

Contrôle en ligne et détermination de la température pour le rechargement par laser

L'utilisation de mélanges de poudres à plusieurs composants, par exemple, de composites de matrice métallique à renfort céramique, exige le contrôle de la température de la fonte pour éviter la décomposition thermique de certains composants (comme WC) et pour assurer la fonte du métal du substrat (comme Co). Même pour le rechargement en Stellite, le contrôle de la température peut être nécessaire afin d'assurer la stabilité du processus et la qualité du dépôt: d'une part, éviter une surchauffe inutile et, d'autre part, prévenir la formation de porosité résiduelle.

Un pyromètre multi longueur d'onde a été utilisé pour reconstituer la véritable température du processus de rechargement en CuAl et WC-Co (30% vol.) par laser pulsé périodique (Fig. 10). On observe des oscillations régulières de température entre 1100°C, la limite de sensibilité du pyromètre, et environ 2100°C, ce qui est inférieur à la température de décomposition de WC.

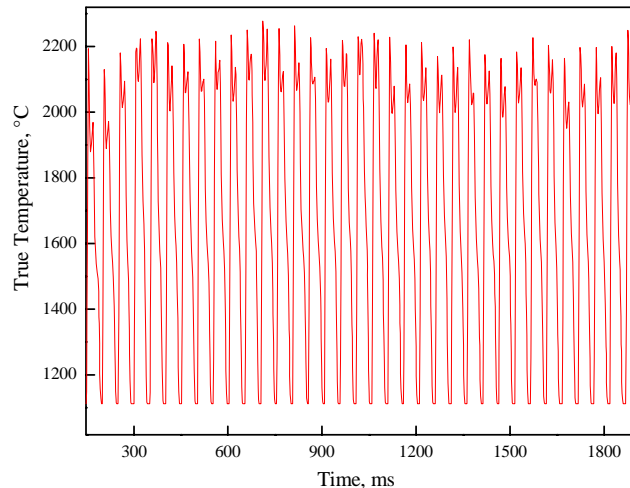


Fig. 10. Cycles thermiques de la température vraie dans le rechargement de l'acier par laser pulsé-périodique (durée du pulse 20 ms, forme du pulse rectangulaire, puissance moyenne 2 kW, vitesse 500 mm/min) en CuAl et WC-Co (30% vol.).

Le cycle thermique détaillé correspondant à une seule impulsion laser est présenté sur la Fig.11. Des étapes typiques d'évolution de la température se distinguent : (1) augmentation brusque de la température au début de l'impulsion laser; (2) quelques oscillations irrégulières de la température pendant l'impulsion laser; (3) décroissement brusque de la température après la fin de l'impulsion; (4) plateau de solidification de Co légèrement au-dessus de son point de fusion; (5) étape suivante de refroidissement rapide après la fin de la solidification de Co. La vitesse de chauffe dans la 1^{ère} étape est assez haute (d'environ $5 \cdot 10^5$ °C/sec) et proportionnelle à la densité de flux d'énergie.

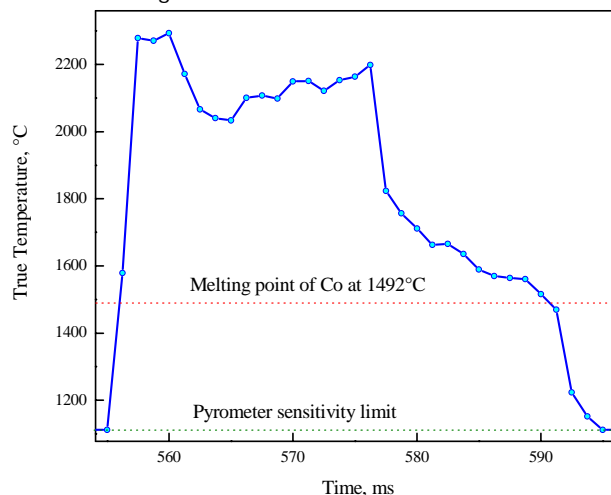


Fig. 11. Cycle thermique de la température vraie correspondant à un seul pulse dans le rechargement de l'acier par laser pulsé-périodique (durée du pulse 20 ms, forme du pulse rectangulaire, puissance moyenne 2 kW, vitesse 500 mm/min) en CuAl et WC-Co (30% vol.).

Les oscillations de température pendant l'action du laser sont différentes pour chaque impulsion (elles sont liées à l'instabilité du flux de poudre et sont absentes quand l'alimentation en poudre est arrêtée), mais, habituellement, deux maxima de température, au début et à la fin de l'impulsion, sont présents.

Quand la température approche du point de fusion de Co, la vitesse de refroidissement tombe jusqu'à pratiquement à zéro, ce qui est le résultat du dégagement de chaleur latente de solidification. Quand la véritable température est correctement reconstituée, le plateau de solidification ($\partial T/\partial t \sim 0$, où t est le temps) devrait correspondre au point de fusion. Dans les expériences actuelles, elle est légèrement au-dessus du point de fusion de Co pur, $T_m = 1492^\circ\text{C}$. La différence peut être attribuée à des facteurs tels qu'une composition complexe du mélange de poudre utilisé, l'absorption du gaz ambiant pendant la solidification de la fonte, les approximations employées pour les reconstitutions de la température. Après la fin de la solidification de Co, le refroidissement recommence. Sa vitesse atteint $3 \cdot 10^5$ °C/sec, ce qui est près de la valeur d'avant la solidification de Co.

La solidification de Cu et d'Al n'est pas détectée parce que le seuil de sensibilité du pyromètre est légèrement au-dessus du point de fusion de Cu. La diminution de la vitesse du rechargement, les autres paramètres restant inchangés (Fig.12), provoque l'augmentation de la température minimale par cycle thermique (T_{\min}), qui, finalement, dépasse le seuil de sensibilité du pyromètre (comparer avec la fig. 5).

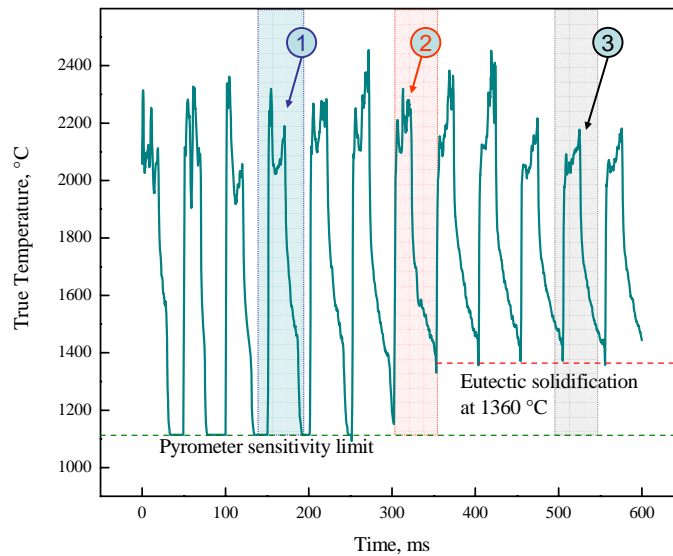


Fig. 12. Cycles thermiques de la température vraie dans le rechargement de l'acier par laser pulsé-périodique (durée du pulse 20 ms, puissance moyenne 2 kW, vitesse 300 mm/min) en CuAl et WC-Co (30% vol.).

La période de transition de T_{\min} d'une durée d'environ 350 ms est bien observable. Par la suite les oscillations de température deviennent quasi-régulières. On voit que la température maximale par cycle thermique (T_{\max}) demeure sans changement pendant la période de transition et même diminue légèrement après. En suivant la théorie linéaire du transfert de chaleur, la durée de la période de transition diminue avec l'augmentation de la vitesse de la source de chaleur. Les cycles thermiques correspondant à trois différentes impulsions des séries présentées sur la Fig. 12 sont superposés sur la Fig. 13 afin d'analyser les particularités de l'étape de refroidissement.

On peut noter que l'instant de l'augmentation brusque de la vitesse de refroidissement, celui qui a été précédemment identifié avec la solidification de Co, est maintenant situé au-dessous du point de fusion de Co. Dans le système WC-Co, une transformation eutectique a lieu à approximativement 1360°C , provoquant la formation d'une phase liquide à cette température (voir le diagramme de phase WC-Co). Après l'augmentation de T_{\min} , l'épaisseur de la couche fondue augmente aussi bien, ce qui résulte en une durée plus longue de sa solidification et donc dans une meilleure diffusion de WC dans la fonte de Co. En conséquence, avec la concentration de WC dans la fonte, le point de solidification se déplace de 1492°C à 1360°C . Le fait que la courbe de température de surface n'atteint pas la valeur de 1360°C indique que la fonte ne se solidifie pas complètement entre les impulsions et que la phase liquide existe de manière permanente pendant la série d'impulsions laser. C'est la différence principale par rapport aux conditions de rechargement précédemment analysées, quand le Co se solidifie complètement entre des impulsions laser consécutives.

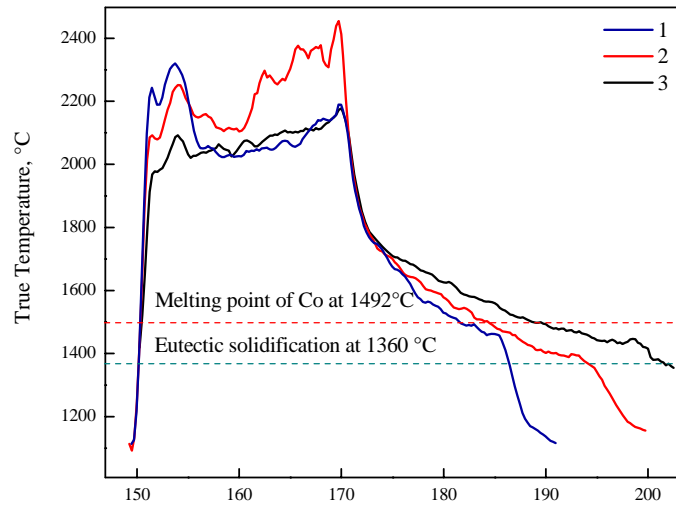


Fig. 13. Comparaison de trois cycles thermiques correspondant à un seul pulse (Fig. 10). Positions des cycles thermiques 1–3 sont indiquées sur la fig. 10 par les numéros correspondants.