

La simulation de process progresse

A l'occasion du Salon Industrie 2008 qui s'est tenu au début du mois d'avril à Paris, l'association Nafems avait convié plusieurs industriels à partager leur expérience autour du thème de la simulation de process. Bref compte-rendu des témoignages les plus intéressants.

Nucléaire : omniprésence des soudures

Comme le soulignait dans son introduction Philippe Gilles, Expert en soudage chez Areva NP : « il n'y a pas de structure sans soudure, pas de soudage sans risque de dommage. Et dans notre domaine d'activité qu'est le nucléaire, l'endommagement n'est pas acceptable. Or les soudures sont omniprésentes au sein de nos installations. »

Le soudage de composants soumis à des règles de sûreté n'est pas une opération simple. Il y a des risques de défauts notamment de fissuration, des difficultés de fabrication (chauffer assez vite pour éviter le piégeage d'hydrogène et une Zone Affectée Thermiquement trop grande, mais pas de surchauffe pour éviter les gros grains), il faut respecter strictement la composition chimique du métal d'apport pour assu-

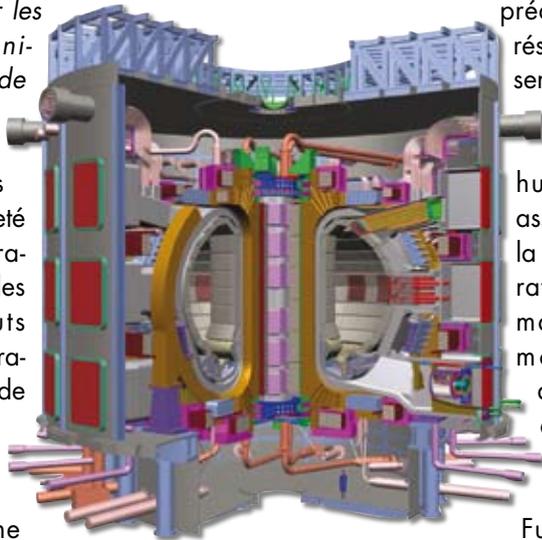
rer une bonne résistance mécanique, mais également éviter les contraintes résiduelles qui augmentent le risque de corrosion, la fatigue, ou la rupture fragile. « La maîtrise des techniques de soudage est donc pour nous un enjeu majeur et fait l'objet d'un soin maximum. Cela passe par la sévérité des spécifications, la rigueur du contrôle qualité, le déten-

sionnement des composants pour réduire les contraintes résiduelles, ou leur prise en compte lorsque cela n'est pas possible, et l'analyse en service des soudures. Dans ce contexte, la simulation numérique apporte une aide précieuse. » Son utilisation n'est pas nouvelle. Rappelons que Framatome a développé le logiciel Sysweld en 1979.

Ce type d'outil permet de prédire les contraintes résiduelles pour analyser l'intégrité dans les dossiers sensibles.

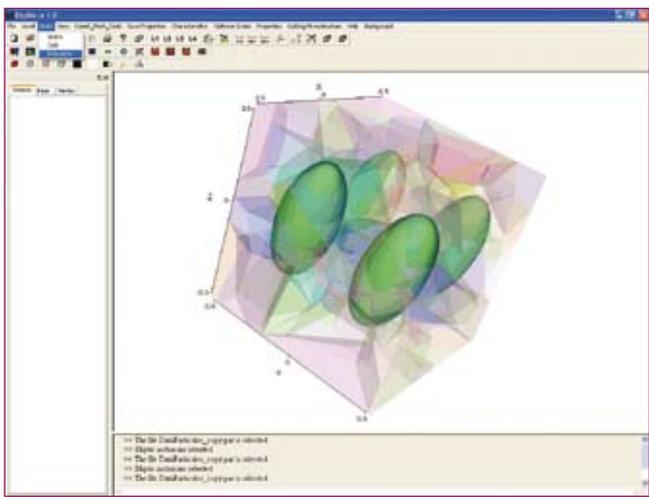
Par ailleurs, depuis huit ans, Areva NP assure industriellement la simulation des réparations par soudage, mais également la modélisation des distorsions de grandes structures. Enfin, il faut noter que l'EFDA (European Fusion Development Agreement) a exigé que les premières études de faisabilité de la chambre à vide d'ITER soient accompagnées de simulation numérique du soudage.

Le réacteur expérimental de fusion nucléaire ITER bénéficie pleinement de l'apport de la simulation de soudage dès la phase de conception de la chambre à vide.



Simuler l'intégrité des soudures et leur réparation

Philippe Gilles a présenté en détail les travaux d'Areva NP en matière d'analyse d'intégrité des soudures et notamment l'utilisation de codes éléments finis pour modéliser le process complexe : opération de beurrage, traitement thermique, chanfreinage en V, détensionnement, puis usinage des surfaces interne et externe. « Ces études ont permis de mesurer le niveau des contraintes résiduelles dans les liaisons bimétalliques (LBM) et donc d'optimiser le process. » Seconde application du numérique : simuler l'efficacité des réparations de LBM par Overlay. « L'apport du numérique dans ce cas s'est traduit par une optimisation de la technique de réparation : sur un cas pratique, 200 passes ont suffi là où l'opérateur en faisant habituellement 400 ! » Enfin, dans le cas du réacteur nucléaire ITER de Cadarache, la simulation est employée en phase de conception, notamment pour prédire les distorsions dues au soudage, et ainsi respecter les tolérances exigées (5 mm sur des composants de plus de 5 m dans le cas de la chambre à vide) sur des kilomètres de soudure ! L'entreprise



Modélisation de la microstructure en simulation de forgeage. Doc. PSA.

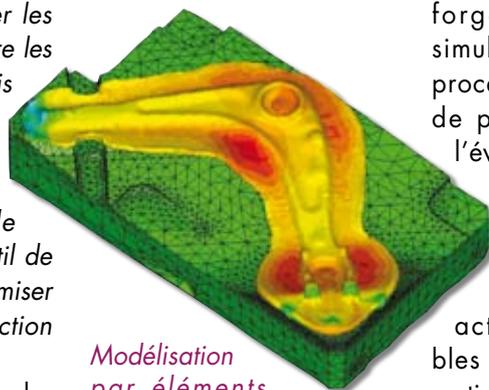
a par ailleurs mené une campagne d'essais qui a montré une forte corrélation avec les résultats issus du calcul numérique. L'expert a finalement conclu : « la simulation numérique des opérations de soudage a atteint un bon niveau de prédictibilité. Les résultats encourageants acquis nécessitent une caractérisation détaillée du comportement, ainsi que des discrétisations fines : le développement de techniques simplifiées et d'outils de mise en œuvre rapide sont cependant incontournables ! Un important effort de validation est engagé par Areva pour réaliser des cas tests élémentaires et industriels. Signalons enfin que nous travaillons avec des partenaires sur la simulation du procédé de soudage Tig. »

Simulation multi-objectifs

Second exposé qui a retenu notre attention, celui de Nicolas Dufaure, Responsable du service simulation matériaux chez PSA Peugeot Citroën, qui abordait la modélisation du forgeage. C'est le logiciel Forge 2007 de Transvalor qui est utilisé par PSA pour

répondre à plusieurs objectifs. Le premier est la mise au point des gammes de fabrication. « Il s'agit d'assurer la géométrie de la pièce en fin de gamme, d'éviter la formation de défauts, mais également d'équilibrer les efforts sous presse entre les différentes étapes, puis d'éviter les bavures coûteuses en reprise. La simulation nous permet également de prévoir l'usure de l'outil de forgeage, enfin d'optimiser le coût au mille (réduction du coût matière). » Second but de la simulation : la prévention des risques. Les pièces forgées sont des éléments fondamentaux des systèmes mécaniques. Leur rupture peut être catastrophique et très coûteuse. Or, le process de fabrication est particulièrement influant sur leur tenue. « La simulation numérique est donc employée pour tester des hypothèses d'anomalie, ou préciser les procédures de contrôle à opérer en usine. ». Troisième objectif poursuivi : l'aide au développement de nouveaux procédés. PSA Peugeot Citroën a ainsi mis au point une technique de fabrication combinant le forgeage et la fonderie. Ce procédé

est employé pour fabriquer des pièces en aluminium comme des triangles de suspension par exemple. Forge 2007 a permis de mettre en évidence les contraintes du process comme un compromis écrouissage/allongement dans les zones contraintes en service, mais également la limitation de la formation de bavure. « Dans ce projet, nous avons mis en place une chaîne complète de conception/calcul pour dimensionner les pièces, simuler les opérations de forge et de fonderie. La simulation numérique



Modélisation par éléments finis des opérations de forgeage pour estimer la durée de vie d'outillage. Doc. PSA.

permet d'optimiser les taux de déformation, de limiter la formation de bavures et, finalement, de définir l'ébauche de coulée. »

Forgeage : l'importance du procédé

Le forgeage est donc un procédé de fabrication qui a une influence majeure sur les caractéristiques mécaniques des pièces. Le constructeur automobile souhaite donc parfaire sa maîtrise du process. C'est pourquoi il s'est engagé dans des

travaux de recherche avec de nombreux partenaires comme Ascometal, le CNRS, AscoForge, Transvalor, l'École des Mines de Paris ou l'Ensam d'Anger. L'objectif de ces travaux qui devraient aboutir fin 2008 est de se doter d'un outil permettant de prévoir la durée de vie des pièces forgées.

Ce but ambitieux suppose de répondre aux questions suivantes : quels sont les paramètres mécaniques et microstructuraux qui jouent un rôle significatif sur la tenue à la fatigue d'une pièce industrielle forgée ? Les outils de simulation numérique de process sont-ils capables de prédire précisément l'évolution et l'état final de ces paramètres en fin de forgeage ? Enfin, les modèles de fatigue multiaxiale actuels sont-ils capables d'intégrer ces informations supplémentaires ? Les réponses permettront d'améliorer la prédiction du dimensionnement de pièces forgées en intégrant l'histoire thermomécanique et microstructurale des matériaux. « La connaissance du process de forgeage met en évidence l'anisotropie des pièces, notamment vis-à-vis de sollicitations en fatigue. Il s'agit donc de modéliser cette anisotropie et d'aboutir à une chaîne numérique partant de la pièce forgée à concevoir et aboutissant à la prédiction de la fatigue, en passant par la simulation du procédé avec Forge 3 et la simulation comportementale à l'aide du logiciel Abaqus » conclut Nicolas Dufaure. ■