

Kurzfassung

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines dynamischen Motormodells, das in den Zeitskalen von Verbrauchs- und Absicherungszyklen präzise, räumlich aufgelöste Informationen in Form von Temperaturfeldern liefert. Diese sind essentielle Puzzleteile für die Berechnung von thermisch-mechanischer Ermüdung und damit der Lebensdauerberechnung von Bauteilen wie dem Zylinderkopf. Damit soll auch ein Schritt von der Auslegungsrechnung mit 3D-Berechnungswerkzeugen hin zur 3D-Absicherungsrechnung realisiert werden.

Um die Berechnungszeit relativ zu einer kompletten 3D-Berechnung, die eigentlich den Anforderungen entsprechend notwendig wäre, deutlich zu reduzieren, kommt die neuartige Methode der synergetischen 1D-3D-Kopplung zum Einsatz, die die Vorteile der 1D- und 3D-Simulation kombiniert, so dass sowohl Modellierungsaufwand als auch Simulationszeit verringert werden. Die räumliche Auflösung eines 3D-Modells bleibt dabei erhalten. Dieses Ziel wird erreicht, indem die 3D-Fluidseite mit den damit verbundenen Gleichungen für Masse, Impuls, Energie und für die Turbulenzbeschreibung auf ein einfaches, aber genaues 1D-Modell reduziert wird. Die Struktur bleibt dabei dreidimensional aufgelöst. Da jedoch für die Struktur nur eine einfache Wärmediffusionsgleichung gelöst werden muss, können bei hoher räumlicher Auflösung die Berechnungszeiten gering gehalten werden.

Der dreidimensionale, zeitvariable Wärmeeintrag der Verbrennung wird realisiert, indem die räumlich aufgelösten Wärmeeinträge aus einer CFD-Verbrennungs- und Ladungswechselverbrennung an einem repräsentativen Betriebspunkt mit Hilfe eines Kennfeldansatzes auf die jeweils im Zyklus benötigten Motorzustände angepasst werden.

Zur Vervollständigung der thermischen Motorsimulation werden die Teilmodelle für den drucklosen, für den druckbeaufschlagten Ölbereich sowie für die Reibung aus dem Stand der Technik leicht adaptiert und in das Gesamtmodell integriert.

Um zu untersuchen, inwiefern die Methode auf die Motorensimulation angewandt und welche Ergebnisqualität erwartet werden kann, wird in einem ersten Schritt ein komplettes 3D-Motormodell (CHT-Modell) eines 3-Zylinderreihenmotors mit der Kopplungsmethode verglichen. Im zweiten Schritt erfolgt die Validierung des 1D-3D gekoppelten Modells an den experimentellen Ergebnissen für den aktuellen Verbrauchszyklus WLTP (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure) des entsprechenden Motors. Darüber hinaus wird die entwickelte Methode noch auf einen 6-Zylinderreihenmotor zur Berechnung eines Motorabsicherungslaufs angewandt.

Abstract

The aim of this work is the development of a dynamic engine model that provides precise, spatially resolved information in the form of temperature fields in the time scales of consumption and protection cycles. These are essential puzzle pieces for the calculation of thermal-mechanical fatigue and thus the service life calculation of components such as the cylinder head. This should also be a step from the design calculation with 3D calculation tools to the 3D hedging calculation.

In order to significantly reduce the calculation time relative to a complete 3D calculation, which would actually be necessary according to the requirements, the new method of synergetic 1D-3D coupling is used, which combines the advantages of 1D and 3D simulation that both modeling effort and simulation time are reduced. The spatial resolution of a 3D model is preserved. This goal is achieved by reducing the 3D fluid side with the associated equations for mass, momentum, energy and for the turbulence description to a simple but precise 1D model. The structure remains three-dimensional. However, since only a simple heat diffusion equation has to be solved for the structure, the calculation times can be kept short with high spatial resolution.

The three-dimensional, time-variable heat input from the combustion is realized by adapting the spatially resolved heat inputs from a CFD combustion and gas exchange combustion at a representative operating point to the engine conditions required in each cycle using an engine map approach.

To complete the thermal engine simulation, the partial models for the unpressurized, for the pressurized oil area and for the friction are derived from state of the art and integrated with small adjustments into the overall model.

In order to investigate to what extent the method is applied to the engine simulation and what result quality can be expected, a complete 3D engine model (CHT model) of a 3-cylinder in-line engine is compared with the coupling method. In the second step, the 1D-3D coupled model is validated based on the experimental results for the current consumption cycle WLTP (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure) of the corresponding engine. In addition, the developed method is still applied to a 6-cylinder in-line engine for the calculation of a motor protection run.