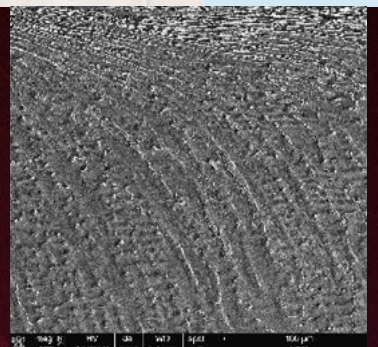
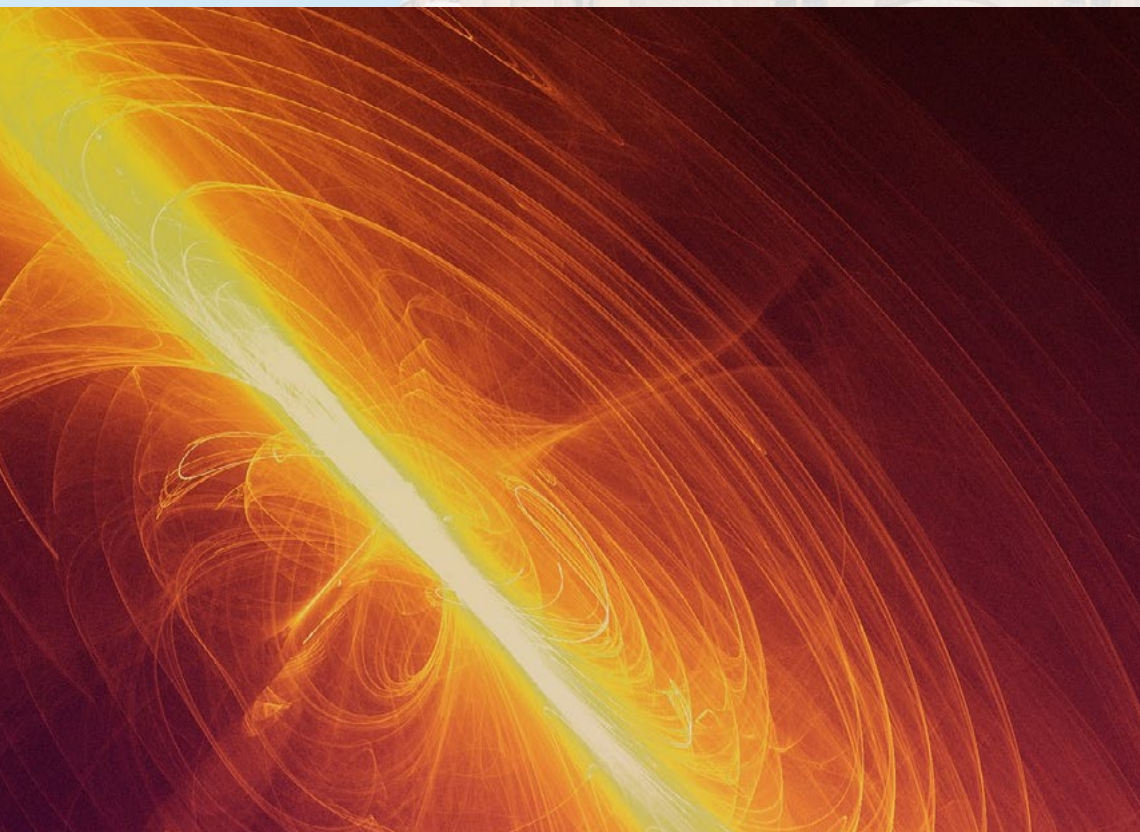


PROGRAMME ET RECUEIL DES RÉSUMÉS

Moules et Outils

Etat de l'art et nouvelles
avancées dans les outillages
de mise en forme

9 et 10 novembre 2023
IMT Mines Albi



Le colloque Moules et Outils 2023 organisé par l'A3TS, le Cercle d'Études des Métaux et l'IMT Mines d'Albi sur deux journées, les 9 et 10 novembre 2023, rassemble vingt-sept communications réparties en trois thématiques : l'apport de la simulation numérique, les nouveaux procédés appliqués aux outillages, l'évolution des matériaux d'outillage et les traitements de surface.

Simulation numérique : Cette thématique regroupe sept communications ; deux sur les sollicitations mécaniques (ESI France et Université de Valenciennes), deux sur les sollicitations thermiques (IMT Mines de Saint Etienne et Université de Valenciennes), deux sur l'utilisation de l'intelligence artificielle pour la conception de nouvelles métallurgies (Université de Nantes et ENSAM) et une sur la création d'un jumeau numérique de mise en forme des matériaux appliqué au forgeage (ENSAM Metz).

Conception et nouveaux procédés appliqués aux outillages : Cette thématique regroupe dix communications ; six sur la fabrication additive (IRT Jules Verne, IRT M2P, Pôle EMC2 et Shapers France, CETIM/CTIF, ENISE/LTDS et Forvia-Faurecia), deux sur de nouveaux procédés de finition (CETIM et IRT Saint Exupéry) et deux sur de nouvelles démarches vers l'industrie 4,0 avec la transition vers l'ère du numérique (3DMetDie) et la fonderie d'alliages de titane (Freyssinet Aeroequipment).

Evolution des matériaux d'outillage et traitements de surface : Cette thématique regroupe également dix communications; cinq sur les traitements de surface (groupe HEF, Ion Bond, IRT M2P, Oerlikon France et PD2I), deux sur de nouvelles nuances adaptées à l'évolution des procédés (Industeel et Aubert et Duval), une sur l'utilisation de nouveaux matériaux à partir de mousses métalliques (SANDEN Manufacturing Europe) et deux sur l'adaptation de la surface des outillages à un meilleur comportement tribologique sur le plan mécanique (Rolling Process Consulting) ou microstructural (IMT Mines d'Albi et ENISE).

On notera dans cette édition 2023 l'émergence de l'utilisation de l'intelligence artificielle pour la conception de nouvelles métallurgies, l'apport de la simulation numérique dans le domaine des sollicitations mécaniques et thermiques, l'importance des traitements de surface pour améliorer la performance des outillages et le développement de la fabrication additive dans les nouveaux procédés appliqués aux outillages.

PROGRAMME DES JOURNEES

JEUDI 09 NOVEMBRE 2023

08h00 Accueil des participants

09h00 Ouverture des journées Moules et Outils par les organisateurs

SIMULATION NUMERIQUE I

09h30 Prise en compte de la déformation des outils (et presses) dans les simulations d'emboutissage.
Frédéric GUILLON (ESI France)

09h50 Simulation numérique du renfort imprimé des outillages de mise en forme sollicités en conditions sévères.

Yabo JIA (INSA & Université Valenciennes), Hakim NACEUR (Université de Valenciennes), Laurent DUBAR (Université de Valenciennes)

10h10 Création d'un jumeau numérique de mise en forme des matériaux pour des enseignements immersifs et interactifs.

Cyrille BAUDOIN (ENSAM Metz), Florian BARATTO (ENSAM Metz), Yoan LOCARD (ENSAM Change), David URIBE (ENSAM Metz), Camille DURAND (ENSAM Metz), Tudor BALAN (ENSAM Metz), régis BIGOT (ENSAM Metz)

10h30 Pause-café

CONCEPTION ET NOUVEAUX PROCEDES APPLIQUES AUX OUTILLAGES

11h00 Enhance lead time of invar composite mold by hybrid welding and WAAM strategies
Grégoire BAZIN, Sébastien RUBRECHT, Valentine LEGRAND, Alexandre BENOIT, Thomas PANNELIER,
Yves LE GUENNEC, Julien LIVET, Gaspard BOURGEOIS (IRT Jules Verne)

11h20 Polissage de surfaces d'outillages par robot, cobot ou CU
Stéphane GUERIN (CETIM Saint-Etienne)

11h40 Parachèvement des pièces de fabrication additive complexes par polissage chimique de recirculation
Jérôme FRAYRET, Joffrey TARDELLI (IRT M2P)

12h00 Pause déjeuner

EVOLUTION DES MATERIAUX D'OUTILLAGE & TRAITEMENTS DE SURFACE

14h00 Projet OUMOISS : Intégration de technologies innovantes pour le développement de moules optimisés thermiquement.

Hervé MOTTE (SHAPERS' France), Jérôme LECUYER (SANDEN Manufacturing Europe),

14h20 SP450 : solution alternative aux aciers W1.2343/AISI H11 pour le moulage d'injection plastique.

Aurélien CHAIZE, Marine LACHAL, Perrine LAVALLEY, David QUIDORT (ARCELOR MITTAL Industeel)

14h40 Traitements de surface dans les applications d'injection plastique : Quand ? Pourquoi ? Comment ?

Maurice COLIN, Sébastien PEYRACHE (HEF Groupe)

15h00 Mastering Challenging Hot Forming Applications

Dr-Ing. Tobias BRÖGELMAN ; Dr. Ton HURKMANS ; Jessica OWENS-MAWSON ; Ph.D George SAVVA ; Jean-Michel DEBOIS ; Philippe BRUCKER (IonBond Netherlands, IonBond USA, IonBond France)

15h20 Chromage dur à partir de chrome trivalent pour les applications les plus exigeantes

Jérôme FRAYRET, Joffrey TARDELLI (IRT M2P)

15h40 Pause-café

SIMULATION NUMERIQUE II

16h10 Conception computationnelle et étude expérimentale de revêtements métalliques durs résistants à l'usure.

Franck TANCRET (Nantes Université), Anna FRACZKIEWICZ (Mines de Saint-Etienne), Jean DHERS (Framatome) Lisa RATEAU (Nantes université IMN, Mines St Etienne LGF, Framatome), Gérard RAMSTEIN (Nantes Université LS2N)

16h30 Experimental and Numerical Analysis of Material Transfer in Hot Aluminum Forming Process : Ways of Progress for the Protection of Tools.

Panuwat SORANANSRI, André DUBOIS, Philippe MOREAU, Laurent DUBAR (Université de Valenciennes)

16h50 Effet des paramètres d'austénitisation sur l'évolution de la microstructure et des propriétés après revenu d'une nouvelle nuance d'aciers pour moules

Caio ALMEIDA Da FONSECA (ENSAM), Maha MESSAADI (ENSAM), Marine LACHAL (Industeel Arcelor Mittal Group), Maxence GUATTERI (Industeel Arcelor Mittal Group), David QUIDORT (Industeel Arcelor Mittal Group), Denis DELAGNES (ICA), Moukrane DEHMAS (CIRIMAT), Myriam DUMONT (ENSAM)

17h10 Interactions thermiques et chimiques dans les procédés de coulée d'alliages métalliques légers.

Christophe DESRAYAUD (IMT Mines Saint Etienne), Véronique BOUVIER (Saint-Jean Industries)

17h30 Visite et Dîner

VENDREDI 10 NOVEMBRE 2023

EVOLUTION DES MATERIAUX D'OUTILLAGE & TRAITEMENTS DE SURFACE II

09h00 Matériaux pour la fabrication additive laser d'outils
Peter VIKNER (Aubert & Duval)

09h20 Revêtements optimisés pour outillages de fonderie et d'injection plastique
Eric THIEFFRY (Oerlikon Surface Solutions)

09h40 Évolution des technologies et des processus PVD et PECVD pour répondre aux exigences des outillages de mise en forme et des moules.
Pierre COLLIGNON (PD2I SAS)

10h00 Importance de la rugosité surfacique des cylindres dans le processus de laminage à froid des aciers et développement de meules de rectification adaptées.
Claude GASPARD et Daniel CAVALIER (Rolling Process Consulting- RPC), Stefano NATALICCHIO et Andre COLLIN (Saint-Gobain Abrasives- SGA)

10h20 Impact de la microstructure sur le comportement tribologique : corrélation transformation de phase et déformation plastique dans le cas de rechargement d'alliages base cobalt sous chargements élevés pour applications outillages.
Christine BOHER (ICA), Elodie CABROL (ENISE)

10h40 Pause-café

CONCEPTION ET NOUVEAUX PROCÉDES APPLIQUES AUX OUTILLAGES

11h10 Projet Grade2XL : Fabrication de pièces métalliques multi-matériaux de grande taille grâce à la technologie WAAM.
Hervé MOTTE (SHAPERS France)

11h20 Approche Multi-Matériaux pour la Fonctionnalisation et la Réparation d'Outils de Matricage par Procédé LASER Poudre (LMD-p).
Thomas GILLES, Arnaud HACQUIN, Simon PERUSIN, (IRT Saint-Exupéry)

11h40 Outillage coNFormal cooliNg multi matériaux
S. JEDI (CETIM/CTIF), S. SICOT (CETIM/CTIF), JF LOCATELLI (CETIM/CTIF), J. LECUYER (Sanden manufacturing), J. LABARRE (HTS Group)

12h00 Mise en œuvre de l'acier à haute teneur en carbone 100Cr6 en fabrication additive par fusion laser sur lit de poudre (L-PBF)
Elodie CABROL, Philippe BERTRAND (ENISE/LTDS)

12h20 Challenges d'utilisation de fabrication additive Métal dans l'Outillage de Découpage fin
Aurélien ACHILLE (Forvia-Faurecia), Thomas CHIAVAZZA (Forvia-Faurecia), Arthur HOGUILLARD (CED2)

12h20 Pause déjeuner

14h00 Transition d'outillages vers l'ère des giga presses, du numérique et des nouveaux matériaux.
Anwar HAMASSAID (3DMetDie)

14h20 Démarche innovante pour une industrie 4.0 en fonderie d'alliages de titane
Arnaud VOTIÉ (FREYSSINET Aero Group)

15h10 Clôture des journées

3^{èmes} journées Tribologie et Traitement de Surface

**22 et 23
novembre
2023**

SENLIS,
CETIM

Comment maîtriser les frottements et les problèmes d'usure ?





**6 et 7
décembre
2023**

**PALAIS BEAUMONT,
PAU**

8^e conférence

PROJECTION THERMIQUE

**INNOVATION, RÉPARATION
ET RECHARGEMENT**

avec le soutien de

PAU BÉARN
PYRÉNÉES
Communauté d'Agglomération

A3TS

Prise en compte de la déformation des outils (et presses) dans les simulations d'emboutissage

Frédéric GUILLON (ESI France)

En emboutissage, des simulations par éléments finis sont réalisées depuis plusieurs dizaines d'années afin de prédire la faisabilité et qualité (géométrique et cosmétique) des pièces embouties.

Mais dans les modélisations utilisées pour ces simulations, les outils sont usuellement considérés comme infiniment rigides, ce qui dans certains cas peut masquer des phénomènes se produisant dans la réalité, en particulier sur les grands outils.

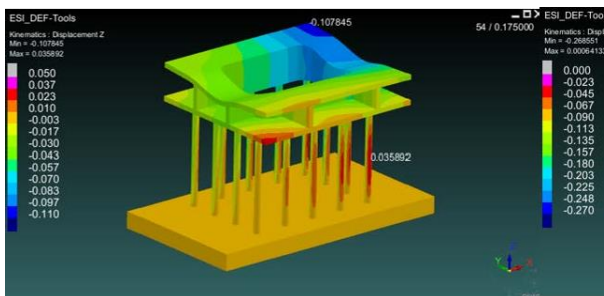
Pour répondre à défi, tout en garantissant des temps de calcul compatibles des plannings projets en vigueur dans le monde automobile, ESI Group a développé une solution permettant de combiner deux calculs en parallèle et interagissant l'un avec l'autre au cours du process : un calcul implicite pour la déformation des outils, et un calcul explicite pour la déformation du flan.

Grâce à cette nouvelle solution, il est désormais possible de prédire beaucoup plus finement l'impact de la déformation des outils sur la mise en forme des outils, mais aussi sur les outils en eux-mêmes.

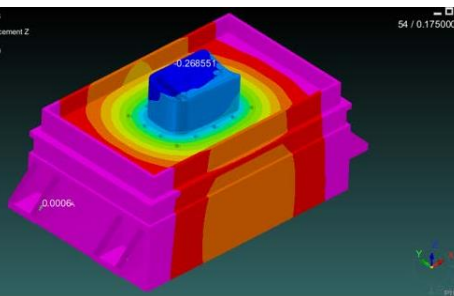
Au cours de la présentation, après une présentation des concepts techniques de la solution, de nombreux exemples d'application potentielles (durée de vie des outils, mise au point numérique, impact sur la qualité d'aspect et géométrique des pièces, optimisation du positionnement des outils, ...) seront présentés.

Illustrations : Cas d'une doublure de porte en prenant en compte la déformation des éléments de la presse et des outils :

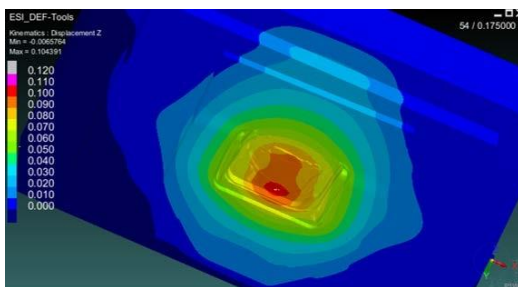
Vue du coussin et serre-flan :



Vue du sommier et poinçon :



Vue du coulisseau et matrice :



Notes :

.....

.....

.....

.....

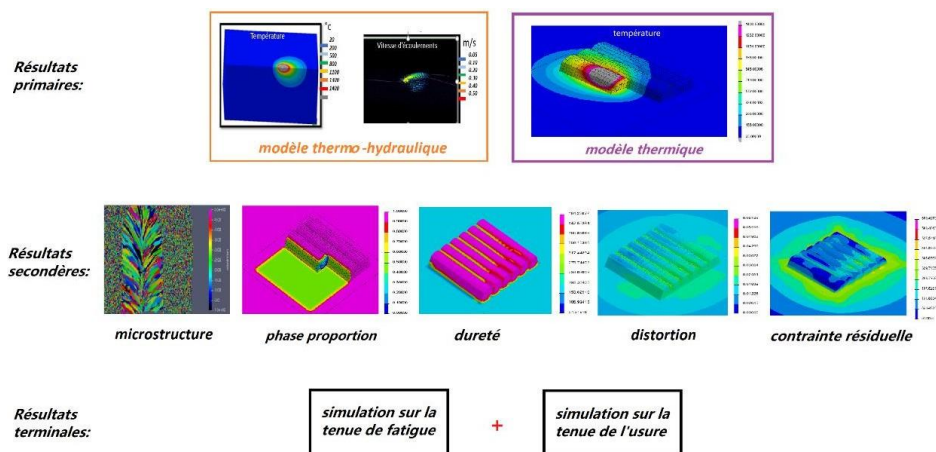
Simulation numérique du renfort imprimé des outillages de mise en forme sollicités en conditions sévères.

*Yabo JIA (INSA & Université Valenciennes), Hakim NACEUR (Université de Valenciennes),
Laurent DUBAR (Université de Valenciennes)*

La fabrication additive (FA) permet de faire la réparation des outils usés, ce qui donnera une seconde vie à l'outil et présente de vrais intérêts en termes d'économie et d'écologie. En revanche, ce problème multiphysiques concernent les couplages de la thermique, de la mécanique ainsi que de la métallurgie durant le procédé de réparation, qui rend leur étude très complexe, mais passionnante. Pour bien maîtriser ces procédés, les approches numériques et expérimentales ont été très utilisées pour bien comprendre des problèmes physiques. Par rapport des mesures expérimentales, la méthode numérique nous permet d'avoir plus d'information sur tous les points durant le procédé et d'apporter des mieux compréhensions.

Dans l'étude de renfort imprimé des outillages, un modèle thermo-hydraulique et un modèle thermomécanique couplé avec le changement de phase ont été proposés et utilisés. Le modèle thermomécanique a été beaucoup utilisé pour simuler les distorsions et contraintes résiduelles lié à la fabrication, et les techniques d'activation des éléments permet de simuler les apports de matière sur la surface l'outil. Les résultats concernant les proportions des phases et la dureté sont également prêts à exploiter. Mais le modèle thermomécanique a toujours besoin des résultats expérimentaux pour calibrer une source chaleur équivalent, et ces procédures de calibration réduisent la productivité du modèle macroscopique. Dans ce cas-là, le modèle thermo-hydraulique nous permet de prédire la distribution de température sans avoir des essais expérimentaux, ça veut dire que les paramètres de fabrication non expérimentés. En plus, ses résultats température peuvent nous servir pour la prédiction des orientations des grains durant la solidification. Ces deux modèles constituent des modélisations multi-échelles et multi-physiques, et ces résultats numériques nous permettent d'étudier les relations entre les paramètres de fabrication et les qualités d'outillage réparé afin de pouvoir améliorer les qualités de réparation (contrainte de résiduelle, distorsion, microstructure, etc.) en optimisant ces paramètres de fabrication.

Figure 1, simulation numérique sur le renfort imprimé des outillages



Notes :

.....
.....
.....
.....
.....

Création d'un jumeau numérique de mise en forme des matériaux pour des enseignements immersifs et interactifs.

Cyrille BAUDOUIN (ENSAM Metz), Florian BARATTO (ENSAM Metz), Yoan LOCARD (ENSAM Change), David URIBE (ENSAM Metz), Camille DURAND (ENSAM Metz), Tudor BALAN (ENSAM Metz), régis BIGOT (ENSAM Metz)

Afin de superviser les processus, de vérifier ou d'optimiser leurs performances, d'anticiper des dérives ou des défaillances, ou encore de former des opérateurs sans immobiliser une chaîne de production, la technologie des jumeaux numériques est de plus en plus développée. Le jumeau numérique d'un système physique existant est défini comme un environnement numérique le représentant et capable de dialoguer avec celui-ci. Des capteurs sur le système physique remontent les informations pour mettre à jour le jumeau numérique en temps réel ; puis des modèles avancés, aux temps de calculs quasiment instantanés, apportent des informations complémentaires, voire des prédictions, pour aider à prendre des décisions ou piloter automatiquement le système physique.

En réponse à l'appel à manifestation d'intérêt « démonstrateurs numériques dans l'enseignement supérieur (DemoES) », les Arts et Métiers, le CNAM, le CEATech et le CESI ont proposé de développer plusieurs jumeaux numériques dans le projet JENII (*Jumeaux d'Enseignement Numériques, Immersifs et Interactifs*) avec un objectif principal de formation. La présentation proposée abordera la méthodologie de construction de l'environnement numérique de l'îlot de forgeage de la plateforme VULCAIN (campus Arts et Métiers de Metz) développée dans le cadre de ce projet. Un modèle avancé, appelé aussi modèle réduit, capable de décrire, en temps réel, l'évolution de la géométrie et des champs (déformation, température, ...) d'un lopin cylindrique dans le cadre d'un refoulement sera également exposé. La stratégie de communication entre les jumeaux physique et numérique sera décrite. Enfin, quelques exemples d'exploitation de ce jumeau numérique dans l'enseignement seront évoqués.

Notes :
.....
.....
.....
.....
.....
.....

*Grégoire BAZIN, Sébastien RUBRECHT, Valentine LEGRAND,
Alexandre BENOIT, Thomas PANNELIER, Yves LE GUENNEC,
Julien LIVET, Gaspard BOURGEOIS (IRT Jules Verne)*

Lack of quality is observed on invar composite mold obtained by foundry processes. Hybrid strategies mixing welding and WAAM are seen as opportunities to reduce both the lead time, the cost and the buy to fly ratio. Robotic prototype cell is used to create the same mold with 3 different methodologies.

The first one is suggested by an algorithm that discretize the complex mold shape into elementary triangle shapetiles. A genetic algorithm optimizes not only the number and the geometry of elementary tiles but also the cost and the technical feasibility of the proposed solution. The dispersion and variability induced by the manufacturing process of the tiles were investigated and taken in consideration in the approach. Numerical tools developed to predict final distortion of the mold and the welding sequences are optimized to minimize distortion. Some non-planar singularities and connection area were done by WAAM. For the first strategy a full software suite is developed. The second one is an optimization of the clamping methodology in order to increase the stiffness of the support while robot accessibility is ensured. It is obtained by a simple discretization of the mold. The third one is a full WAAM strategy with cooling system.

For the three methodologies, dedicated robotic tool to handle collision or welding strategies are implemented successfully. Methodologies are analyzed from a technical and economical point of view.

Keywords

INVAR, composite mold, WAAM, Hybrid strategies,

Notes :
.....
.....
.....
.....
.....

Polissage de surfaces d'outillages par robot, cobot ou CU

Stéphane GUERIN (CETIM Saint-Etienne)

La demande des outilleurs et notamment des moulistes dans la recherche de solutions qui permettraient d'obtenir un polissage automatisé des empreintes de moule est croissante. Dans la fabrication des outillages, 12 à 15 % des coûts de fabrication et 30 à 50 % du temps de fabrication sont alloués au polissage car la majorité d'entre eux sont polis manuellement.



Le Cetim mène différentes études sur le sujet dans le cadre d'un Projet Thématique Transversal sur la finition des surfaces ; études de caractérisation d'outils de polissage, de trajectoires et de programmation, de broches, de dispositifs compliant, de mise en œuvre sur pièces...

Une étude vise à évaluer et positionner les capacités techniques de différentes solutions et moyens pour le polissage d'un galbe d'outillage en acier prétraité.

Outillage de 350*300*60mm



Des mises en œuvre de dispositifs et d'outils de polissage (galetage, martelage, meulage, brossage, feutre) ont été appliquées sur l'outillage et réalisées avec 3 cellules (Centre d'usinage, robot et cobot).



Centre d'usinage 5 axes Hermle Cetim



Cellule robot ABB 6 axes



Cellule flexible cobot Fanuc CRX 30

Des conditions combinatoires ont été déterminées pour chacune des solutions avec les temps de cycle associés et les états de surfaces obtenus ont été caractérisés.

Les résultats recueillis et issus des différentes configurations d'essais ouvrent des perspectives très intéressantes.

Le polissage par robot, cobot ou sur Centre d'usinage avec des outils abrasifs et autres montés dans une broche électrique ou pneumatique pilotés en effort ou non peut offrir un potentiel important pour renforcer la compétitivité et faire baisser de façon significative les temps et les coûts de cette opération.

Notes :

.....

.....

.....

.....

.....

Parachèvement des pièces de fabrication additive complexes par polissage chimique de recirculation

Jérôme FRAYRET, Joffrey TARDELLI (IRT M2P)

La fabrication additive constitue un axe de développement stratégique pour la réduction de masse des pièces de géométries complexes ou pour la production de nouvelles nuances d'alliages non accessibles par métallurgie traditionnelle. Cependant, les procédés de fabrication additive, dits sur lit de poudre, présentent le défaut de laisser des particules partiellement fondues en extrême surface. Ces particules

induisent intrinsèquement une augmentation de la rugosité de surface des pièces (Ra compris entre 5 et 25 μm selon les procédés ; pour comparaison, la rugosité d'une pièce usinée est généralement inférieure à 3,2 μm). Ces particules peuvent aussi présenter un risque de détachement en service avec les problèmes que cela peut comporter sur des pièces sensibles.

Pour résoudre ces points durs, le procédé de polissage chimique a été développé et évalué. Ce procédé a pour avantage de nettoyer la surface des particules résiduelles, grâce à une attaque chimique de l'alliage (et ce même dans des zones difficilement accessibles : canalisations, cavités internes, ...) et d'avoir une action d'abattement de la rugosité de la pièce grâce au principe même de ces solutions de polissage. Ce procédé a été évalué sur des pièces en alliages de titane, aluminium et inconel. Ces développements ont été réalisés dans le cadre des projets AFTER-ALM et NEMO, portés par l'Institut de Recherche Technologique Matériaux, Métallurgie et Procédés (IRT M2P) et qui rassemble plus de 30 partenaires.

Le principe du polissage chimique, différent de celui de l'usinage chimique, repose sur le fait que la cinétique de réaction est accélérée par rapport à la diffusion des réactifs en solution. Les solutions développées pour le polissage chimique des alliages de titane, d'aluminium ou base nickel permettent d'atteindre des réductions de rugosité importantes avec des rugosités finales souvent inférieures à 3 μm . Les conditions de traitement sont variables avec des temps de traitements compris entre 10 minutes pour les alliages d'aluminium à plus de 60 minutes pour les alliages base nickel et les températures de traitement vont de 40-50°C pour le titane ou les alliages base nickel à 85°C pour les alliages d'aluminium. Ces conditions prennent en compte les valeurs de décôte qui sont généralement comprises entre 200 et 300 $\mu\text{m}/\text{face}$. La validation de ces performances a été réalisée sur pièces réelles à différentes échelles selon les procédés, 60, 200 et 1000L. De plus le traitement de pièces complexes ne peut être optimal sans l'utilisation d'outillages et de dispositifs adaptés à chaque géométrie de pièces. C'est pourquoi un système de recirculation a été conçu, réalisé et évalué pour le traitement de tels types de pièces avec des résultats très intéressants sur plusieurs formes et tailles de pièces. La présentation illustrera quelques exemples de réalisation pour le polissage de pièces comprenant des canaux internes et nécessitant la mise en place d'un traitement par recirculation.

Notes :

.....

.....

.....

.....

.....

EVOLUTION DES MATERIAUX D'OUTILLAGE & TRAITEMENTS DE SURFACE

Projet OUMOISS : Intégration de technologies innovantes pour le développement de moules optimisés thermiquement.

Hervé MOTTE (SHAPERS' France), Jérôme LECUYER (SANDEN Manufacturing Europe),

Étendre le concept de « conformal cooling » et structures lattices (mousses métalliques) à des moules pour le domaine de la fonderie aluminium sous pression ou de l'injection thermoplastique grâce à l'utilisation de la fabrication additive et la fonderie pour la réalisation des carcasses et empreintes : c'est le défi relevé par le projet collaboratif OuMouss.

L'intégration de fonctions à forte valeur ajoutée dans les différentes parties du moule nécessite de faire appel à des techniques de fabrication différentes en fonction des applications. Les technologies sont

aujourd'hui bien connues et les matériaux utilisés commencent à donner des résultats satisfaisants dans les applications de fonderie aluminium et d'injection thermoplastique.

Sur la base d'études théoriques, différentes techniques de fabrication, différents matériaux en fonction des caractéristiques de chacune des pièces du moule, ont été mis en œuvre afin de répondre aux objectifs du projet.

Les démonstrateurs industriels réalisés pour l'injection fonderie sous pression et l'injection thermoplastique ont nécessités d'utiliser des technologies variées selon les fonctionnalités recherchées et leurs caractéristiques associées (résistance mécanique, caractéristiques thermiques). Ainsi des technologies telles que l'impression 3D de moules sable, le surmoulage de structures lattice, l'impression 3D métallique laser sur lit de poudre, ont permis de mener à bien la réalisation des démonstrateurs et de montrer l'efficacité des choix techniques retenus.

La présentation permettra d'aborder :

- les objectifs du projet
- les principaux résultats obtenus, et plus particulièrement :
- l'importance de la phase de développement et conception du moule.
- Les moyens de fabrication spécifiques en production pour l'utilisation d'un moule à haute performances thermique.
- Les difficultés et avantages rencontrés en production et maintenance.
- Les premiers résultats et bilans technico économiques suite à l'utilisation des démonstrateurs industriels

Le projet OuMOuss est un projet répondant à l'appel à projet FUI 24 et permettant la collaboration entre 7 partenaires (1 partenaire académique, 2 Centres Techniques Industriels, 4 industriels couvrant la chaîne de valeur).

Notes :

.....

.....

.....

.....

.....

SP450 : solution alternative aux aciers W1.2343/AISI H11 pour le moulage d'injection plastique.

Aurélien CHAIZE, Marine LACHAL, Perrine LAVALLEY, David QUIDORT (ARCELOR MITTAL Industeel)

Mots clés : Acier pour moules, injection plastique, acier prétraité

Dans les applications pour le moulage d'injection de matière plastique abrasive, les aciers à outils types W1.2343/AISI H11 présentant une dureté élevée de l'ordre de 450 HB sont de plus en plus utilisés pour lutter contre l'usure et améliorer la durée de vie des outillages. Le bloc d'acier est tout d'abord ébauché en usinage à l'état adouci (<200 HB), traité thermiquement pour obtenir les propriétés mécaniques voulues puis usiné à nouveau en finition. Ceci engendre des surcoûts et des temps de fabrication augmentés vis-à-vis d'un acier livré prétraité.

Industeel a développé une solution alternative à ces nuances avec l'extension de sa gamme d'aciers

pour applications moules : l'acier Superplast 450. Cet acier livré prétraité à 450 HB reste facile à usiner et offre des temps et coûts de fabrication réduits tout en garantissant de bonnes propriétés d'usage pour l'injection de plastiques abrasifs tels que les polymères renforcés de fibres de verre. La conductivité thermique est également améliorée. Les excellentes propriétés mécaniques rendent également cet acier particulièrement adapté comme acier à outil pour la construction mécanique.

Notes :

.....

.....

.....

.....

.....

Traitements de surface dans les applications d'injection plastique : Quand ? Pourquoi ? Comment ?

Maurice COLIN, Sébastien PEYRACHE (HEF Groupe)

Le marché des moules de plasturgie est un marché mondial en constante évolution. La demande est largement stimulée par la demande pour des pièces en plastique de haute qualité dans une variété d'industries, notamment l'automobile, l'emballage, l'électronique, l'aérospatiale et les biens de consommation.

Le marché peut être divisé en différents segments en fonction des types de moules, des matériaux, des technologies et des régions géographiques. Les types de moules couramment utilisés dans l'industrie comprennent les moules d'injection, desoufflage, de thermoformage, de moulage par compression, par extrusion ou par rotation.

La tendance actuelle vise à toujours pousser plus loin les performances des outils. Ces technologies de fabrication mono-process trouvent un fort intérêt économique dans les deux voies suivantes : L'ajout de fonctions sur les pièces fabriquées sans multiplier les étapes de fabrication

L'augmentation des cadences

Dans ces deux cas les sollicitations imposées aux outils sont de plus en plus fortes, du fait de températures plus élevées, des matières plus techniques, des contraintes mécaniques plus fortes, ...

La conception et la fabrication de moules d'injection plastique mettent en œuvre des processus complexes qui nécessitent une expertise spécialisée. Les moules doivent être conçus de manière que les pièces injectées aient une géométrie précise et une surface de qualité à partir de matériaux tels que l'acier, l'aluminium et les alliages de cuivre.

Cependant ces matériaux présentent des limites car les moules sont soumis à une usure constante en raison de la friction avec les polymères en fusion, la chaleur et les pressions élevées. Cela peut entraîner une déformation, une fissuration ou une perte de texture de la surface du moule, entraînant ainsi une réduction de la qualité des pièces moulées.

Les surfaces jouent alors un rôle clé pour assurer un bon fonctionnement de l'outil et une qualité des pièces pérenne dans le temps.

Afin d'apprécier ces deux problématiques plusieurs solutions peuvent être envisagées pour permettre de lutter contre les différentes problématiques de dégradations que l'on pourrait observer (fissures, corrosion, abrasion, ...), allant du traitement thermique en profondeur du matériau jusqu'aux couches

minces en extrême surface

Durant cette présentation, nous balayerons ces différentes solutions en nous concentrant sur les évolutions de la surface et l'impact tribologique que cela représente pour cette application spécifique. Nous nous attacherons à répondre à 3 grandes questions :

- Quand appliquer un traitement de surface et lequel ?
- Pourquoi appliquer un traitement de surface ?
- Comment appliquer ces traitements de surface pour conserver les propriétés de durabilité recherchées ?

Notes :

.....

.....

.....

.....

.....

Mastering Challenging Hot Forming Applications

*Dr-Ing. Tobias BRÖGELMAN ; Dr. Ton HURKMANS ; Jessica OWENS-MAWSON ; Ph.D
George SAVVA ; Jean-Michel DEBOIS ; Philippe BRUCKER (IonBond Netherlands,
IonBond USA, IonBond France)*

The main goals of the mobility driven global energy system transformation are to increase the efficiency and environmental compatibility of conventional and renewable energy to reduce the global CO2 footprint. More than 60% of all product innovations are based on the development of new and improved high-performance materials, which requires continuous optimization of associated production technologies and manufacturing processes. The right coating solution produced by physical vapor deposition (PVD), chemical vapor deposition (CVD) and plasma-assisted CVD (PACVD) can increase productivity, machine availability, and ensure excellent product quality while minimizing production downtime and scrap rate in forming and molding tool applications.

Within the automotive sector, there is a prime example of continuous development of new materials in the use of press hardened steels (PHS), martensitic and multi-phase ultra-high strength steels (UHSS), dual phase advanced high strength steels (AHSS) in the automotive body-in-white. The associated forming applications such as press hardening and hot forging cover a broad stress and temperature profile that results in complex demands on the forming tools.

This paper introduces the learning curve from industrial field tests during Ionbond's development work on PVD coating solutions engineered to two of the most challenging hot forming applications, press hardening and hot forging. Two different coating concepts, chromium-based nitride and oxide hard coatings are discussed. The gap between basic analysis of the coating solutions and time- and cost-intensive field tests is closed by application-oriented tribological model tests. This accelerated tests under controllable and repeatable conditions include a dip test in molten aluminum alloy and an impact fatigue test.

The primary damage mechanism in press hardening can be attributed to the protective Al-Si coating on the PHS or UHSS blank to prevent its oxidation during austenitization at $T = 950$ °C under atmospheric conditions in direct press hardening. Similar to aluminum high pressure die casting, the coating solution

requires a high resistance to adhesive wear as heavy Al-Si build-up on the die is removed by shear forces during stamping which leads to abrasive wear on the parts and thus ultimately to a high scrap rate. In hot forging, forming temperature plays an even more important role and requires a high hot hardness of the coating solution combined with a high temperature stability to ensure abrasive wear resistance at elevated temperatures. The impact and shear forces during hot forging additionally demand a high impact fatigue resistance. In both applications, the use of duplex processes, i.e., the combination of plasma nitriding and subsequent PVD coating, can contribute to increasing the performance of the coated tools in production.

Notes :

.....

.....

.....

.....

.....

Chromage dur à partir de chrome trivalent pour les applications les plus exigeantes

Jérôme FRAYRET, Joffrey TARDELLI (IRT M2P)

La substitution du chrome hexavalent dans les procédés de traitement de surface représente un enjeu capital pour l'industrie du traitement des métaux car le règlement européen REACH interdit son usage sans autorisation depuis septembre 2017. Son remplacement dans le procédé de chromage dur constitue un défi majeur avec des enjeux considérables. Plusieurs alternatives ont été développées et l'une d'entre elles consiste en son remplacement par des espèces de chrome trivalent, non impactées par les réglementations en vigueur. Ainsi, depuis 2014, l'IRT M2P et ses partenaires industriels et académiques travaillent au développement d'une telle solution pour dépasser les verrous technologiques majeurs liés notamment à la très grande stabilité des ions Cr^{3+} en milieu aqueux. Ces travaux ont conduit à la commercialisation par la société MacDermid Enthone du procédé DURATRI 240 en 2018.

Toutefois, nous avons pu constater que pour certaines applications spécifiques nécessitant un usage des pièces chromées au-delà de 250°C ou encore une tenue à la corrosion sans possibilité d'appliquer une sous-couche de nickel, ce procédé ne permettait pas d'obtenir des revêtements conformes. En particulier, les études académiques ont permis de mettre en évidence l'influence de la composition de l'électrolyte mis en œuvre dans le cas du procédé DURATRI 240 sur certaines propriétés des dépôts. Ainsi, un nouvel électrolyte de chromage trivalent a été développé grâce à la compréhension acquise dans le cadre du projet CRONOS 2024 permettant d'obtenir des dépôts dont les propriétés fonctionnelles sont conservées en température. A l'issue de ce projet, le transfert depuis l'échelle laboratoire vers les installations pilotes de l'IRT M2P a pu être réalisé avec succès laissant entrevoir une avancée majeure pour les applications industrielles les plus exigeantes. La présentation reviendra sur le développement de ce nouveau procédé et illustrera les dépôts obtenus et leurs caractéristiques.

Notes :

.....

.....

.....

Conception computationnelle et étude expérimentale de revêtements métalliques durs résistants à l'usure.

Franck TANCRET (Nantes Université), Anna FRACZKIEWICZ (Mines de Saint-Etienne), Jean DHERS (Framatome), Lisa RATEAU (Nantes université IMN, Mines St Etienne LGF, Framatome), Gérard RAMSTEIN (Nantes Université LS2N)

Le présent travail s'intéresse à la conception par le calcul d'alliages à base de fer, durs et résistants à l'usure, destinés à être déposés sur des substrats en aciers par des procédés de type soudage. L'objectif est le remplacement, dans l'industrie nucléaire, des alliages de la série « Stellite », par des matériaux sans cobalt, mais la démarche pourrait s'appliquer à d'autres contextes applicatifs comme par exemple des alliages pour la réalisation de moules, d'outils ou de leurs revêtements. L'approche s'appuie en partie sur la simulation thermodynamique (méthode Calphad, logiciel Thermo-Calc), permettant dans une certaine mesure d'approcher les microstructures de solidification (nature, composition et fraction des phases en présence). Toutefois, de par la complexité des relations entre composition et propriétés, des algorithmes de fouille de données par apprentissage automatique, ou « machine learning », issus du domaine de l'intelligence artificielle, ont été utilisés pour estimer les propriétés mécaniques en fonction de la composition, en s'appuyant sur les caractéristiques d'alliages existants. Cette dernière approche, désormais classique dans le domaine de la métallurgie, se heurte néanmoins ici à la grande variété des méthodes de caractérisation ayant produit des données en termes de résistance à l'usure. En effet, les sources bibliographiques présentent souvent, d'une étude à l'autre, des résultats obtenus dans des conditions d'essais différentes (contre-matériau, géométrie, force, vitesse, distance, température, lubrification...), si bien qu'il est impossible d'en déduire simplement une résistance à l'usure « absolue ».

»Ce problème est ici résolu en analysant, à l'aide d'un algorithme de classement par comparaison de paires (SpringRank), les résultats comparés de paires d'alliages, lorsque ces derniers ont été caractérisés dans les mêmes conditions au cours d'une même étude. On obtient alors un rang pour chaque alliage, représentant ainsi une sorte de résistance intrinsèque à l'usure, exprimée de manière relative. Le classement obtenu est ensuite relié à la composition des alliages par une régression multi-variable classique en fouille de données (processus gaussien), afin d'obtenir un modèle prédictif. D'autres caractéristiques sont obtenues via des critères empiriques ou par des approches plus classiques de fouille de données ou de thermodynamique prédictive : dureté, résistance à la corrosion, susceptibilité à la fissuration à chaud, aptitude à la transformation martensitique sous déformation ou « effet TRIP »... L'ensemble des modèles prédictifs est enfin piloté par un algorithme génétique d'optimisation multi-objectif, permettant de déterminer les compositions conduisant aux meilleurs compromis possibles entre les caractéristiques recherchées. Plusieurs alliages ont été sélectionnés, élaborés sous forme de lingots par fusion par induction en nacelle froide, puis caractérisés en termes de microstructure (structures eutectiques de solidification contenant des carbures et des borures, étudiées par diffraction des rayons X ainsi que par microscopies et diffractions électroniques) et de propriétés mécaniques (dureté, compression à chaud, résistance à l'usure). Trois étapes de conception computationnelle, alimentées par des résultats expérimentaux intermédiaires, ont ainsi permis de développer des alliages inoxydables à base de fer assez prometteurs : à matrice austénitique présentant un effet TRIP, et renforcés par des carbures et borures eutectiques, ils présentent des ensembles de caractéristiques intéressantes pour les applications visées.

Notes :

.....
.....
.....

Experimental and Numerical Analysis of Material Transfer in Hot Aluminum Forming Process : Ways of Progress for the Protection of Tools.

Panuwat SORANANSRI, André DUBOIS, Philippe MOREAU, Laurent DUBAR (Université de Valenciennes)

Nowadays, energy efficiency and CO₂ emission issues have become a top priority in the aerospace and automotive industries. To deal with those issues, reducing the weight of vehicles by using light metals is one of the most effective strategies. Aluminum alloys have been increasingly selected to produce several components of the vehicles due to their properties, such as high strength-to-density ratio and excellent corrosion resistance. To produce those components, the forming process is the most common manufacturing method. Currently, the critical problem in the aluminum forming process is adhesive at the tool-workpiece interface, resulting in material transfer from the workpiece to the tool surface. It causes poor surface finish of the workpiece. In this study, the purpose was to investigate the tribological performance of two commercial PVD coatings, AlCrN and TiAlN, to protect the tools from the material transfer in the hot forming process of the AA6082 aluminum alloys. The warm and hot upsetting sliding test (WHUST) was used as a tribometer because it can conduct severe contact conditions referring to the tool-workpiece interface in the hot forming process. In the WHUST, a contactor, simulated as the forming tool, slides along a specimen with a constant penetration depth to generate a plastic deformation at the contact area. In the experiment, the WHUST under the dry condition was performed with the test configurations: 0.1-mm penetration depth, 0.5-mm/s-sliding speed, 400°C and 200°C temperatures of the specimen and the contactor, respectively. The numerical simulation, ABAQUS software, verified by the experimental results was used to analyze the contact conditions, which consist of the contact pressure, the plastic strain, the interface temperature, as well as the relative sliding velocity. In general, the coefficient of friction identified by the experimental results was presented as a primary indicator of the tribological performance of both AlCrN and TiAlN coatings. In addition, to assess the potentiality of those coatings to prevent the adhesive at the tool-workpiece interface, the material transfer on the contactor surface after the WHUST and the surface finish on the deformation track of the specimen were analyzed.

Notes :
.....
.....
.....
.....
.....

Effet des paramètres d'austénitisation sur l'évolution de la microstructure et des propriétés après revenu d'une nouvelle nuance

d'aciers pour moules

Caio ALMEIDA Da FONSECA (ENSAM), Maha MESSAADI (ENSAM), Marine LACHAL (Industeel Arcelor Mittal Group), Maxence GUATTERI (Industeel Arcelor Mittal Group), David QUIDORT (Industeel Arcelor Mittal Group), Denis DELAGNES (ICA), Moukrane DEHMAS (CIRIMAT), Myriam DUMONT (ENSAM)

Le développement d'aciers pour moules d'injection nécessite un compromis de propriétés entredureté et résilience et ce, de façon homogène, sur des épaisseurs importantes [1]. Généralement, les aciers au Cr et/ou Mo sont utilisés et reçoivent un traitement thermique associant austénitisation, refroidissement et revenu. Le développement d'une nouvelle nuance microalliée au vanadium a pour but de bénéficier d'un durcissement secondaire par la précipitation de carbures de vanadium [2,3].

L'objectif de cette étude est de comprendre l'influence de la température d'austénitisation et de la vitesse de refroidissement sur les propriétés finales après revenu. Pour cela, deux températures d'austénitisation et deux vitesses de refroidissement ont été étudiées. L'état de la microstructure et de la précipitation, ainsi que les propriétés (dureté et résilience) sont analysés après refroidissement et après revenu afin de mieux cerner les paramètres influents. Des modèles de transformations de phases, de précipitation et de propriétés mécaniques sont couplés afin de rationaliser les effets observés et d'orienter les choix de paramètres pour le développement de cette nouvelle nuance.

Références :

- [1] S.Z. Qamar, A.K. Sheikh, A.F.M. Arif, T. Pervez, R.A. Siddiqui, Archives of Materials Science and Engineering, Vol. 28, (2007), 503.
- [2] T. Wen, X. Hu, Y. Song, D. Yan, L. Rong, Materials Science & Engineering A, Vol. A588, (2013), 201.
- [3] A. Ning, W. Mao, X. Chen, H. Guo, J. Guo, Metals, Vol. 7, (2017), 70.

Notes :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Interactions thermiques et chimiques dans les procédés de coulée d'alliages métalliques légers.

Christophe DESRAYAUD (IMT Mines Saint Etienne), Véronique BOUVIER (Saint-Jean Industries)

Cette présentation essaie d'identifier quelques problématiques liées aux interactions du métal liquide et en cours de solidification lors des procédés d'élaboration de produits par fonderie directe ou de semi-produit lors de la coulée des lingots ou préformes avant traitements thermo-mécaniques.

Les spécifications des composants obtenus imposent des microstructures et propriétés physiques des volumes, surfaces et sous-surfaces qu'on peut contrôler en grande partie par la maîtrise interactions

thermiques et chimiques qui agissent sur les flux de chaleur, les vitesses de refroidissement, les conditions tribologiques.... Ces interactions sont liées aussi bien à la nature des matériaux du moule et du composant qu'à celle des couches de protection / lubrification utilisées selon le type et la maturité technologique des procédés.

On essaiera de s'appuyer sur l'état de l'art de procédés industriels tels que le « CobaPress™ » développé par la société Saint-Jean Industrie sur les alliages d'aluminium en mettant en avant les impératifs croisés des procédés hybrides de coulée et de forge. Plus largement on essaiera d'identifier les problématiques liées à la coulée d'alliages de titane dont la réactivité chimique complexifie de manière significative les risques d'interactions néfastes entre le moule et la surface solidifiée. Dans ce contexte, la présentation essaiera d'intégrer les éléments normatifs spécifiques pour les alliages légers, à l'origine parfois, des limites d'évolutions actuelles des procédés.

Notes :

.....

.....

.....

.....

.....

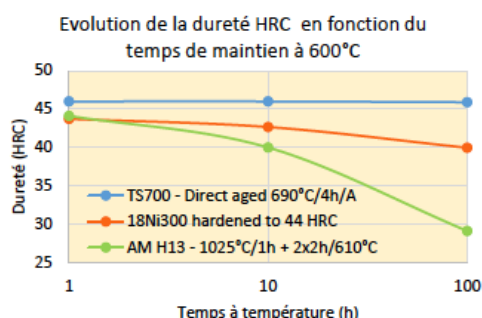
EVOLUTION DES MATERIAUX D'OUTILLAGE & TRAITEMENTS DE SURFACE II

Matériaux pour la fabrication additive laser d'outils
Peter VIKNER (Aubert & Duval)

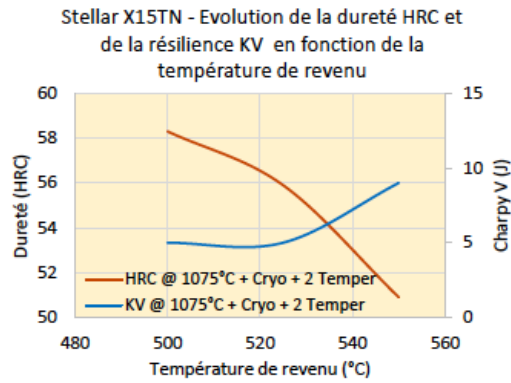
La liberté de conception donnée par la fabrication additive ouvre la possibilité de concevoir des outils avec des formes complexes et avec des canaux de refroidissement non-rectilignes. Il existe plusieurs technologies de fabrication additive. Les plus utilisées sont les technologies lasers par lit de poudre ou par dépôt de poudre. Avec cette technologie, la poudre est fondue couche par couche. Comme les aciers d'outillage couramment connus ne sont généralement pas soudables, ils ne conviennent pas à la fabrication additive laser. L'acier maraging 300 (X2NiCoMo18-9-5) est devenu le matériau par défaut pour la fabrication additive d'outil, mais il est très limité et il y a un besoin de nouvel acier d'outillage optimisé pour la fabrication additive.

Aubert&Duval développe depuis quelques années des poudres métalliques pour la fabrication additive. Dans son portefeuille de matériaux, il y a en particulier deux acier outils, le Stellar®TS700 développé pour les outillages de fonderie d'aluminium et le Stellar®X15TN développé pour les moules injection plastique.

Stellar® TS700 est un acier de type maraging, mais avec une résistance à la température, supérieur à l'acier maraging 300. Même après 100h à 600°C il peut garder un excellent niveau de dureté tandis que le maraging 300 et même le X40CrMoV5-1 présentent une baisse significative comme représenté dans la figure ci-contre.



Stellar®X15TN est la version FA de la nuance X15TN® d'Aubert&Duval. Malgré une teneur en carbone de 0,4%, il présente une facilité de mise en œuvre avec la fabrication additive laser. Cet acier combine une dureté pouvant atteindre 58 HRC avec une très bonne résistance à la corrosion. Il est ainsi un bon candidat pour la fabrication de moules d'injection plastiques corrosives ou abrasives ainsi que pour des outillages médicaux ou pharmaceutiques.



Dans le cadre de leur mise en œuvre, les deux nuances d'aciers possèdent non seulement une bonne aptitude à la fabrication additive, mais aussi une excellente aptitude aux opérations post process : en particulier usinage et traitements thermiques. Avec une dureté autour de 40 HRC après fabrication additive, les pièces réalisées sont magnétiques et présentent une très bonne aptitude à l'usinabilité.

Propriété Groupe Aubert & Duval C1 - Usage Général

Notes :

.....

.....

.....

.....

.....

Revêtements optimisés pour outillages de fonderie et d'injection plastique

Eric THIEFFRY (Oerlikon Surface Solutions)

La fabrication de pièces de série, par injection plastique ou par injection de métaux fondus sous pression, ne cesse de croître. C'est un moyen de production qui permet d'obtenir des pièces de formes complexes pour des productions de moyennes et grandes séries, inaccessibles économiquement parlant aux opérations d'usinage dans la masse.

Ces pièces sont la plupart du temps des éléments de sous-ensembles dans lesquels elles devront s'intégrer sans soucis d'assemblage, sans écart d'aspect.

Leur métrologie et leur aspect sont critiques, il convient donc de protéger au mieux les outillages qui permettent leur production.

Les conditions de services de ces outillages sont différentes de celles des outils coupants. Ils nécessitent donc des traitements adaptés, aptes à répondre aux sollicitations de cyclage thermique, d'usure chimique par les métaux fondus, ou de corrosion par les gaz, d'érosion/abrasion par les charges présentes dans les plastiques.



Notes :

.....

.....

.....

.....

.....

Évolution des technologies et des processus PVD et PECVD pour répondre aux exigences des outillages de mise en forme et des moules.

Pierre COLLIGNON (PD2I SAS)

Initialement, les revêtements PVD ont été utilisés sur des outillages de presse afin de remplacer les revêtements CVD et TD qui nécessitaient des températures très élevées. Cependant, l'utilisation de revêtements de base tels que le TiN, le CrN ou ceux développés pour l'usinage comme le TiAlN ne permettait pas d'atteindre des performances très élevées. Afin de développer des revêtements performants, nous avons analysé les modes de dégradation des outillages et étudié les sollicitations auxquelles ils sont soumis. Nous abordons également certaines considérations supplémentaires, car le processus de revêtement peut dépendre du substrat et des conditions d'application. Nous présentons une synthèse des différentes formes de dégradation, leurs causes ainsi que les propriétés à optimiser. Le design du revêtement, comprenant sa composition, sa morphologie et sa structure, permet d'ajuster les six principales propriétés suivantes :

- Dureté, pour résister à l'usure,

- Ténacité, pour éviter la fissuration et l'écaillage,
- Coefficient de frottement, pour réduire le grippage,
- Résistance à haute température, pour les applications à chaud,
- Conductivité thermique, pour assurer la stabilité thermique et la résistance à la chaleur,
- Résistance à l'oxydation, pour résister dans des conditions de fonctionnementspécifiques.



Les paramètres de processus de revêtement ne suffisent pas toujours, en particulier dans certaines applications où la fatigue thermique joue un rôle dans la dégradation des outillages. Dans ces cas-là, on utilise la technologie hybride de revêtements Duplex (Nitruration +Revêtement). Les paramètres de ces procédés Duplex sont présentés et illustrés par des exemples concrets d'applications, tels que :

- Formage de tôles à très haute limite élastique,
- Moules de coulée sous pression d'aluminium,
- Formage à chaud.

Dans les applications liées au travail de l'aluminium, les couches dures obtenues par arc ne présentent pas des coefficients de frottement performants. Il devient alors nécessaire d'utiliser des couches DLC ou de concevoir des technologies hybrides combinant l'arc et le magnétron sputtering. Dans le domaine de l'injection des plastiques, les revêtements visent non seulement à protéger contre l'usure et la corrosion, mais aussi à améliorer la productivité.

Notes :

.....

.....

.....

.....

.....

Importance de la rugosité surfacique des cylindres dans le processus de laminage à froid des aciers et développement de meules de rectification adaptées.

Claude GASPARD et Daniel CAVALIER (Rolling Process Consulting - RPC), Stefano NATALICCHIO et Andre COLLIN (Saint-Gobain Abrasives - SGA)

En cours du laminage à froid des tôles en acier pour application automobile, la propreté de la bande

laminée se dégrade progressivement : des fines de fer sont générées à la surface de la bande laminée par frottement et collage sur la tôle. Cette pollution progressive de la surface de la bande peut devenir prohibitive après une durée de laminage plus ou moins importante et nécessite l'arrêt du laminoir pour démontage et rectification des cylindres de travail.

L'opération de chromage hexavalent de la surface des cylindres après rectification améliore de manière significative la propreté de la bande lors du laminage et permet ainsi des campagnes plus longues avant démontage des cylindres pour une nouvelle rectification. Cette pratique est efficace et utilisée dans de nombreux laminoirs à froid. Cependant, elle devient de plus en plus discutable et dans un avenir proche sera considérée comme inacceptable en raison des restrictions environnementales et de santé publique.

La comparaison des rugosités surfaciques des cylindres de travail obtenues après rectification avec celles obtenues après chromage hexavalent conduit à mieux appréhender le phénomène de pollution de la bande en cours de laminage : la topographie de rugosité surfacique bien spécifique obtenue par l'opération de chromage hexavalent permet de laminier en régime de lubrification mixte tel que décrit par la courbe de Stribeck. Ce régime de lubrification minimise le coefficient de frottement tôle/cylindre évitant ainsi des ruptures locales du film d'émulsion et en conséquence une pollution de la bande laminée.

Pour atteindre cette topographie de rugosité surfacique idéale directement lors de la rectification des cylindres tout en s'affranchissant de l'opération de chromage hexavalent, de nouvelles technologies de meules ont été développées.

Au cours de ces dernières années, Saint-Gobain a consacré beaucoup d'efforts au développement de nouveaux abrasifs capables, avec de nouveaux liants très résistants à l'utilisation en milieu refroidi avec des émulsions à haute basicité, d'obtenir des résultats significatifs dans l'enlèvement de matière aussi bien à haute qu'à basse pression de travail.

Les nouvelles meules équipées d'abrasifs innovants comme Quantum Prime avec des liants de dernière génération comme Vortex ou B74 ou VS3 pour les meules vitrifiées combinées avec des configurations de construction innovantes, ont permis de répondre aux exigences les plus strictes telles que profil du cylindre et cycles de rectification nettement plus courts.

Elles permettent d'obtenir une topographie de rugosité surfacique optimale sur cylindre afin de laminier en régime de lubrification mixte et éviter ainsi la pollution de la bande laminée tout en supprimant l'opération de chromage hexavalent.

Notes :

.....

.....

.....

.....

.....

Impact de la microstructure sur le comportement tribologique :
corrélation transformation de phase et déformation plastique dans le
cas de rechargement d'alliages base cobalt sous chargements élevés
pour applications outillages.

Christine BOHER (ICA), Elodie CABROL (ENISE)

Cet article traite de l'influence des mécanismes de plasticité sur l'évolution du coefficient de frottement dans les revêtements à base de cobalt. En fonction notamment de la teneur en éléments d'alliage et donc de l'énergie de défaut d'empilement, la plasticité dans les alliages à base cobalt peut se produire par des mécanismes impliquant le glissement de dislocations parfaites et/ou le glissement de dislocations partielles. Comme la coalescence des défauts d'empilement par des dislocations partielles favorise la transformation de phase du Co, cette étude se concentre sur l'impact de la transformation de phase sur l'évolution du coefficient de frottement. Des revêtements base cobalt ont été déposés sur un substrat acier par plusieurs procédés différents, à savoir le procédé MIG, un procédé laser et le procédé L-PBF. Les propriétés tribologiques sont évaluées à partir de deux tribomètres. Des mesures de microdureté et des observations MEB permettent d'identifier l'écrouissage et la déformation plastique en sous couche des surfaces de frottement. La diffraction des rayons X et l'EBSA révèlent l'évolution de la structure cristalline en fonction du procédé de dépôt sur le substrat acier.

Selon la quantité de dilution du fer dans le revêtement base cobalt, les mécanismes de plasticité diffèrent et ces modifications ont un impact sur le comportement tribologique en particulier l'évolution du coefficient de frottement. Sans transformation de phase CFC métastable en HCP sous sollicitations de frottement du dépôt base cobalt, le coefficient de frottement est élevé stable ou non selon la circulation des particules dans le contact. Quand la transformation CFC métastable en HCP est rendue possible, on constate alors une diminution de la valeur du coefficient de frottement, diminution qui pourrait se produire pendant la transformation de la phase CFC en phase HCP elle-même.

MOTS CLES

Frottement, usure, alliage base cobalt, dilution fer, transformation de phase

Notes :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

CONCEPTION ET NOUVEAUX PROCÉDES APPLIQUES AUX OUTILLAGES

Projet Grade2XL : Fabrication de pièces métalliques multi-matériaux de grande taille grâce à la technologie WAAM.

Hervé MOTTE (SHAPERS France)

Grade2XL est un projet européen financé dans le cadre du programme Horizon 2020 et regroupant 21 partenaires académiques et industriels. Démarré en mars 2020 pour une durée de 4 ans il a pour objectif d'accélérer le développement du procédé de fabrication additive WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing) pour la fabrication de pièces multi-matériaux de grande dimension. La présentation porte sur la mise en œuvre de ce procédé de fabrication alternatif pour les moules et outils. Un focus sera fait sur le démonstrateur de moule d'injection plastique réalisé par Naval Group pour la société Shapers'. L'utilisation du procédé WAAM pour la fabrication ou la réparation de moules pour mise en forme de composite, ou pour des outils de formage de tôle sera également abordée. Ces cas d'usage apportent une illustration des avantages du WAAM multi-matériaux par rapport aux procédés conventionnels ainsi que des verrous technologiques qui restent à lever pour permettre une diffusion à tous les secteurs de l'industrie de ce procédé de fabrication révolutionnaire.

Notes :
.....
.....
.....
.....

Approche Multi-Matériaux pour la Fonctionnalisation et la Réparation
d'Outils de Matriçage par Procédé LASER Poudre (LMD-p).
Thomas GILLES, Arnaud HACQUIN, Simon PERUSIN, (IRT Saint-Exupéry)

Thématique générale :

Réparation des outils de matriçage par fabrication additive et mise en œuvre de nouvelles nuances métalliques en LMD-p – Travaux réalisés dans le cadre du projet MAMA impliquant les partenaires suivants: IRT Saint Exupéry (31), Aubert&Duval (09) et OPT'ALM (31)



Résumé /

« La réparation des outils de matriçage repose encore largement sur des procédés de soudage conventionnels (ex. GMAW ou SMAW), opérés manuellement. Ce type de réparation peut impacter négativement le substrat et est communément complété par un traitement thermique et une reprise en usinage de la surface utile des matrices. Désormais, le procédé de fabrication additive LASER- Poudre (LMD-p) permet de reconstruire directement les surfaces 3D des matrices usagées, avec un impact limité sur le substrat et sans nécessiter d'usinage complémentaire. Complété par une approche multi-matériaux impliquant l'usage de nuances métalliques innovantes (ex. alliages à base de nickel de type γ' pour les outils réfractaires), le procédé LMD permet d'optimiser les performances mécaniques des parties réparées tout en s'affranchissant d'un post-traitement thermique spécifique. »

Notes :
.....

Outillage coNFormal cooliNg multi matériaux

S. JEDI (CETIM/CTIF), S. SICOT (CETIM/CTIF), JF LOCATELLI (CETIM/CTIF), J. LECUYER (Sanden manufacturing), J. LABARRE (HTS Group)

Les outillages en acier permettant de réaliser des pièces injectées en polymère ou métal (alliages d'aluminium, de zinc ou de cuivre) doivent être refroidis. La méthode et l'efficacité du refroidissement ont un impact direct sur le temps de cycle et donc sur le coût final des pièces produites. Traditionnellement, les outillages sont régulés grâce à des perçages permettant de faire circuler de l'eau dans l'outillage. La fabrication additive permet de réaliser des canaux de régulation complexes favorisant ainsi le refroidissement des pièces plus rapidement et de façon homogène.

Le projet INFINITE a pour objectif d'évaluer la faisabilité d'une solution Multi-Matériau associée au Conformal Cooling (MM-CC) (cf. Figure 1) pour la réalisation d'empreintes de moules destinées à la fonderie sous pression et à la gravité sable. Le concept du Conformal Cooling vise à intégrer des canaux de refroidissement de forme complexe dans l'outillage, permettant ainsi d'améliorer l'efficacité en refroidissement et de réduire les temps de cycle.

Dans le cadre de cette étude, nous nous concentrons spécifiquement sur l'utilisation d'un bi-matériau pour les canaux de Conformal Cooling. L'objectif est d'exploiter les propriétés thermiques distinctes de deux matériaux différents afin d'optimiser le refroidissement de l'outillage et de favoriser une meilleure efficacité énergétique. Des simulations détaillées seront réalisées pour évaluer les performances thermiques de cette approche et identifier les configurations optimales. Des essais in situ seront réalisés afin de valider les résultats obtenus et d'évaluer l'impact de la solution MM-CC sur la durée de vie des moules. Des mesures de température (cf. Figure 2) et d'autres paramètres seront enregistrés pendant les cycles de production réels, ce qui permettra d'évaluer de manière concrète l'efficacité énergétique et la fiabilité de la solution proposée.

Les résultats de cette étude fourniront des informations approfondies sur la faisabilité et les avantages potentiels de l'utilisation d'une solution MM-CC pour la réalisation d'empreintes de moules en fonderie (cf. Figure 3). Ce projet contribuera à l'amélioration des techniques de refroidissement des outillages.

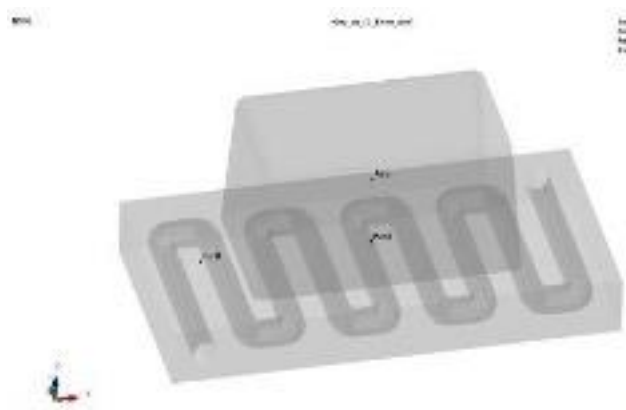


Figure 1 Insert et pavé académique en bi-matériau (cuivre + Dievar)

Figure 2 Simulation Quikcast - pavé académique



Figure 3 Image thermique moule - crédit Photo Sanden

Notes :

.....

.....

.....

.....

.....

Mise en œuvre de l'acier à haute teneur en carbone 100Cr6 en fabrication additive par fusion laser sur lit de poudre (L-PBF)

Elodie CABROL, Philippe BERTRAND (ENISE/LTDS)

Le procédé de fusion laser sur lit de poudre (L-BPF pour « Laser Powder Bed Fusion) est un procédé de fabrication additive qui consiste à produire une pièce couche par couche par fusion laser à partir de poudre. La mise en œuvre de matériaux durs tels que les aciers à haute teneur en carbone de type 100Cr6 présente des verrous tels que la problématique de fissuration dans les pièces produites, notamment liée aux vitesses de refroidissement rapides inhérentes au procédé (de l'ordre de $10^5 - 10^8$ K/s).

Concernant le 100Cr6, nous avons étudié l'influence de l'utilisation d'un plateau chauffant (à 200°C) sur les microstructures formées et sur les phénomènes de fissuration. Des échantillons ont été produits avec des paramètres de fabrication identiques et optimisés (Puissance laser : 250 W, Vitesse de balayage laser : 1000 mm/s, écart-vecteur entre cordons : 50 μ m, épaisseur de couche de poudre : 30 μ m). Les résultats ont montré que sans plateau chauffant, la microstructure formée était de type martensitique

et qu'un état de fissuration important était observé. L'utilisation d'un plateau chauffant a favorisé la formation de microstructures bainitiques et sans fissures visibles.

Notes :

.....

.....

.....

.....

.....

Challenges d'utilisation de fabrication additive Métal dans l'Outillage de Découpage fin

Aurélie ACHILLE (Forvia-Faurecia), Thomas CHIAVAZZA (Forvia-Faurecia), Arthur HOGUILLARD (CED2)

Mots-clés: fabrication additive métal, Outillage de presse, découpage fin, défauts de fabrication additive.

Les délais d'exécution et la réduction des coûts sont des objectifs clés de l'industrie automobile, et cela est particulièrement important pour les pièces de rechange d'outillage. La réduction du volume des pièces de rechange stockées peut se traduire par un ratio financier positif par rapport à l'allocation des coûts du produit afin de maintenir la compétitivité. Au cours des dernières décennies, la tendance a été d'augmenter la faisabilité technique de la fabrication additive dans divers domaines de l'industrie mécanique (c'est-à-dire les dispositifs de moulage en plastique, les composants usinés pour l'aérospatiale, les gabarits de mesure, les montages, les dispositifs de préhension pour la robotique, ...) grâce à des alliages à faible teneur en carbone à des alliages spécifiques. Une nouvelle tendance initiée au cours des trois dernières années pour le développement de poudres alliées et de nouvelles machines spécifiques permet de fabriquer des pièces à forte teneur en carbone et des alliages complexes, afin d'atteindre des propriétés mécaniques plus élevées telles que 62HRC. Cela a ouvert le champ d'application des outils de coupe et d'emboutissage. Faurecia Automotive Seat Structure and Systems commence à développer une solution pour les applications de découpage fin, en collaboration avec les fabricants d'acier à outils, afin de rester compétitif en termes de coûts d'outillage, et développe également une nouvelle approche conceptuelle pour la conception de pièces d'outils de remplacement. De la science à la réalité, des recherches expérimentales et fondamentales approfondies sont menées au sein de l'équipe Faurecia Advanced Manufacturing. Les récents démonstrateurs industriels atteignent le score cible industriel en termes de durée de vie. Les résultats scientifiques et industriels sont passés en revue dans cette présentation, qui est illustrée par des rapports métallurgiques, des analyses sur pièces après défaillance, des applications concrètes en production de masse qui conduit aujourd'hui à une vraie réussite innovante dans le domaine du découpage fin.

Notes :

.....

.....

.....

.....

.....

Transition d'outillages vers l'ère des giga presses, du numérique et des nouveaux matériaux.

Anwar HAMASSAID (3DMetDie)

Les procédés de moulage d'alliages légers sont confrontés à de nouveaux défis créés par deux grandes transitions industrielles actuelles : la mobilité électrique et la digitalisation avancée des procédés industriels. La transition vers la mobilité électrique nécessite d'alléger, au maximum, le poids des véhicules sans compromettre la sécurité des passagers. Cela nécessite le développement et le formage de nouveaux alliages légers ainsi que la mise en forme des pièces plus complexes et plus grandes géométriquement. Grâce à une bonne combinaison de densité, de propriétés mécaniques et de formabilité, les alliages d'aluminium sont parmi les meilleurs candidats pour répondre aux défis de l'allègement du poids des véhicules. Selon une étude réalisée pour l'association européenne d'aluminium¹, la teneur en aluminium des véhicules de tourisme en Europe passera de 205 kg en 2022 à 256 kg en 2030. Des prévisions très comparables sont également citées pour les véhicules américains². Les deux études s'accordent sur le fait que plus de 50% des pièces en aluminium projetées seront formées par des méthodes de moulage, principalement, par le moulage sous pression.

Ainsi, la diminution de la demande des pièces de fonderie associées au moteur thermique sera largement surcompensée par la demande de nouveaux composants pour les véhicules électriques tels que les boîtiers du moteur et de la batterie et les pièces structurelles. En outre, on s'attend que la demande pour des pièces structurelles, fabriquées par moulage sous pression, augmente fortement, passant de 8,2 millions en 2021 à 25 millions en 2030³. Les géométries de ces nouvelles pièces et les exigences en matière de propriétés thermique et mécanique modifieront considérablement le paradigme technologique du procédé de moulage sous pression. Le coût élevé associé aux gros moules requis, le volume d'aluminium, les propriétés exigées et projetées, les nouveaux alliages et le coût énergétique d'une seule cycle de production ont mis la durabilité du moule, la productivité du procédé (taux de rebut, temps de cycle, stabilité de la production, etc.) et le contrôle de la qualité des pièces et du procédé en temps réel dans le centre des catalyseurs technologiques et commerciaux incontournables pour populariser le moulage sous pression des pièces structurelles. De plus, le manque de travailleurs expérimentés disponibles et le changement de culture de travail des milléniaux deviennent l'un des autres défis majeurs à faire face par l'industrie de fonderie⁴.

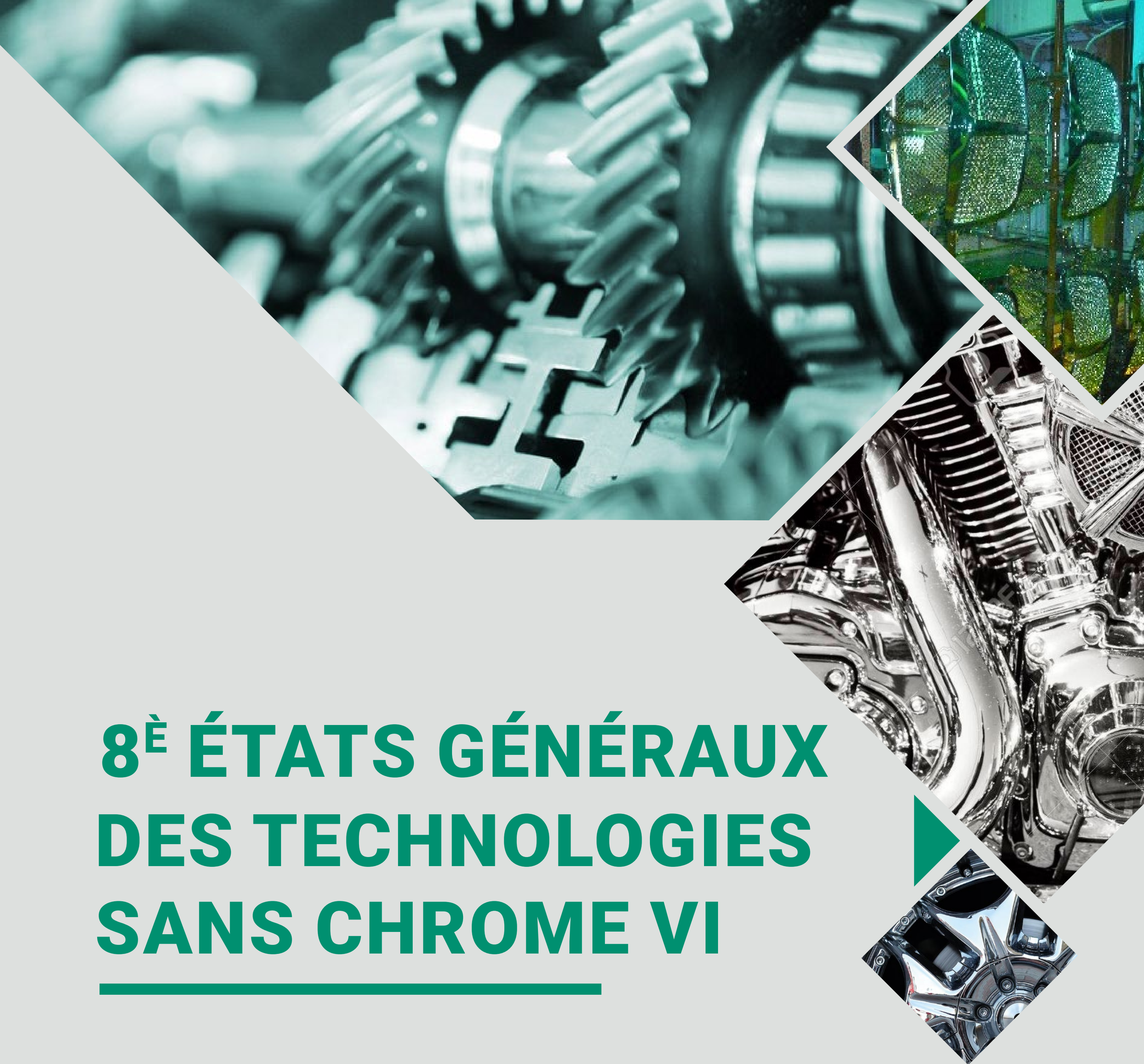
Relever les défis mentionnés nécessite de nouveaux outils et des concepts innovants en ligne avec les visions de l'industrie 4.0 et 5.0. Développer des outils permettant l'intégration de ces visions est un besoin technologique et socio-économique indispensable pour cette industrie dans cette nouvelle ère technologique. Des outils tels que, entre autres, des capteurs réels et virtuels intelligents, l'intelligence artificielle, les jumeaux numériques et la simulation avancée comme des facilitateurs technologiques pour former des pièces et des matériaux du futur. Cette présentation mettra en lumière les nouvelles approches et technologies conçues par 3DMetDie pour relever les défis mentionnés, avec un accent particulier sur la gestion thermique des outillages afin d'augmenter la durabilité des moules et la productivité du procédé.

Références :

¹ Ducker Research & Consulting, Aluminum Content in Passenger Vehicles (Europe) évaluation 2022 et perspectives 2026,2030, , résumé public, avril 2023. disponible en ligne : https://european-aluminium.eu/wp-content/uploads/2023/05/2023_04_Aluminum-Content_Ducker-Study_EA-Public-Summary_190423.pdf

² Svendsen A., Aluminum Continues Unprecedented Growth in Automotive Applications, Light Metal Age Magazine, 2020, disponible en ligne : <https://www.lightmetallage.com/news/industry-news/automotive/aluminum-continues-unprecedented-growth-in-automotive-applications/>.

³ Roos H.J., Lagler M. et Quintana L: Whitepaper: The Future of Structural Components in HPDC.



8^È ÉTATS GÉNÉRAUX DES TECHNOLOGIES SANS CHROME VI

Comment concilier performances,
innovations et réglementation
dans les traitements de surface ?



23 - 24 JANVIER 2024

MAISON DE LA MÉCANIQUE, COURBEVOIE (92)

A3TS

ASSOCIATION DE TRAITEMENT THERMIQUE
ET DE TRAITEMENT DE SURFACE



European Conference on Heat Treatment and Surface Engineering

**ECHT 2024 and
A3TS 50th Congress**



June 5-7, 2024
TOULOUSE, FRANCE

**ECHT** 2024
European Conference
on Heat Treatment

A3TS