
Design and Analysis of High Speed Pumps

(RTO-EN-AVT-143)

Executive Summary

The motivation for this course is the worldwide growing interest in space propulsion and the increased use of more compact and lighter pumps in industrial applications. This search has led to an increased rotational speed up to the point where cavitation and rotordynamics become a major issue. The purpose of present lectures is to provide an overview of the present understanding about those phenomena and to discuss other aspects that are of major importance for advanced high speed pumps.

The main consequences of cavitation are performance breakdown and hydraulic instabilities. Experiments on simplified models are described, revealing the origin of cavitation, the different forms under which it appears and the influence of thermal effects and nuclei content on its development. These findings are supported by overall performance measurements, unsteady pressure- and optical measurements in real rotating components. Numerical simulations on 2D models have been used to reveal the influence of numerical and physical parameters. First applications to high-speed rocket pump cavitation prediction are presented.

The increased power density and the search for lighter pumps enhance also the risk for rotordynamic problems in which seals and bearings play a critical role. The flow mechanisms in the different types of fluid film bearings and seals are presented, emphasizing that the stability criteria for constant density fluids are considerably different from the ones for compressible gasses. A better understanding of them for hydrostatic and hydrodynamic bearings has resulted in an improved reliability and an extension of the field of applications, not only for cryogenic turbopumps but also for various oil free applications.

Flow instabilities such as rotating stall, surge, rotating cavitation and cavitation surge are discussed and compared with one- and two dimensional stability analyses. The lectures focus on the cause and characteristics of those instabilities with special attention to cavitation instabilities in inducers. They are illustrated by experimental results.

Inlet distortion and impeller volute interaction may be an important source of mechanical excitation for impeller and shaft when operating at off design conditions. Both loss mechanisms and unsteady forces are better understood thanks to a more accurate modeling by means of Computational Fluid Dynamics (CFD).

A better physical description of the cavitation phenomena and the extension of the numerical cavitation models to 3D flow are challenging targets for the coming years.

Conception et analyse des pompes à grande vitesse (RTO-EN-AVT-143)

Synthèse

Ce cours est motivé par le renforcement, à l'échelle mondiale, de l'intérêt pour la propulsion spatiale, et par l'utilisation accrue de pompes plus compactes et plus légères dans les applications industrielles. Cette recherche a conduit à une telle accélération rotative que la cavitation et la dynamique des rotors deviennent un problème majeur. L'objet des présentes conférences est de fournir une vue d'ensemble de la compréhension actuelle de ces phénomènes, et d'examiner d'autres aspects d'importance capitale pour les pompes à grande vitesse de niveau avancé.

Les principales conséquences de la cavitation sont l'effondrement des performances et les instabilités hydrauliques. Des expériences sur modèles simplifiés sont décrites, révélant l'origine de la cavitation, les différentes formes sous lesquelles elle apparaît, et l'influence des effets thermiques et du contenu des noyaux sur son développement. Ces résultats sont étayés par des mesures de performance générale, des mesures de pression instable et des mesures optiques des composants rotatifs réels. Des simulations numériques sur des modèles en 2D ont été utilisées pour démontrer l'impact des paramètres physiques et numériques. Les premières applications sur la prédiction de cavitation des pompes de fusée à grande vitesse sont présentées.

L'accroissement de la puissance volumique et la recherche de pompes plus légères augmentent également le risque de problèmes de dynamique des rotors, problèmes dans lesquels les joints et les paliers jouent un rôle critique. Les mécanismes d'écoulement dans les différents types de joints et de paliers à film lubrifiant sont présentés, soulignant le fait que les critères de stabilité des fluides à densité constante diffèrent considérablement de ceux des gaz compressibles. Une meilleure compréhension de ces critères pour les paliers hydrostatiques et hydrodynamiques a conduit à un accroissement de la fiabilité et à une extension du champ d'applications, pas seulement pour les turbopompes cryogéniques, mais également pour diverses applications sans graissage.

Les instabilités d'écoulement, telles que le décrochage tournant, les variations de pression, la cavitation tournante et les variations de cavitation, sont examinées et comparées aux analyses de stabilité unidimensionnelles et bidimensionnelles. Les conférences se concentrent sur la cause et les caractéristiques de ces instabilités, en portant une attention particulière aux instabilités de cavitation dans les roues d'entrée. Elles sont illustrées par des résultats d'expérimentations.

La distorsion de l'ouïe d'admission et l'interaction de la volute de la turbine peuvent représenter une source importante d'excitation mécanique pour la turbine et l'arbre lors d'un fonctionnement dans des conditions inadaptées. Les mécanismes de perte, tout comme les forces instables, sont mieux compris grâce à une modélisation plus précise au moyen de la dynamique des fluides numérique (CFD).

Une meilleure description physique des phénomènes de cavitation et l'extension des modèles de cavitation numériques à l'écoulement en 3D représentent les défis des prochaines années.