



Congrès Matériaux 2022 – Colloque 14 – Session 8

*Etude de l'oxydation et des propriétés radiatives
d'alliages haute entropie : une possibilité pour le
solaire à concentration ?*



L. Charpentier¹, A. Kauffmann², E. Bêche¹, C.
Escape¹, J.-L. Sans¹, B. Gorr², M. Heilmaier², A.
Soum-Glaude¹

¹ PROMES, CNRS, 7 rue du Four Solaire 66120 Font-Romeu Odeillo,
France

² IAM, KIT, Engelbert-Arnold-Straße 4, Building 10.91, 76131
Karlsruhe, Allemagne



CONFÉRENCE INTERNATIONALE

MATÉRIAUX

LILLE GRAND PALAIS • 24-28 OCTOBRE 2022



FÉDÉRATION
FRANÇAISE
DES MATÉRIAUX



CONTEXTE

Potentiel des alliages haute entropie

CONTEXTE

Alliages Haute Entropie et solaire à concentration



Undergraduate Graduate Research Entrepreneurship Community About Q

← All Thayer News

Dartmouth receives a \$750,000 grant from the Department of Energy for a new solar technology research project

AUG 18, 2020 | SOLAR POWER INVESTOR

"Dartmouth's engineering program has been working on new technology to improve the efficiency of solar power. Now, with the help of new funding, they are able to continue this research and contribute to the renewable industry. The U.S. Department of Energy has given them a three year \$750,000 grant to continue the development of high-temperature tubing material for concentrated solar power systems. This system is using a patented alloy which Dartmouth has developed, and there is hope that this could both increase efficiency and decrease the cost of harnessing and storing solar energy," reports [Solar Power Investor](#).

"As they continue with this research, Dartmouth's engineers will be testing the potential of this high entropy alloy. It was created by combining more than five elements to act as a high efficiency solar thermal absorber when oxidized. This idea for application took place on accident in 2017 when [Jifeng Liu](#), a Dartmouth engineering professor, was speaking with students about the high entropy alloy that fellow professor [Ian Baker](#) has developed. He then realized that this technology connected to his own personal research regarding solar absorbers through oxidizing the surface of the alloys. Dartmouth engineering students and professors have been working with the idea over the past three years to apply and improve this original realization.

"These FeMnNiAlCr HEAs are stronger and more ductile than stainless steel, have both better oxidation and corrosion resistance, and can be easily formed," said Ian Baker; Liu's co-PI on the grant.

Alliages haute entropie:

- 5 éléments (minimum)
- Composition équimolaires

Intérêt des alliages haute entropie:

- Ductilité
- Résistance à l'oxydation
- Propriétés optiques

... adaptables via la composition

CONTEXTE

Résistance à l'oxydation des AHE

Table 1

Weight gain during oxidation of RHEAs at 1000 °C in air.

Alloy composition	Weight Gain (mg/cm ²)				Ref.
	1 h	3 h	20 h	50 h	
CrMo _{0.5} NbTa _{0.5} TiZr	55	110			[19]
CrNbTiZr	13	25	60	83	[23]
NbTiVZr	30	100			[23]
AlCrMoNbTi	0.5	0.8	3.5	9.0	[26]
AlCrMoNbTi-1Si	0.5	1	2.4	6.4	[26]
AlCrMoTiW	2.3	3.8	6.5		[22]
AlCr _{0.5} Mo _{0.5} NbTiZr	4.29	21			[33]
AlCr _{0.5} Mo _{0.5} NbTiZr	3.46				[33]
Al _{0.5} CrMo _{0.5} NbTiZr	13.38				[33]
Al _{0.5} Cr _{0.5} MoNbTiZr	7.29				[33]
Al _{1.5} Mo _{0.5} NbTiZr	8.25				[33]
AlMoNbTiZr	1.27				[33]
Al _{0.5} Mo _{1.5} NbTiZr	6.3	20			[33]
Al _{1.5} Cr _{0.5} NbTiZr	10.66				[33]
AlCrNbTiZr	6.1	39			[33]
Al _{0.5} Cr _{1.5} NbTiZr	9.4				[33]
Cr _{1.5} Mo _{0.5} NbTiZr	8.77				[33]
CrMoNbTiZr	0.5				[33]
Cr _{0.5} Mo _{1.5} NbTiZr	7.7		13.6		[30]
AlCrNbTiZr	13	13	23	52	[34]
AlCrMoTaTi	0.15	0.3	0.5	0.6	[35]
AlCrMoTaTi-1Si	0.25	0.4	0.8	1.3	[35]
HfNbTaTiZr	17				[32]
Al _{0.5} HfNbTaTiZr	8.5				[32]
AlHfNbTaTiZr	6				[32]
AlNbTiZr	3.8				[30]
HfNbTiZr	0.25				[30]
AlCoCrFeMo _{0.5} NiSiTi	0.3	1	2.2	3.7	[36]
AlCrFeMo _{0.5} NiSiTi	1	1.8	2.8	8	[36]
CrMoNbTaV	3	13	42		[37]
AlNb _{1.5} Ta _{0.5} Ti _{1.5} Zr _{0.5}	5	10	25	38	[38]

Ref: Wasseem *et al.*, J. Alloy. Compd. 2020

Une composition se distingue particulièrement pour sa résistance à l'oxydation:

- Ta-Mo-Cr-Ti-Al (TMCTA), élaboré par l'institut des matériaux appliqués de l'université de Karlsruhe (IAM-KIT)

Etude préliminaire: propriétés optiques de l'alliage TMCTA et Ta-Mo-Cr-Al (TMCA) avant et après oxydation de 6h à 1100 °C en four résistif

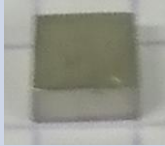

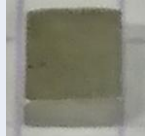

Matériaux et méthodes

Alliages étudiés - caractérisation

MATERIAUX

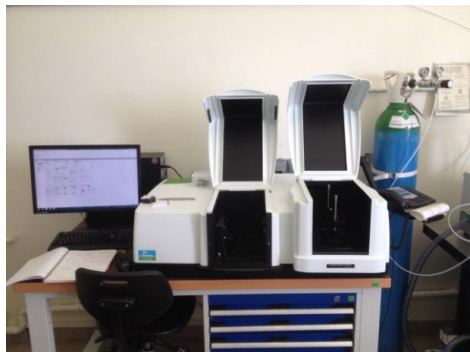
Alliages étudiés

Alliages TMCTA et TMCA équimolaires, poli miroir avant oxydation 6h en four résistif sous air à 1100 °C

	Avant oxydation	Après oxydation	$\Delta m / S$
TMCA			1,15 mg cm ⁻²
TMCTA			3,71 mg cm ⁻²

METHODES

Mesures optiques



Perkin Elmer Lambda 950



SOC 100

Mesure de réflectivité hémisphérique directionnelle à 300 K dans les intervalles 0.25-2.5 μm (Perkin Elmer Lambda 950) et 2-25 μm (SOC 100)

- Permet de déduire l'émissivité spectrale à 300 K (matériaux opaques)

$$\varepsilon(\lambda, 300 \text{ K}) = 1 - \rho(\lambda, 300 \text{ K})$$

- Donne une première indication sur comment l'oxydation peut affecter l'absorptivité solaire α et l'émissivité totale ε à 300 K

Résultats

Mesures optiques - Caractérisations

MESURES OPTIQUES

Evolution de l'absorptivité solaire à 300 K

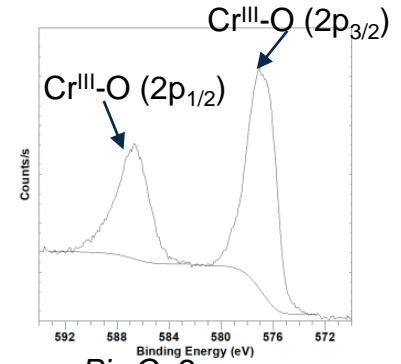
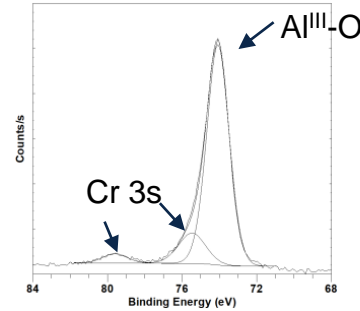
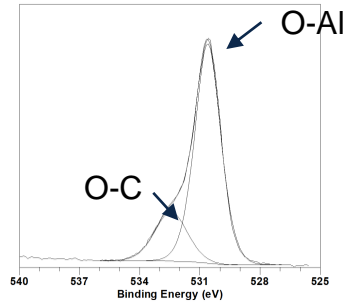
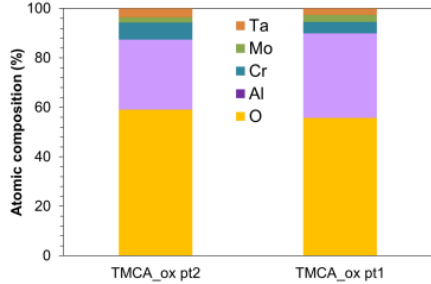
$$\alpha = \frac{\int_0^{+\infty} \varepsilon(\lambda) I(\lambda) d\lambda}{\int_0^{+\infty} I(\lambda) d\lambda}$$

Echantillon	Après polissage	Oxydé 6h
Inconel 625		0,85
TMCA	0,61	0,89
TMCTA	0,48	0,90

- Absorptivité des alliages TMCA et TMCTA qui augmente avec l'oxydation
- Supérieure à celle de l'inconel 625 oxydé

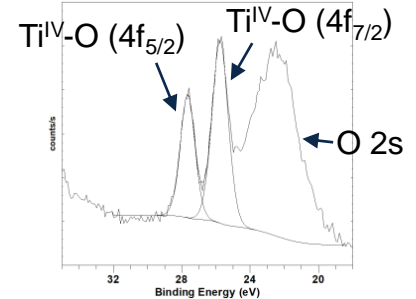
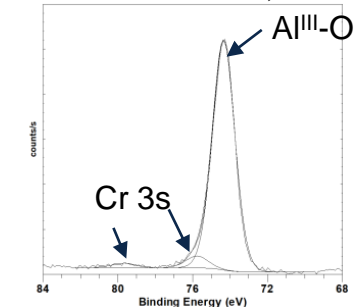
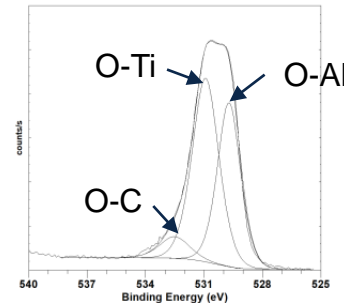
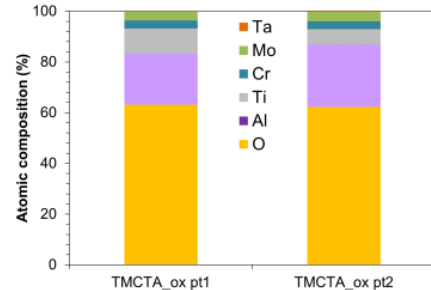
CARACTERISATION Analyses XPS

TMCA



Composition atomique à la surface

TMCTA



TMCA: Enrichissement de la surface en oxyde d'aluminium (+ oxyde de chrome, mineur)

TMCTA: forte présence de rutile et d'oxyde d'aluminium

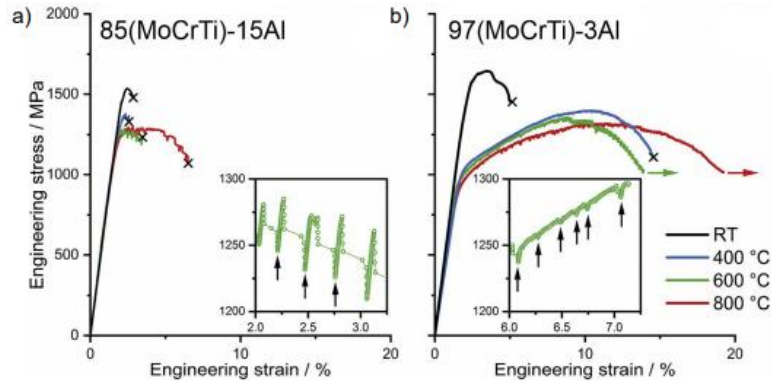
CONCLUSIONS

Lien oxydation et propriétés optiques

PERSPECTIVES

Résistance aux sollicitations thermo-mécaniques à améliorer!

- Ce qui semble possible en ajustant la concentration en aluminium (passage d'une structure ordonnée fragile à une structure désordonnée capable de supporter un endommagement plastique significatif)



- Projet bilatéral ANR-DFG en cours de montage!

Courbe de compression d'échantillon a) 85(MoCrTi)-15 Al (ordonnée B2) b) 97(MoCrTi)-3Al (désordonnée A2) en fonction de la température

(Ref: Laube et al., J. Alloy Compd. 823 (2020) 153805)



Merci pour votre attention!

Ludovic.Charpentier@promes.cnrs.fr

www.promes.cnrs.fr

www.cnrs.fr

