

Open position post-doc fellow

Towards a better understanding and control of the plasma electrolytic polishing process (PeP)

General information

Work place: Nancy (France) – Institut Jean Lamour (<https://ijl.univ-lorraine.fr/>)

Work contract: Post-doctoral fellow

Duration of contract: 12 months

Expected starting date: 01 octobre 2023

Proportion of work: Full time

I - Context

Plasma electrolytic polishing (PeP) has been gaining a growing interest for the last 10 years among manufacturers of surface treatments of metal parts (finishing treatments), in particular for metal alloys such as steels. Polishing processes by mechanical (abrasion), physical (ablation by laser or ultrasound) or chemical means (dissolution with concentrated acids) are widely used at an industrial scale. Conversely, the PeP process remains a recent method that combines physical (formation of an active plasma phase on the surface of the treated part) and electrochemical effects, and whose advantages surpass those of conventional techniques. Indeed, the PeP process makes it possible to achieve at least comparable surface states (roughness, gloss) while avoiding undesirable mechanical deformation of the treated surface and limiting the use of concentrated electrochemical baths. In addition, it makes it possible to treat large area and complex shaped parts with high polishing kinetics.

II - Problematics

Although PeP has applications in various domains like aeronautics, biomedicine, microelectronics or food industry, it remains hard to control and not fully optimized in terms of energy consumption and electrolyte management (including recycling). This is essentially due to the numerous phenomena involved during the process, at the crossroads of many scientific fields including electrochemistry, plasma physics, materials science, heat, fluid mechanics, or process engineering. Therefore, many aspects must be studied in order to better understand the physico-chemical mechanisms underpinning PeP in order to finally set up stable management and control procedures for the process. Some of these aspects are more dominant, although they have been less addressed in the scientific literature, such as:

1. the role of the gaseous envelope on polishing, and the way it forms around the processed part according to the operating parameters like the chemistry and the temperature of the electrolyte or the applied current or voltage waveform,
2. the role of plasma discharges on polishing, and the conditions underlying their initiation and sustaining the gaseous envelope, together with their interaction with the asperities of the treated surface.

Beyond these fundamental aspects of understanding the PeP process, more technological aspects also deserve to be considered, in particular:

3. the management of the electrolyte, which involves adapting its composition according to the metal treated and the desired surface properties, taking into account the electrolyte aging and recycling in compliance with EHS procedures,
4. the process management, which involves the scaling of the process rig from devices for stirring and maintaining the temperature of the electrolyte up to the electrical power supply and the tank volume with respect to the size of the processed parts.

III - Objectives and provisionnal work program

As part of a collaborative research project between SERMATEC and Institut Jean Lamour (IJL), and based on the expertise of the IJL's Processes-Plasma-Surfaces team in the treatment of surfaces assisted by electrolytic plasmas, the PeP process will be investigated in order to address some of the above-mentioned aspects. The ultimate objective will be to achieve a better understanding of the inherent mechanisms of the PeP process (aspects 1. and 2.) in order to define optimum operating conditions of the process for SERMATEC (aspects 3. and 4.). To meet the objectives, the work program could be divided into several tasks as described below.

- a. **In-depth study of the state of the art on the PeP process** in order to get a good knowledge of the existing studies, to make an inventory of the mechanisms already discussed in the literature as well as to select the most relevant operating parameters in terms of process efficiency.
- b. **Investigation of the vapor gas envelope that surrounds the processed parts, *in situ* and in real time, together with the study of the arc plasma discharges.** First, this task will consist in describing the formation of the gaseous envelope around the parts, which is likely due to thermal (Joule effect) and physical phenomena (vaporization of the electrolyte, coalescence of the gas bubbles) at the surface. This task is also expected to describe the mechanisms of ignition of electric arcs at surface asperities by determining the nature of the plasma phase (species, composition, electronic temperature, electronic density). Particular attention will be paid to the plasma electrons that are the main source of plasma phenomena such as ionization, or excitation of atoms and molecules (responsible for light emission). The influence of some operating parameters of the PeP process on the characteristics of the vapor phase and the plasma phase will be discussed. The electrical parameter applied to the electrodes will be particularly studied as well as the geometry of the set up (configuration of the electrodes). From the point of view of experimental tools, we will take advantage of the plasma characterization means available in the group. In particular, electrical measurements (current/voltage probes) and time-resolved optical emission spectroscopy will be implemented. If necessary, measurements by ultra-fast camera or shadowgraphy could be

performed in order to follow the dynamics of the plasma fluid and the dynamics of formation of the gaseous envelope. This task aims at identifying the phenomena responsible for the ignition of the plasma (and possibly its extinction) according to the electrical parameters applied. The effect of electrolyte composition will also be discussed at this level.

- c. **Identification of the physico-chemical mechanisms inherent to the PeP polishing process by coupling results from in situ diagnosis and *post mortem* characterization of surfaces.** Thus, a significant part of this task will be devoted to the surface analysis of the various samples processed under the operating conditions chosen in task (b) and/or on the basis of task (a). Several indicators usually provide information on the quality of the polishing such as the erosion rate by mass loss measurements, the roughness by profilometry measurements and the surface gloss by glossymetry measurements. The influence of each operating parameter of the PeP process on the surface properties will be evaluated primarily based on these three indicators. However, deeper characterization of the treated surfaces could be performed by means of scanning electron microscopy and X-ray diffraction (grazing incidence). Chemical analyzes by EDX or XPS could also be used to verify the absence of any deposits (diffusion of species, oxidation, local burns) and other pollution (residual salts). By comparing the results from the in situ diagnosis (task (b)) with those from the post mortem characterization of the treated surfaces, the aim will be to establish relationships between the plasma/gas and the material in order to identify the mechanisms involved at the various electrolyte-plasma, electrolyte-materials and plasma-materials interfaces.
- d. **Study of polishing from an electrolyte point of view.** This part will take into account the specific aspects of the chemical mechanisms linked to the redox reactions specific to each metal-electrolyte couple under consideration. Based on the results of tasks (b) and (c), the objective will be to identify the compositions of the most appropriate electrolytes according to the metals to be treated, mainly steels, but also some copper-base or titanium-base alloys.

IV - Requested skills

We are seeking for a highly motivated candidate with a strong interest in experimental work and

- a PhD degree in plasma physics with knowledge in material science or
- a PhD degree in solid chemistry or in material science with knowledge in plasma physics.

Curiosity, rigor, autonomy and methodical teamwork will be greatly appreciated. High level in French and/or English language (spoken and written) is mandatory.

V – About the partners

Institut Jean Lamour (IJL) is a joint research unit of the French national centre for scientific research (CNRS) and Université de Lorraine. Its research topics are focused on processes and material science and engineering and cover many topics including matter, materials, metallurgy, plasmas, surfaces, nanomaterials and electronics.

It gathers more than 180 researchers/lecturers, 90 engineers/technicians/administrative staff, 150 doctoral students and 25 post-doctoral fellows.

Partnerships exist with 150 companies and the 24 research groups collaborate with more than 30 countries around the world.

Its exceptional instrumental platforms are mainly located on the Artem campus in Nancy (France).

INSTITUT JEAN LAMOUR

Campus Artem

2 allée André Guinier - BP 50840

F-54011 Nancy Cedex

www.ijl.univ-lorraine.fr



SERMATEC, located in Vineul (France) is a company specialised in desing and fabrication of electrochemical machine tools. To extend its offers, it plans to develop the PeP process and build dedicated installations.

VI - Constraints and risks

Institut Jean Lamour is labelled as a specially protected area. Therefore, recruitment requires approval of the security officer from the French Ministry of Higher Education, Research and Innovation (MESRI).

VII - Application procedure

Applications must consist of:

- Curriculum Vitae.
- Motivation letter.
- Copy of the PhD degree.
- List of publications and communications.
- Reference letters
- Copy of ID card or passport.

Incomplete applications or applications received after **September, 17th, 2023** will not be considered.

Applications must be sent by e-mail to:

Mr. Gérard Henrion, senior researcher (gerard.henrion@univ-lorraine.fr)

Appel à candidature post-doctorant/post-doctorante

Vers une meilleure compréhension et une meilleure maîtrise du procédé de polissage par plasma électrolytique (PeP)

Informations générales

Lieu de travail : Nancy – Institut Jean Lamour (<https://ijl.univ-lorraine.fr/>)

Type de contrat : Contrat post-doctoral

Durée du contrat : 12 mois éventuellement renouvelable

Date d'embauche prévue : 01 octobre 2023

Quotité de travail : Temps complet

I - Contexte

Le procédé de polissage par plasma électrolytique (PeP) connaît depuis une dizaine d'années un intérêt croissant parmi les industriels des traitements de surface de pièces métalliques (traitements de finition), en particulier pour les alliages métalliques tels que les aciers. Contrairement aux procédés de polissage par voie mécanique (abrasion), par voie physique (ablation par laser ou ultrasons) ou par voie chimique (dissolution aux acides concentrés), largement déployés et maîtrisés à l'échelle industrielle, le procédé PeP reste une méthode récente qui combine des effets physiques (formation d'une phase plasma active à la surface de la pièce traitée) et électrochimiques, et dont les avantages surpassent ceux des techniques conventionnelles. En effet, le procédé PeP permet d'atteindre des états de surface (rugosité, brillance) au moins comparables tout en évitant la déformation mécanique indésirable de la surface traitée et en limitant l'utilisation de bains électrochimiques concentrés. En outre, il permet de traiter des pièces de surface importante et de forme complexe avec une cinétique de polissage élevée.

II - Problématique

Si aujourd'hui le procédé PeP trouve des applications dans des secteurs aussi variés que l'aérospatial, le biomédical, la micro-électronique ou encore le secteur alimentaire, sa maîtrise reste encore trop souvent empirique et sa mise en œuvre mal optimisée du point de vue énergétique (consommation électrique) et de la gestion des électrolytes (consommation de produits chimiques, recyclage). Ceci tient essentiellement aux nombreux phénomènes mis en jeu au cours du procédé, à la croisée de nombreuses disciplines scientifiques dont l'électrochimie, la physique des plasmas, la science des matériaux, la thermique, la mécanique des fluides ou encore le génie des procédés pour ne citer que les principaux. Dès lors, de nombreux aspects restent à élucider afin de progresser dans la compréhension fine des mécanismes physico-chimiques inhérents au polissage PeP pour, *in fine*, être en mesure de mettre en place des procédures de gestion et de contrôle stables du procédé (maîtrise des gammes de traitement). Parmi ces aspects, certains se révèlent plus dominants que d'autres et pourtant moins abordés dans la littérature scientifique tels que :

1. le rôle de l'enveloppe gazeuse sur le polissage, et la manière dont elle se forme autour de la pièce traitée en fonction des paramètres opératoires tels que la chimie et la température de l'électrolyte ou encore le signal d'alimentation électrique par exemple,
2. le rôle des décharges plasma sur le polissage, et les conditions qui sous-tendent leur amorçage et leur maintien dans l'enveloppe gazeuse et leur interaction avec les aspérités de la surface traitée.

Outre ces aspects plutôt fondamentaux de compréhension du procédé PeP, des aspects plus technologiques méritent également d'être considérées, notamment :

3. la gestion des bains électrolytiques qui implique l'adaptation de leur formulation en fonction du métal traité et des états de surfaces souhaités, la prise en compte de leur vieillissement et d'une éventuelle régénération de leur composition ainsi que de leur recyclage et le respect des modalités HSE,
4. la gestion du procédé qui implique le dimensionnement de l'installation de traitement allant du système d'agitation et de maintien en température de l'électrolyte jusqu'à l'alimentation électrique en passant par le volume utile de la cuve vis-à-vis de la surface et de la forme traitée.

III - Objectifs et déroulement du post-doctorat

Dans le cadre d'un projet de recherche collaboratif entre la société SERMATEC et l'Institut Jean Lamour (IJL), et sur la base de l'expertise de l'équipe *Procédés-Plasma-Surfaces* de l'IJL en matière de traitements des surfaces assistés par des plasmas électrolytiques, notamment l'oxydation par plasma électrolytique, il s'agira d'étudier le procédé PeP afin de répondre à certains des aspects susmentionnés. L'objectif ultime sera d'aboutir à une meilleure compréhension des mécanismes inhérents au procédé PeP (aspects 1. et 2.) afin de définir des optimums de fonctionnement du procédé pour la société SERMATEC (aspects 3. et 4.). Pour répondre à l'objectif fixé, le déroulement de l'étude pourrait se décomposer en plusieurs tâches de durée déterminée et couplées dans le temps selon la description ci-après.

- a. **Etude bibliographique approfondie sur le procédé PeP**, ceci dès le démarrage de l'étude. Cette première approche bibliographique permettra de faire le point sur les études majeures, de faire l'inventaire des mécanismes déjà discutés dans la littérature scientifique et technique ainsi que de sélectionner les paramètres opératoires les plus influents sur l'efficacité du procédé. Au-delà de cet état de l'art initial, une veille scientifique et technique sera poursuivie pendant toute la durée de la collaboration.
- b. **Caractérisation *in situ* et en temps réel de la phase vapeur autour de la pièce traitée et de la phase plasma des arcs électriques**. D'une part, cette tâche s'attachera à décrire la formation de l'enveloppe gazeuse autour du matériau, vraisemblablement la conséquence de phénomènes thermiques (effet Joule) et physiques (vaporisation de l'électrolyte, coalescence des bulles de gaz) à la surface. D'autre part, cette seconde tâche permettra de décrire les processus d'apparition des arcs électriques au niveau des aspérités par la détermination de la nature de la phase plasma (espèces, composition, température électronique, densité électronique). Une attention particulière sera portée aux électrons du plasma qui sont à la base des phénomènes intrinsèques au plasma tels que l'ionisation et l'excitation des atomes et molécules. L'influence de certains paramètres opératoires du procédé PeP sur les caractéristiques de la phase vapeur et de la phase plasma sera abordée. Il s'agira d'étudier l'effet notamment des paramètres électriques appliqués aux électrodes ainsi que de la géométrie du dispositif (configuration des électrode). D'un point

de vue des outils expérimentaux, nous mettrons à profit les moyens de caractérisation des plasmas dont nous disposons à l'IJL. Particulièrement, des mesures électriques (sondes de courant/tension) et de spectroscopie d'émission optique résolues en temps seront mises en œuvre. Si nécessaire, il pourra être envisagé de procéder à des mesures par caméra ultra-rapide ou par ombroscopie afin de suivre la dynamique du fluide plasma et la dynamique de formation de l'enveloppe gazeuse. Cette étude devrait permettre d'identifier les phénomènes responsables de l'amorçage du plasma (et éventuellement de son extinction) en fonction des paramètres électriques appliqués. L'effet de la composition des électrolytes sera également abordé à ce niveau.

- c. **Identifier les mécanismes physico-chimiques inhérents au procédé de polissage PeP** par le couplage des résultats issus du diagnostic *in situ* et de la caractérisation *post mortem* des surfaces. Ainsi, une part importante de cette tâche sera consacrée à l'analyse de l'état de surface des différents échantillons produits dans les conditions opératoires choisies à la tâche (b) et/ou sur la base de la tâche (a). Plusieurs indicateurs renseignent usuellement de la qualité du polissage tels que le taux d'érosion par des mesures de perte de masse, la rugosité par des mesures de profilométrie et la brillance de la surface par des mesures de glossymétrie. L'influence de chaque paramètre opératoire du procédé PeP sur l'état de surface sera évaluée prioritairement sur la base de ces trois indicateurs. A l'exception du glossymètre, le laboratoire est équipé d'une balance de précision ainsi que d'un surfomètre optique. Cependant, à titre plus occasionnel et avec la volonté de caractériser à une échelle plus fine les surfaces traitées, le recours à la microscopie électronique à balayage et à la diffraction des rayons X (en incidence rasante) ne sera pas à exclure. Des analyses chimiques par EDX ou XPS pourront également être utilisées afin de vérifier l'absence d'éventuels dépôts (diffusion d'espèces, oxydation, brûlures locales) et autres pollutions (sels résiduel). En confrontant les résultats issus du diagnostic *in situ* de la gaine de vapeur et de la phase plasma des arcs (tâche (b)) avec ceux issus de la caractérisation *post mortem* des surfaces traitées, il s'agira d'établir des relations de cause à effets « procédé-plasma/gaz-matériau » afin d'identifier les mécanismes mis en jeu aux différentes interfaces électrolyte-plasma, électrolyte-matériau et plasma-matériau.
- d. **Etude du polissage d'un point de vue des électrolytes.** Ce volet prendra en compte les aspects propres aux mécanismes chimiques liés aux réactions d'oxydo-réduction propres à chaque couple métal-électrolyte considéré. Sur la base des résultats des tâches (b) et (c), l'objectif sera d'identifier les compositions des électrolytes les mieux appropriées selon les métaux à traiter, notamment les aciers qui seront au cœur du programme d'étude, mais également certains alliages de cuivre ou de titane.

IV - Compétences

Ce poste nécessite des compétences en physique des plasmas et en sciences des matériaux. Un fort intérêt pour le travail expérimental est nécessaire. La curiosité, la rigueur, l'autonomie et le goût pour le travail méthodique en équipe sont des qualités qui seront fortement appréciées. La langue anglaise et/ou française doit être maîtrisée à l'écrit et à l'oral.

V - A propos des partenaires

L'Institut Jean Lamour (IJL) est une unité mixte de recherche du CNRS et de l'Université de Lorraine. Spécialisé en science et ingénierie des matériaux et des procédés, ses domaines de recherche couvrent les champs suivants : matériaux, métallurgie, plasmas, surfaces, nanomatériaux, électronique.

L'IJL compte plus de 180 chercheurs et enseignants-chercheurs, 90 personnels ingénieurs, techniciens, administratifs, 150 doctorants et 25 post-doctorants.

Il collabore avec plus de 150 partenaires industriels et ses collaborations académiques se déploient dans une trentaine de pays.

Son parc instrumental exceptionnel se trouve principalement sur le campus Artem à Nancy.

La société SERMATEC, localisée à Vineul (France), est spécialisée dans la conception et la fabrication de machines d'usinage par électrochimie. Pour élargir sa gamme de produits, elle souhaite développer le procédé de polissage par plasma électrolytique.

VI - Contraintes et risques

Le poste ouvert se situe dans un secteur relevant de la protection du potentiel scientifique et technique de la Nation et nécessite donc, conformément à la réglementation, que le recrutement soit autorisé par l'autorité compétente du ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation (MESRI).

VII - Modalités de candidature

Le dossier de candidature comprendra les éléments suivants :

- Curriculum Vitae.
- Lettre de motivation.
- Copie ou attestation du diplôme de doctorat.
- Liste des publications et communications.
- Lettre(s) de recommandation.
- Copie de la carte d'identité ou passeport.

Tout dossier incomplet ou reçu au-delà du **17 septembre 2023** sera déclaré irrecevable.

Les candidatures doivent être adressées par e-mail à :

M. Gérard Henrion, directeur de recherche (gerard.henrion@univ-lorraine.fr)