

ВЛИЯНИЕ ПРОДУКТОВ КОРРОЗИИ, ВРЕМЕНИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ВЫДЕРЖКИ В КОРРОЗИОННОЙ СРЕДЕ И СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МЕХАНИЗМ РАЗРУШЕНИЯ СПЛАВА МА14 ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА ВОЗДУХЕ

Полуянов В.А.¹, Мерсон Е.Д.¹, Мягких П.Н.¹, Мерсон Д.Л.¹, Виноградов А.Ю.²

1 – НИИ прогрессивных технологий, ТГУ, Тольятти, Россия,

2 – Норвежский технологический университет, г. Тронхейм, Норвегия

vitaliy.poluyanov@gmail.com

1. Введение

В последнее время наблюдается большой интерес к деформируемым магниевым сплавам поскольку они обладают комплексом уникальных физических и механических характеристик. Однако их широкое внедрение ограничено, в том числе из-за их низкой стойкости к коррозионному растрескиванию под напряжением (КРН), механизм которого недостаточно изучен. Распространенным является мнение о том, что КРН магниевых сплавов так же как, например, и ВХ сталей, вызвано влиянием диффузионно-подвижного водорода, который проникает в металл, вследствие, протекающих на поверхности металла, коррозионных процессов [1,2]. Если это так, то КРН магния, также как и обратимая ВХ сталей, должно проявляться не только при механическом испытании непосредственно в коррозионной среде, но и в результате испытания на воздухе после насыщения образца диффузионно-подвижным водородом, например, путем его достаточно длительной выдержки в коррозионной среде. Причем КРН должно проявляться тем сильнее, чем выше концентрация диффузионно-подвижного водорода в металле, которая должна расти с увеличением времени выдержки в коррозионной среде. Кроме того, если в результате выдержки в коррозионной среде диффузионно-подвижный водород проникает в магний и в дальнейшем приводит к развитию КРН по механизму аналогичному обратимой ВХ сталей, то охрупчивание должно усиливаться с уменьшением скорости деформации. Таким образом, целью настоящего исследования было установить влияние времени предварительной выдержки в коррозионной среде и скорости деформации на механические свойства магниевого сплава МА14 при испытаниях на воздухе.

2. Методика исследования

Из прутков промышленного экструдированного магниевого сплава МА14 (таблица 1) путем токарной обработки были изготовлены цилиндрические резьбовые образцы с размером рабочей части 30×6 мм. Испытания проводили по схеме одноосного растяжения при двух различных скоростях деформации $5 \cdot 10^{-6}$ и $5 \cdot 10^{-4}$ с⁻¹ в различных условиях: 1) на воздухе, 2) в коррозионной среде, 3) на воздухе после выдержки в коррозионной среде разной продолжительности, 4) на воздухе после выдержки в коррозионной среде и последующего удаления продуктов коррозии.

Таблица 1 – Химический состав сплава МА14, %

Mg	Al	Zn	Ca	Zr	Fe	Cu	Mn	Ce	Nd	Si
Основа	0.002	5.417	0.0004	0.471	0.001	0.002	0.005	0.002	0.003	0.003

Во всех случаях в качестве коррозионной среды использовался водный раствор состава 5 г/л NaCl + 5 г/л K₂Cr₂O₇. При испытаниях по варианту №3 сразу после извлечения образцов из раствора, образец протирали бумажным полотенцем для удаления с поверхности остатков жидкости. В экспериментах по варианту №4 продукты коррозии удаляли согласно ГОСТ Р 9.907-2007 путем погружения образца в раствор С.5.4 (200 г CrO₃, 10 г AgNO₃, 1000 мл H₂O) и выдержки в нем в течение 1 минуты. Предварительно было установлено, что данная процедура не приводит к растворению металла основы.

3. Результаты и обсуждение

В результате проведенных экспериментов установлено, что при испытании на воздухе образцы, не контактировавшие с коррозионной средой, имеют вязкий излом и показывают достаточно высокое относительное удлинение, составляющее около 30 % и 17% при низкой и высокой скоростях деформации, соответственно, (кривые 1 на рис. 1а и б). При этом в коррозионной среде образцы разрушаются в квази-упругой области диаграммы растяжения, при напряжении порядка 0.7 от предела текучести (кривая 2 на рис. 1а) и показывают на 90% хрупкий излом. В этом случае до разрушения образец находился в коррозионной среде около 90 минут. Образец, выдержанный в коррозионной среде в течение того же времени и затем испытанный на воздухе показал заметно более высокие значения удлинения и прочности (кривая 4 на рис. 1а), которые тем не менее существенно ниже, чем у образца, испытанного на воздухе при той же скорости деформации, но не взаимодействовавшего с коррозионной средой. Как видно на рис. 1 уменьшение времени выдержки в коррозионной среде в 3 раза (до 30 мин) приводит к сильному увеличению пластичности до 15% (кривая 5 на рис. 1а), тогда как в результате увеличения времени выдержки в 8 раз пластичность становится лишь немного ниже, чем при 1.5 часовой выдержке (кривая 3 на рис. 1а). У всех образцов, испытанных на воздухе сразу после предварительной выдержки в коррозионной среде, в периферийной части изломов наблюдается хрупкая кольцевая зона, площадь которой тем больше, чем длительней была выдержка. При испытании на воздухе с высокой скоростью деформации относительное удлинение образцов, предварительно выдержанных в коррозионной среде в течение 1.5 часов, заметно выше, чем при низкой скорости деформации.

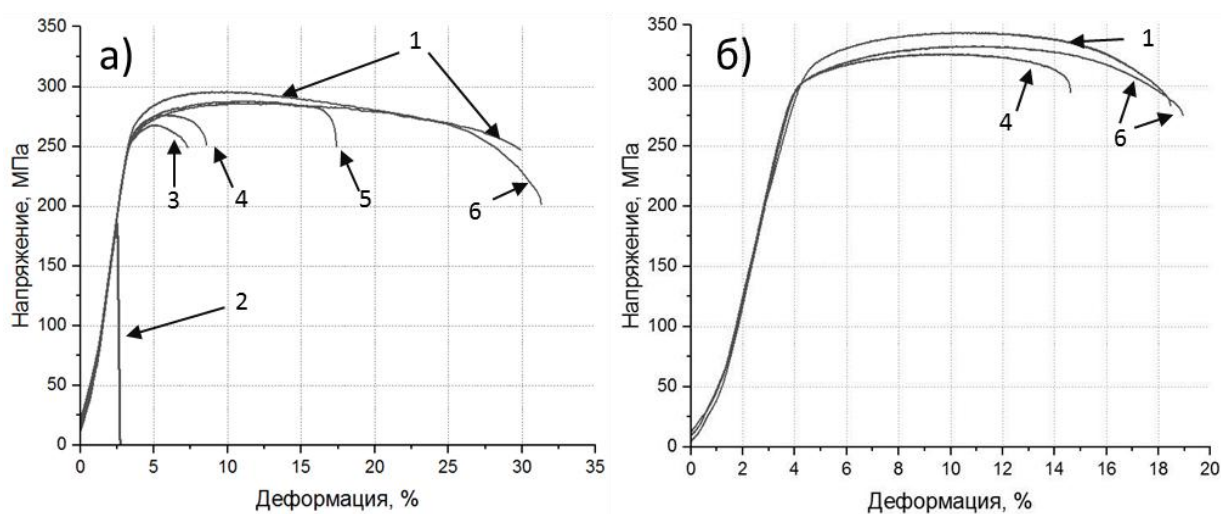


Рисунок 1 – Диаграммы растяжения образцов, испытанных при скорости деформации $5 \cdot 10^{-6}$ – а) и $5 \cdot 10^{-4}$ с⁻¹ – б):
1 – на воздухе без коррозионного воздействия; 2 – в коррозионной среде; 3, 4, 5 – на воздухе с предварительной выдержкой в коррозионной среде в течение 12, 1,5 и 0,5 часов, соответственно; 6 – то же что и 4, но с удаленными продуктами коррозии перед испытанием.

Полученные результаты могут натолкнуть на поспешный вывод о том, что причиной охрупчивания образцов, действительно, является диффузионно-подвижный водород, который попадает в металл в процессе выдержки в коррозионной среде (см. введение). Однако оказалось, что, если сразу после выдержки в коррозионной среде с поверхности образцов удалить продукты коррозии при помощи специального химического раствора, то механические свойства образцов полностью восстанавливаются. При обеих скоростях деформации излом таких образцов вязкий, а механические свойства металла такие же, как у образцов, не подвергавшихся коррозионному воздействию и испытанных на воздухе (кривые 6 и 3 на рис. 1а и б, соответственно). Таким образом, можно заключить, во-первых, что диффузионно-подвижный водород, либо вообще не проникает в исследованный сплав, либо не оказывает охрупчивающего действия, а, во-вторых, что причина охрупчивания

образцов каким-то образом связана с продуктами коррозии. Было установлено, что непосредственно на кромке изломов образцов, предварительно выдержанных в коррозионной среде, наблюдаются продукты коррозии. Трещины в этих образцах не могли возникнуть в процессе выдержки до начала испытания. Можно предположить, что некоторое количество коррозионной среды остается под коркой продуктов коррозии извлечения образцов из раствора. По всей видимости, наличие данной среды и приводит к охрупчиванию материала в процессе последующего испытания на воздухе. Тем не менее, механизм охрупчивающего влияния среды пока не ясен и его выяснение требует дополнительных исследований.

Выводы.

1. Роль диффузионно-подвижного водорода в механизме коррозионного растрескивания под напряжением магниевого сплава МА14 незначительна.

2. С увеличением времени предварительной выдержки в коррозионной среде состава 5 г/л NaCl + 5 г/л K₂Cr₂O₇ и уменьшением скорости деформации при последующем испытании на воздухе охрупчивание сплава МА14 усиливается, однако, если непосредственно перед испытанием с поверхности образца удалить продукты коррозии, то его свойства полностью восстанавливаются.

3. Предположительно, причиной охрупчивания образцов в случае их предварительной выдержки в коррозионной среде и последующего испытания на воздухе, является коррозионная среда, оставшаяся в жидком виде между поверхностью образца и пленкой продуктов коррозии.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 18-19-00592)

Список использованных источников

1. Atrens A. et al. Stress corrosion cracking (SCC) of magnesium alloys // Stress Corrosion Cracking. Elsevier, 2011. Vol. 13, № 1–2. P. 341–380.
2. Kappes M., Iannuzzi M., Carranza R.M. Hydrogen Embrittlement of Magnesium and Magnesium Alloys: A Review // J. Electrochem. Soc. 2013. Vol. 160, № 4. P. C168–C178.