

Développement d'outils d'assistance à la fabrication de ressorts en intégrant la caractérisation fine des propriétés élastoplastiques des fils métalliques.

Contact : manuel.paredes@insa-toulouse.fr

Contexte

Les liaisons élastiques et plus communément les ressorts à base de fil métalliques sont fréquemment utilisés dans les systèmes mécaniques pour emmagasiner puis restituer de l'énergie. De nombreux brevets récents incluent ce type de composants [DEN 18, KAN 18,].

La conception et la fabrication de ressorts s'inscrivent dans un contexte mondialisé fortement concurrentiel [CHA 17] avec des évolutions constantes au niveau des machines de production [ITA 14, CHI 18] et des matières premières [SCH 18, TAK 17]. Pour se démarquer de la concurrence, les entreprises européennes se positionnent sur les segments haut de gamme avec des conceptions et des fabrications qui repoussent les limites des connaissances.

Cette thèse CIFRE s'inscrit dans le cadre du laboratoire commun de recherche nommé « Spring Technology ReseArch INstitute » (STRAIN), entre CGR et l'ICA.

CGR est un fournisseur mondial de ressorts, de pièces métalliques et métalloplastiques pour le secteur industriel. CGR bénéficie ainsi d'une expertise technique et de savoir-faire dans le domaine de la conception et la fabrication de liaisons élastiques par ressorts.

CGR international, chiffres clés :

- 19 sites de production situés en France, Espagne, Allemagne, Pologne, Chine, Brésil, Mexique, Roumanie et Hongrie
- Chiffre d'affaires de 155 millions d'euros, en progression constante
- 1400 personnes réparties sur 5 divisions

L'ICA bénéficie d'une connaissance particulière dans les domaines de la modélisation numérique, le développement de modèles de calcul avec une démarche de caractérisation expérimentale sur des systèmes mécaniques, des multi-matériaux, ainsi que des liaisons élastiques [PAR 00, ROD 06].

L'ICA, chiffres clés :

- Regroupe l'École des Mines d'Albi-Carmaux (Mines Albi), Institut National des Sciences Appliquées of Toulouse (INSAT), Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace (ISAE), Université Paul Sabatier - Toulouse 3 (UPS) sur 3 sites : Toulouse, Albi et Tarbes ;
- 200 personnes dont 90 doctorants
- 20 thèses soutenues par an et 160 publications scientifiques par an

Objectif

La cible prioritaire de travail collaboratif concerne le développement d'outils d'assistance à la conception et à la fabrication de ressorts en intégrant la caractérisation fine des propriétés élastoplastiques des fils métalliques.

D'un point de vue industriel, la problématique concerne l'amélioration de la maîtrise de la fabrication de ressorts. En effet, les ressorts sont fabriqués à partir de la déformation plastique de fils tréfilés [LAM 14, ABD 95, MON 91] livrés généralement sous forme de bobine. A ce jour, les normes en vigueur sur les matériaux et en particuliers sur les aciers [NF EN 10270] sont peu contraignantes pour les fabricants de fils et les caractéristiques des matériaux livrés peuvent varier de façon très significative et engendrer des difficultés de stabilité des productions en particulier lors des changements de lots de matière. Il y a donc un besoin de montée en compétence sur la capacité à caractériser finement les propriétés mécaniques des fils, directement sur les chaînes de production, de manière à permettre une anticipation des réglages des machines sans nuire à la productivité. De plus, une fois formé, le ressort subi des opérations de finitions comme le grenailage [KOB 98, TOR 02], la préconformation [JON 09a, JON 09b] ou encore des traitements thermiques [BAR 18] qui modifient les contraintes résiduelles dans le fil [KRI 96] et impactent les caractéristiques dimensionnelles des ressorts ainsi que la tenue en fatigue. Cette étude globale permettra d'alimenter une base de données servant de base à une analyse théorique plus fine qui pourra être exploitée en phase amont, en bureau d'étude. Il y a en effet un intérêt à intégrer les effets de fluctuation de propriétés de matière et des procédés de fabrication sur les caractéristiques finales des ressorts pour concevoir chaque ressort, de manière optimale robuste et fiable en fonction de l'application souhaitée [PAR 02, PAR 05].

Il y a donc un enjeu majeur à la fois scientifique et industriel à bien caractériser les effets de ces opérations de manière individuelle mais aussi surtout sur les couplages entre ces opérations pour obtenir une vision globale sur l'ensemble du processus de conception et de fabrication. Cette connaissance pourra ensuite être synthétisée et intégrée sein d'outils d'assistance [HUB 16, PAR 14, PAR 09, SCA 04] qui seront utilisés à la fois en bureau d'étude et production. En outre, les méthodes déployées pourront alimenter les compétences du laboratoire et rayonner au-delà du domaine des ressorts vers les assemblages mécaniques par exemple : boulons, rivets... pour lesquels les mêmes problématiques sont abordées.

Organisation des travaux de recherche

Les travaux porteront en premier lieu sur les aspects composition chimique initiale des fils en acier, sur les techniques de tréfilage pour l'obtention des fils ainsi que sur les techniques de caractérisation mécaniques de fils (micro dureté, essais de traction, essais de flexion, imagerie). L'évolution des caractéristiques mécaniques en fonction de la profondeur (caractéristiques en surface VS à cœur) ainsi que les précontraintes éventuelles seront étudiées avec précaution.

Ensuite, l'impact des caractéristiques mécaniques et états matières sur la mise en forme sera investigué en tenant compte des diverses techniques employées (enroulement sur mandrin ou en poussant le fil) et des types de ressorts fabriqués (ressorts de compression, de traction, de torsion).

Dans un deuxième temps, les travaux porteront sur l'influence des traitements thermiques qui peuvent être introduits à chaque phase de la fabrication (livraison du fil, après formage, après préconformation, après grenailage ou autre traitement de finition) sur la tenue en statique et en fatigue des ressorts. Cette connaissance permettra d'optimiser les règles de production pour chaque cas d'application.

Par la suite, les résultats obtenus sur les fils en aciers seront étendus aux autres matériaux utilisés par CGR et à l'ICA (base nickel, base titane, base cuivre, base cobalt...) et aussi à d'autres formes (feuillards, plaques...).

D'un point de vue méthodologique, les travaux seront abordés selon un triple éclairage : simulations numériques, expérimentations, calculs analytiques.

Des expérimentations en laboratoire et sur site de production alimenteront des bases de données qui permettront d'affiner les modèles de simulations numériques (1D, 2D, 3D...). Ces modèles de simulations seront exploités pour réaliser des plans d'expériences numériques pour couvrir les champs d'applications identifiés et permettront une analyse fine de la relation entre comportement local des matériaux et le comportement global des ressorts. Enfin les résultats issus de simulations alimenteront la construction de modèles analytiques ou semi-analytiques simplifiés exploitables en bureau d'études ou en production.

Agenda prévisionnel : début de thèse envisagé pour janvier 2009

T0 (janvier 2019) : analyse bibliographique sur la caractérisation fine des propriétés élastoplastiques des fils en acier pour la fabrication des ressorts et sur les traitements thermiques appliqués aux ressorts

T0 + 6 mois : essais expérimentaux et simulations numériques sur la ou les méthode(s) de caractérisation sur un cas test ainsi que sur les traitements thermiques

T0 + 12 mois : mise en place d'un outil d'assistance analytique ou faiblement numérique exploitable à la fois en conception et en fabrication

T0 + 18 mois : début de la phase de maturation par confrontation de l'outil d'assistance aux situations opérationnelles en fabrication et en conception

T0 + 30 mois : rédaction du manuscrit de thèse de doctorat

T0 + 36 mois : soutenance de la thèse de doctorat

Bibliographie

[ABD 95] Abdellatif Abdellaoui. Etude de la texture cristallographique de fils d'acier perlitiques en fonction des conditions de tréfilage : influence sur les propriétés mécaniques. Université Paul Verlaine - Metz, 1995. Français. <NNT : 1995METZ043S> . <tel-01776851>

[BAR 18] Terry Bartel, Heat Treating, Springs, The international Magazine of Spring Manufacture, Official publication of the SMI, Vol. 57, n°2, pp 34-39, 2018.

[CHA 17] L. Chabbi et al., Challenges and Innovation in Steel Wire Production, Materials Science Forum, Vol. 892, pp. 3-9, 2017, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.892.3>

[CHI 18] Kang, Chin-huo, Wire forming device, US Patent 20180065169A1

[DEN 18] Gregory W. Deneszczyk, Joaquin J. Affonso, III, Spring pack assembly for a torque transmitting device, US Patent US20180163794A1

[HUB 16] Arnaud Hubert, Pierre-Alain Yvars, Yann Meyer, Laurent Zimmer. Conception préliminaire optimale des systèmes électriques. Une approche par synthèse. Symposium de Genie Electrique, Jun 2016, Grenoble, France. <hal-01361632>

[ITA 14] Ichiro Itaya, Wire forming apparatus, US Patent US14487757

[JON 09a] A. Jones, M. Paredes , Prestressing of Compression Springs Part1: Theoretical Study, Springs, The international Magazine of Spring Manufacture, Official publication of the SMI, Vol. 48, n°1, pp 48-52, 2009.

[JON 09b] A. Jones, M. Paredes, Prestressing of Compression Springs Part2: Experimental Study, Springs, The international Magazine of Spring Manufacture, Official publication of the SMI, Vol. 48, n°2, pp 43-47, 2009.

[KAN 18] Takaya Kanazawa, Brake device of vehicular seat adjuster, US PATENT US20180147957A1

[KOB 98] M Kobayashia, T Matsui, Y Murakami, Mechanism of creation of compressive residual stress by shot peening, International Journal of Fatigue, Volume 20, Issue 5, May 1998, Pages 351-357. [https://doi.org/10.1016/S0142-1123\(98\)00002-4](https://doi.org/10.1016/S0142-1123(98)00002-4)

[KRI 96] J. Krier, P. Mille, A. Cornet, Analyse par diffraction X des contraintes résiduelles générées par le procédé de fabrication des ressorts de soupape hélicoïdaux, Journal de Physique IV Colloque, 1996, 06 (C4), pp.C4-267-C4-272. <10.1051/jp4:1996425>. <https://hal.archives-ouvertes.fr/jpa-00254308>

[LAM 14] Aude Lamontagne. Etude des mécanismes physiques responsables des évolutions microstructurales des aciers perlitiques au cours du tréfilage et du vieillissement post-tréfilage. Matériaux. INSA de Lyon, 2014. <NNT : 2014ISAL0109>. <tel-01232032>

[MON 91] Tony Montesin. Influence des conditions de tréfilage sur la texture cristallographique et sur les propriétés mécaniques des fils fins : application au steelcord. Université Paul Verlaine - Metz, 1991. Français. <NNT : 1991METZ022S>. <tel-01775946>

[NF EN 10270] Norme européenne, Fils en acier pour ressorts mécaniques, NF EN 10270-1 ; NF EN 10270-2 ; NF EN 10270-3, 2001.

[PAR 00] Manuel Paredes, Développement d'outils d'assistance à la conception optimale des liaisons élastiques par ressorts, thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2000. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00255988>

[PAR 05] Manuel Paredes, Marc Sartor, Alain Daidié, 2005, Advanced assistance tool for optimal compression spring design, Engineering With Computers, An International Journal for Simulation-Based Engineering, Springer, v21 n°2, December, pp 140-150. <http://dx.doi.org/10.1007/s00366-005-0318-6>.

[PAR 02] Manuel Paredes, Marc Sartor, Cédric Masolet, 2002, Obtaining an optimal compression spring design directly from a user specification, Journal of Engineering Manufacture Part B, Proceedings of the institution of mechanical engineers, v 216, p 419-428, ISSN 09544054.

[PAR 09] Manuel Paredes, 2009, Methodology to build an assistance tool dedicated to preliminary design: application to compression springs, International Journal on Interactive Design and Manufacturing, Springer, v 3, n 4, p 265-272. <http://dx.doi.org/10.1007/s12008-009-0079-3>

[PAR 14] Manuel Paredes, Romain Canivenc, Marc Sartor, 2014, Tolerance optimization by modification of Taguchi's robust design approach and considering performance levels: Application to the design of a cold-expanded bushing, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering, v228 (3), p 1313-1323, <http://dx.doi.org/10.1177/0954410013489953>

[ROD 06] Emmanuel Rodriguez, Etude du comportement des ressorts coniques et ressorts de torsion en vue du développement d'outils de synthèse associés, thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2006. <http://eprint.insa-toulouse.fr/archive/00000130/>

[SCA 04] Dominique Scaravetti. Formulation préalable d'un problème de conception, pour l'aide à la décision en conception préliminaire. Mécanique. Ecole nationale supérieure d'arts et métiers - ENSAM, 2004. <tel-00008800>

[SCH 18] Jeremy E. Schaffer, Method for imparting improved fatigue strength to wire made of shape memory alloys, and medical devices made from such wire, US Patent US10041151B2

[TAK 17] Atsuhiko TAKEDA, Tomokazu MASUDA, Sho TAKAYAMA, Rolled material for high strength spring, and wire for high strength spring, US Patent US20170058376A1

[TOR 02] MAS Torres, HJC Voorwald, An evaluation of shot peening, residual stress and stress relaxation on the fatigue life of AISI 4340 steel, International Journal of Fatigue, Elsevier, 2002.