодатчиков и линий разреза для измерения остаточных напряжений

Практически полное отсутствие достоверных методов неразрушающего контроля остаточной напряженности конструкций предопределило использование метода выделения и тензометрирования наиболее нагруженных элементов детали. Несмотря на существенное развитие неразрушающих методов контроля остаточных напряжений таких как – магнитные, электрические, вихретоковые, радиоволновые, тепловые, оптические, радиационные, акустические и капиллярные – ни один из них не позволяет получить достоверные сведения о количественном характере распределения макронапряжений (напряжений I рода). В статье «Проблемы измерения характеристик напряженно-деформированного состояния конструкционных материалов сложных технических объектов» проф. Дубров А.А. отмечает, что неразрушающие методы являются косвенными, поскольку измеряют не напряжения (или деформации) непосредственно, а изменение параметров физической среды, пропускаемой через деталь в нагруженном и разгруженном состоянии. Разгрузить конструкцию от напряжений не всегда удается, поэтому применяют образцы-эталоны, сопоставимые с деталью по геометрическим параметрам. И в том, и в другом случае вносится погрешность неизвестной величины, поэтому достоверность количественной картины распределения остаточных напряжений оценить сложно. Кроме того, неразрушающие методы контроля предназначены в основном для измерения напряжений II и III родов – напряжений на микро уровне и субмикро уровне (в пределах кристаллической решетки), которые не оказывают существенного влияния на прочность и выносливость конструкции.

Методу разрезки также присущ ряд существенных недостатков. Помимо полного вывода из строя дорогостоящей детали, сложности метрологического обеспечения, неприменимости для проектируемых конструкций, метод не позволяет оценить распреде-

ление остаточной деформации в объеме. Также важен тот факт, что эксперимент фактически уникален, ввиду невозможности его повторного проведения на одной и той же детали, что не позволяет установить тенденцию накопления и перераспределения напряжений в конструкции на различных этапах эксплуатации. Кроме того, метод основан на предположении «упругой разгрузки», то есть уровень фактических остаточных напряжений на момент измерения не должен превышать предел пропорциональности материала.

По техническим условиям на дизель крышка цилиндра должна безотказно работать до первого капитального ремонта двигателя. За это время конструкция выдерживает до 150000 и выше (в зависимости от назначения двигателя) эквивалентных макроциклов теплового нагружения. Квазиупругое деформирование материала, необходимое для обеспечения высоких показателей долговечности, может быть обеспечено только за счет явления приспособляемости, когда в процессе неупругого деформирования в начальный период, происходит упрочнение материала, что при последующем нагружении снижает долю неупругих деформаций в цикле нагружения [5]. Проследить тенденцию накопления остаточных напряжений с течением времени можно по диаграмме, полученной в результате накопленных на Коломенском заводе экспериментальных данных для крышек цилиндров дизелей ЧН26/26 (Рис 2).

С помощью диаграммы можно косвенно оценить вид цикла неупругого деформирования. Если на момент измерения предельный уровень остаточных напряжений в межклапанных перемычках крышки (200 МПа) не превышен, или превышен незначительно, можно говорить о достаточном запасе по долговечности, который представляет собой отношение числа циклов, накапливаемых конструкцией в эксплуатации к числу циклов до разрушения. Вид кривых (Рис 2) зависит от температуры на поверхно-

сти детали. Так кривая 1, полученная при температуре 355⁰С асимптотически приближается к линии предельных напряжений, что говорит о высоком уровне долговечности. Кривая 3, полученная при 465⁰С показывает превышение допустимого уровня. В этом случае приспособляемость материала невозможна [5], что приводит к быстрому разрушению конструкции. Для достижения заданного уровня долговечности крышек цилиндров из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом размах пластической деформации в цикле нагружения (ширина петли неупругого гистерезиса) не должен превышать 0,003% [6]. Как видно из диаграммы, температура играет решающую роль в механизме образования остаточных напряжений, следовательно, для повышения долговечности, в первую очередь, необходимо стремиться к ограничению её максимального уровня.

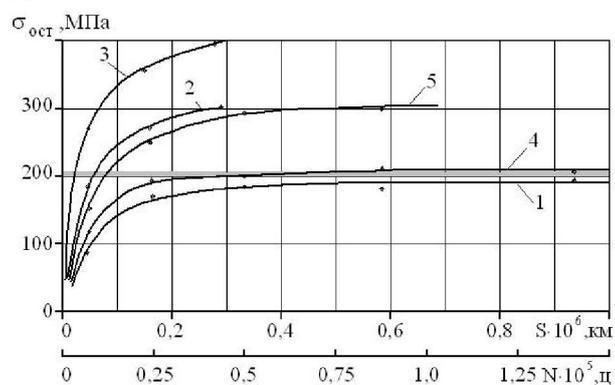


Рис. 2. График нарастания остаточных напряжений в крышках цилиндров по мере увеличения наработки в зависимости от температуры

Очевидно, что оценка долговечности невозможна без получения экспериментальных данных по поведению материала при циклическом воздействии температур, температурной выдержки (релаксации напряжений и ползучести), а также статических характеристик материала при нормальной и повышенной температуре.

Не менее важна оценка количества и типа циклов нагружения, выдерживаемых конструкцией в период её эксплуатации, и их анализ с точки зрения

повреждаемости, вносимой в структуру металла [3]. Данные по количеству циклов получают в ходе хронометража в виде изменений мощности дизеля по времени, с дальнейшим пересчетом в температуры деталей камеры сгорания. Хронометраж в течение всего срока эксплуатации для данного класса двигателей практически неосуществим, к тому же получить идентичные данные вряд ли удастся, поскольку каждый двигатель эксплуатируется на существенно различных нагрузочных режимах. Примером может служить нагрузочная (по позициям контроллера) диаграмма для тепловозного дизеля на ограниченном участке дороги (Рис 3а и б). Зависимость эффективной мощности от положения контроллера приведена в таблице 1. В условиях идентичного веса состава, квалификации машиниста и погодных условий, диаграммы различаются для прямого и обратного направления движения локомотива. Как видно, отдельной важной задачей для оценки долговечности становится анализ количества и режимов теплового нагружения. При этом для обоснования вида расчетного цикла необходимо получение некоторого усредненного (эквивалентного) цикла для дизелей одного класса.

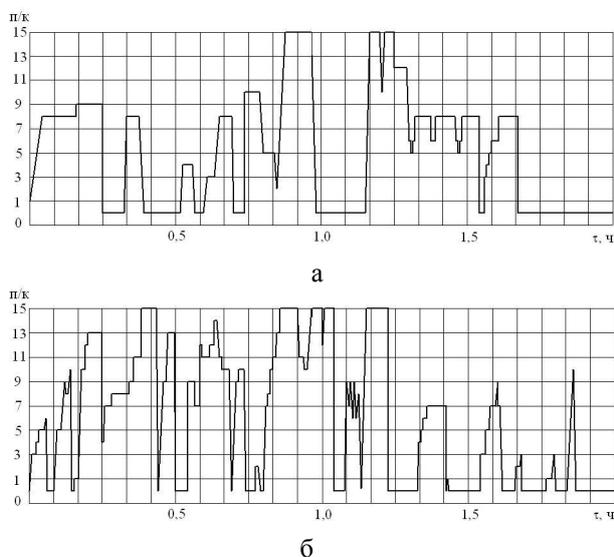


Рис. 3. График зависимости положения контроллера тепловоза от времени движения состава а – в прямом направлении движения; б – в обратном направлении движения

Таблица 1. Зависимость эффективной мощности от положения контроллера

п/к	0	1	2	3
Моощность,кВт	134	306	430	558
п/к	4	5	6	7
Моощность,кВт	676	812	960	1104
п/к	8	9	10	11
Моощность,кВт	1220	1400	1552	1770
п/к	12	13	14	15
Моощность,кВт	1965	2160	2340	2540

Заключение

Применение методов математического моделирования для оценки поведения материала в рабочих условиях, как видно, имеет ряд преимуществ. Главным из них является возможность получения непосредственно диаграммы (σ - ϵ) практически на любом этапе эксплуатации, в том числе для проектируемых конструкций. Кроме того, метод математического моделирования обладает большей оперативностью, позволяя в более короткие сроки и с меньшими затратами обрабатывать большее число конструкторских вариантов.

Прогноз долговечности с использованием расчетных данных осуществляется путем анализа опасных сечений с учетом особенностей поведения материала при циклическом деформировании за пределами упругости, а также с учётом влияния температурно-временных эффектов [1,4]. Наиболее полно современной концепции расчетно-экспериментальной оценки долговечности крышек

цилиндров отвечает работа [7]. Располагая кривыми деформирования материала от рабочей нагрузки можно оценить степень поврежденности конструкции на данном этапе и при последующих нагружениях. Уровень остаточных напряжений в детали после некоторого количества циклов также может использоваться для оценки приближения конструкции к опасному состоянию.

Список литературы:

1. Гусенков А.П., Котов П.И. Длительная и неизотермическая малоцикловая прочность элементов конструкций. – М.: Машиностроение, 1988. – 264 с.
2. Чайнов Н.Д., Салтыков М.А., Раенко М.И., Мяжков С.П. Особенности математического моделирования НДС крышки цилиндра форсированного среднеоборотного дизеля. Двигателестроение №4, 2006, С. 8-11.
3. Сальников М.А., Салтыков М.А. Влияние сменности режимов работы в эксплуатации тепловозных дизелей на ресурс деталей цилиндропоршневой группы. Конструирование и эксплуатация оборудования. Двигатели внутреннего сгорания №10, 1983, С. 1-3.
4. Серенсен С.В. Шнейдерович Р.М. Гусенков А.П. и др. Прочность при малоцикловом нагружении. Основы методов расчета и испытаний. Издательство «Наука», 1975. – 284 с.
5. Уравнения состояния при малоцикловом нагружении. Махутов Н.А., Гаденин М.М., Гохфельд Д.А., Гусенков А.П., и др. М.: Наука, 1981. – 243 с.
6. Александров И.И. Исследование условий термической прочности литых материалов для деталей камеры сгорания: Диссертация канд. техн. наук. – Коломна, 1972. –196с.
7. F. Zieher, F.Langmayr, A. Jelatancev, K. Wieser. Thermal Mecyanical Fatigue Simulation of Cast Iron Cylinder Heads. SAE 2005 World Congress. Detroit. p.12.
8. Дульнев Р.А., Котов П.И. Термическая усталость металлов. – М.:Машиностроение, 1980. – 200 с.

УДК 621.43.016.4

**А.П. Марченко, д-р техн. наук, В.О. Пильов, д-р техн. наук,
В.В. Шпаковский, канд. техн. наук, Пильов В.В., студ.**

АНАЛІЗ ВИСОКОЧАСТОТНИХ КОЛИВАНЬ ТЕМПЕРАТУРИ В ПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ ПОРШНЯ З ТЕПЛОІЗОЛЮЮЧИМ ПОКРИТТЯМ

Забезпечення прогресивних питомих показників, насамперед – мінімально можливих витрати па-

лива та викидів шкідливих речовин спонукає дослідників до пошуків таких конструкцій деталей камери