

Multiscale-Optimized Hydrothermal Composite Coatings for Magnesium Alloys: Corrosion Resistance Mechanisms

Jiyuan Zhu*, Jianmao Wu

Key Laboratory of Advanced Manufacturing and Automation Technology (Guilin University of Technology). Education
Department of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Guilin, China,541006

3. Results

3.2.2 Electrochemical impedance spectroscopy

Table. S1 EIS fitting results for AZ91D substrate and coating samples

Sample	R _s (Ω·cm ²)	CPE _i		R _i /R _L (Ω·cm ²)	CPE _f		R _f (Ω·cm ²)	CPE _{dl}		R _{ct} (Ω·cm ²)
		Y _i (F cm ⁻² ·S ⁿ⁻¹)	n _i		Y _f (F cm ⁻² ·S ⁿ⁻¹)	n _f		Y _{dl} (F cm ⁻² ·S ⁿ⁻¹)	n _{dl}	
AZ91D	43.47	/	/	1243	2.31×10 ⁻⁵	0.90	275	1.3×10 ⁻⁴	0.97	112.7
MCS-40	68.49	1.03×10 ⁻⁶	0.44	5.08×10 ⁵	2.22×10 ⁻⁹	0.92	1.33×10 ⁴	8.97×10 ⁻⁶	0.80	1.02×10 ⁶
MCS-60	87.56	4.34×10 ⁻⁷	0.48	4.51×10 ⁵	1.74×10 ⁻⁹	0.95	3.61×10 ⁴	4.95×10 ⁻⁶	0.66	3.15×10 ⁶
MCS-80	86.81	7.23×10 ⁻⁷	0.26	1.36×10 ⁶	1.68×10 ⁻⁹	0.95	9.03×10 ⁴	3.96×10 ⁻⁶	0.91	3.41×10 ⁶
MCS-100	57.61	3.79×10 ⁻⁵	0.26	2.42×10 ⁵	2.52×10 ⁻⁹	0.89	1.27×10 ⁴	7.91×10 ⁻⁶	0.87	3.03×10 ⁶

Table .S2 CPE components and Rtotal calculations for AZ91D substrate and coating samples

Sample	C _{eff,i} (F·cm ⁻²)	C _{eff,f} (F·cm ⁻²)	C _{eff,dl} (F·cm ⁻²)	d _{eff,i} (mm)	d _{eff,f} (mm)	R _{total} (Ω·cm ²)
AZ91D	/	1.32×10 ⁻⁵	9.51×10 ⁻⁷	/	5.51×10 ⁻⁸	1621.7
MCS-40	4.44×10 ⁻⁹	8.96×10 ⁻¹⁰	1.41×10 ⁻⁶	1.66×10 ⁻⁴	8.10×10 ⁻⁴	1.54×10 ⁶
MCS-60	4.81×10 ⁻⁹	1.05×10 ⁻⁹	9.16×10 ⁻⁸	1.51×10 ⁻⁴	6.94×10 ⁻⁴	3.64×10 ⁶
MCS-80	3.06×10 ⁻¹⁰	1.06×10 ⁻⁹	1.80×10 ⁻⁶	2.37×10 ⁻³	6.86×10 ⁻⁴	4.48×10 ⁶
MCS-100	4.73×10 ⁻⁶	7.01×10 ⁻¹⁰	2.51×10 ⁻⁶	1.53×10 ⁻⁷	1.03×10 ⁻³	3.28×10 ⁶

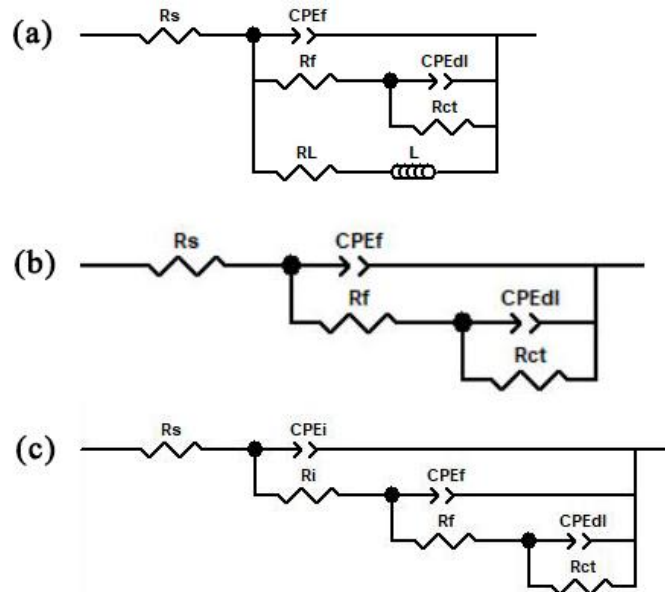


Fig. S1 Equivalent circuits of (a) , (b) substrate and (c) coated samples during long time immersion

Table. S3 EIS fitting results of AZ91D substrate and coating samples after immersion in 3.5 wt% NaCl solution for different times

Sample	R _s (Ω·cm ²)	CPE _i		R _i /R _L (Ω·cm ²)	CPE _f		R _f (Ω·cm ²)	CPE _{dl}		R _{ct} (Ω·cm ²)
		Y _i	n _i		Y _f	n _f		Y _{dl}	n _{dl}	
		(F cm ⁻² ·S ⁿ⁻¹)			(F cm ⁻² ·S ⁿ⁻¹)			(F cm ⁻² ·S ⁿ⁻¹)		
AZ91D										
12h	23.54	/	/	1221	1.03×10 ⁻⁵	0.93	1169	2.70×10 ⁻⁵	0.96	202.60
24h	24.34	/	/	1367	8.73×10 ⁻⁶	0.95	1599	1.32×10 ⁻⁵	0.97	316.10
48h	26.22	/	/	/	1.03×10 ⁻⁵	0.48	1975	1.40×10 ⁻⁵	0.67	4332
72h	28.80	/	/	/	5.45×10 ⁻⁶	0.97	3539	1.87×10 ⁻⁷	0.94	9289
96h	42.96	/	/	/	6.91×10 ⁻⁶	0.93	18379	2.71×10 ⁻⁵	0.55	26686
MCS40										
12h	67.20	6.51×10 ⁻⁸	0.62	4.45×10 ⁵	2.22×10 ⁻⁹	0.92	1.38×10 ⁵	2.48×10 ⁻⁶	0.41	9.35×10 ⁶
24h	41.92	2.46×10 ⁻⁹	0.46	4.42×10 ⁵	2.28×10 ⁻⁹	0.92	1.04×10 ⁶	7.09×10 ⁻⁷	0.32	2.39×10 ⁷
48h	57.02	3.81×10 ⁻⁸	0.30	8.39×10 ⁶	1.27×10 ⁻⁹	0.94	6.85×10 ⁶	2.08×10 ⁻⁶	0.34	4.34×10 ⁷
72h	57.47	1.64×10 ⁻⁹	0.73	1.38×10 ⁷	7.46×10 ⁻¹⁰	0.96	5.60×10 ⁷	2.01×10 ⁻⁷	0.39	5.18×10 ⁷
96h	86.63	1.76×10 ⁻⁹	0.81	2.15×10 ⁷	3.71×10 ⁻¹⁰	0.98	2.93×10 ⁷	1.71×10 ⁻⁷	0.21	5.17×10 ⁸
MCS60										
12h	63.05	1.44×10 ⁻⁶	0.29	2.45×10 ⁵	5.63×10 ⁻¹⁰	0.93	1.82×10 ⁵	8.81×10 ⁻⁶	0.82	9.42×10 ⁶
24h	66.4	1.01×10 ⁻⁷	0.25	6.90×10 ⁶	1.56×10 ⁻⁹	0.95	2.37×10 ⁵	2.17×10 ⁻⁶	0.92	2.10×10 ⁷
48h	46.99	6.47×10 ⁻⁸	0.45	9.69×10 ⁶	1.31×10 ⁻⁹	0.95	5.04×10 ⁶	2.62×10 ⁻⁷	0.85	3.21×10 ⁷
72h	84.50	1.00×10 ⁻⁸	0.33	1.55×10 ⁷	1.13×10 ⁻⁹	0.96	1.24×10 ⁷	1.91×10 ⁻⁷	0.40	3.69×10 ⁷
96h	73.34	1.58×10 ⁻⁸	0.22	5.05×10 ⁷	1.33×10 ⁻⁹	0.96	6.74×10 ⁷	1.01×10 ⁻⁶	0.96	6.10×10 ⁸
MCS80										
12h	84.45	9.54×10 ⁻⁹	0.65	1.01×10 ⁶	8.77×10 ⁻¹⁰	0.99	1.61×10 ⁵	8.77×10 ⁻⁷	0.34	1.51×10 ⁶

24h	71.98	7.29×10^{-9}	0.65	2.14×10^6	3.52×10^{-10}	0.95	4.73×10^5	7.57×10^{-7}	0.37	2.12×10^7
48h	40.76	3.63×10^{-9}	0.79	5.01×10^6	1.53×10^{-10}	0.93	1.44×10^6	2.04×10^{-8}	0.23	3.85×10^7
72h	67.57	1.93×10^{-9}	0.82	7.60×10^6	2.47×10^{-10}	0.98	2.22×10^6	1.58×10^{-7}	0.22	4.90×10^7
96h	66.35	1.88×10^{-9}	0.83	1.01×10^7	2.10×10^{-10}	0.92	2.18×10^7	1.23×10^{-7}	0.29	5.40×10^8
MCS100										
12h	42.60	5.85×10^{-8}	0.36	1.10×10^6	1.17×10^{-9}	0.95	4.14×10^5	4.13×10^{-7}	0.31	1.86×10^6
24h	76.04	5.62×10^{-9}	0.76	3.80×10^6	7.37×10^{-10}	0.99	3.72×10^5	3.62×10^{-7}	0.13	2.70×10^7
48h	64.91	7.20×10^{-8}	0.31	7.96×10^6	1.31×10^{-9}	0.95	2.28×10^6	5.38×10^{-7}	0.79	3.06×10^7
72h	68.43	5.54×10^{-8}	0.37	9.11×10^6	1.38×10^{-9}	0.94	5.35×10^6	5.81×10^{-7}	0.54	4.58×10^7
96h	52.32	3.97×10^{-8}	0.11	3.00×10^8	1.42×10^{-9}	0.95	1.26×10^6	3.48×10^{-6}	0.68	8.04×10^8

Table. S4 Calculated CPE components and R_{total} of AZ91D substrate and coating samples after immersion in 3.5 wt% NaCl solution for different times

Sample	$C_{eff,i}$ ($F \cdot cm^{-2}$)	$C_{eff,f}$ ($F \cdot cm^{-2}$)	$C_{eff,dl}$ ($F \cdot cm^{-2}$)	$d_{eff,i}$ (mm)	$d_{eff,f}$ (mm)	R_{total} ($\Omega \cdot cm^2$)
AZ91D						
12h	/	7.39×10^{-6}	1.98×10^{-5}	/	9.83×10^{-8}	2592.6
24h	/	6.97×10^{-6}	1.03×10^{-5}	/	1.04×10^{-7}	3282.1
48h	/	1.51×10^{-7}	2.84×10^{-7}	/	4.79×10^{-6}	6307
72h	/	4.82×10^{-6}	8.62×10^{-8}	/	1.50×10^{-7}	12828
96h	/	5.92×10^{-6}	1.08×10^{-7}	/	1.23×10^{-7}	45065
MCS40						
12h	3.62×10^{-9}	1.10×10^{-9}	9.07×10^{-12}	2.00×10^{-4}	6.61×10^{-4}	9.93×10^6
24h	2.23×10^{-12}	1.35×10^{-9}	1.70×10^{-16}	0.33	5.38×10^{-4}	2.54×10^7
48h	1.66×10^{-9}	9.38×10^{-10}	4.98×10^{-14}	4.38×10^{-4}	7.74×10^{-4}	5.86×10^7
72h	6.78×10^{-10}	6.54×10^{-10}	3.81×10^{-15}	1.07×10^{-3}	1.11×10^{-3}	1.22×10^8
96h	8.78×10^{-10}	3.38×10^{-10}	1.16×10^{-25}	8.27×10^{-4}	2.15×10^{-3}	5.68×10^8
MCS60						
12h	5.43×10^{-8}	2.82×10^{-10}	1.70×10^{-6}	1.34×10^{-5}	2.57×10^{-3}	9.85×10^6
24h	1.39×10^{-12}	1.03×10^{-9}	1.01×10^{-6}	0.52	7.05×10^{-4}	2.81×10^7
48h	1.64×10^{-8}	1.01×10^{-9}	3.56×10^{-8}	4.41×10^{-5}	7.22×10^{-4}	4.68×10^7
72h	1.44×10^{-10}	9.46×10^{-10}	1.24×10^{-14}	5.03×10^{-3}	7.67×10^{-4}	6.48×10^7
96h	1.97×10^{-8}	1.20×10^{-9}	6.80×10^{-7}	3.67×10^{-5}	6.03×10^{-4}	7.28×10^{-8}
MCS80						
12h	2.91×10^{-10}	8.02×10^{-10}	8.42×10^{-15}	2.50×10^{-3}	9.05×10^{-4}	2.68×10^6
24h	3.44×10^{-10}	2.23×10^{-10}	4.16×10^{-14}	2.11×10^{-3}	3.26×10^{-3}	2.38×10^7
48h	8.98×10^{-10}	8.12×10^{-11}	9.00×10^{-29}	8.08×10^{-4}	8.94×10^{-3}	4.50×10^7
72h	5.83×10^{-10}	2.12×10^{-10}	3.73×10^{-25}	1.24×10^{-3}	3.42×10^{-3}	5.88×10^7
96h	9.77×10^{-10}	1.31×10^{-10}	4.29×10^{-20}	7.43×10^{-4}	5.52×10^{-3}	5.72×10^8
MCS100						
12h	7.84×10^{-11}	7.83×10^{-11}	1.08×10^{-17}	9.25×10^{-3}	9.27×10^{-4}	3.37×10^6
24h	8.01×10^{-10}	6.78×10^{-10}	1.10×10^{-37}	9.06×10^{-4}	1.07×10^{-3}	3.12×10^7
48h	1.29×10^{-9}	9.65×10^{-10}	3.52×10^{-8}	5.62×10^{-4}	7.52×10^{-4}	4.08×10^7

72h	6.99×10^{-9}	1.01×10^{-3}	1.04×10^{-10}	1.04×10^{-4}	7.19×10^{-4}	6.03×10^8
96h	1.19×10^{-18}	1.02×10^{-9}	6.05×10^{-8}	6.12×10^5	7.13×10^{-4}	1.11×10^9

3.3 Immersion and hydrogenation experiments

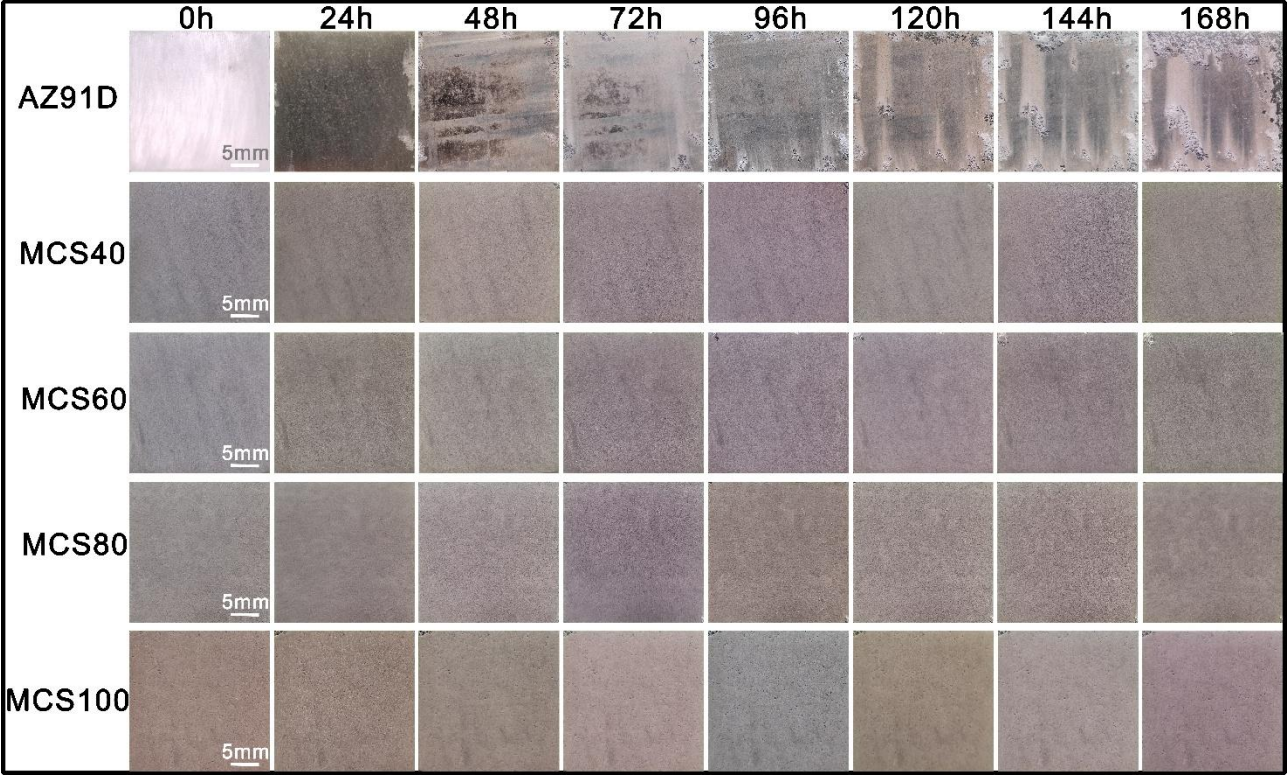


Fig. S2 Complete optical photograph of the immersion experiment