



The influence of laser treatment on structure, hardness, abrasive wear resistance and cavitation endurance of secondary alloy AK8M3 with increasing content of iron is shown.

И. П. ВОЛЧОК, Н. В. ШИРОКОБОКОВА, А. А. МИТЯЕВ,
Запорожский национальный технический университет

УДК 669.017:669.15–194:621.785.9

ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Благодаря высокой коррозионной стойкости и малой плотности алюминиевые сплавы нашли широкое применение во многих отраслях промышленности. Основным недостатком этих сплавов являются низкие твердость, прочность и износостойкость. В работах [1–4] показано, что в результате поверхностной лазерной обработки (ЛО) достигается диспергизация структуры, возрастание дефектов кристаллического строения, формирование метастабильных фаз и, как следствие, повышение твердости алюминия и его сплавов. Влияние ЛО на другие свойства алюминиевых сплавов изучено в меньшей мере.

В связи с этим целью работы было изучение влияния ЛО на структуру, твердость, абразивную износостойкость и кавитационную стойкость вторичного сплава АК8М3 с возрастающим от 0,40 до 1,45% содержанием железа. Известно, что железо является одним из основных примесных элементов, образующих интерметаллиды неблагоприятной формы, оказывающие отрицательное влияние на механические и служебные свойства алюминиевых сплавов. При выполнении настоящего исследования предполагалось, что диссоциация интерметаллидов и переход железа в твердый раствор в результате ЛО будут способствовать повышению твердости, износостойкости и кавитационной стойкости силумина АК8М3. ЛО проводили на импульсном лазере «КВАНТ-12» (режим оплавления поверхности, $\tau = 4$ мс, $\lambda = 0,6943$ мкм, перекрытие дорожек – 30%).

Согласно металлографическим исследованиям, структура сплава с 0,4% железа в исходном (литом) состоянии состояла из дендритов Al, эвтектики, а также интерметаллидных фаз: дисперсных включений CuAl_2 и крупных пластинчатых Al_5SiFe , неравномерно распределенных в объеме сплава (рис. 1, а). Повышение содержания железа привело к увеличению объемной доли включений

и огрублению структуры в результате изменения морфологии железосодержащих фаз (рис. 1, б, в).

После ЛО в зоне лазерного воздействия произошло образование высокодисперсного твердого раствора, растворение эвтектики и интерметаллидных фаз (рис. 1, г, д). При этом в некоторых сплавах на границе зоны лазерного воздействия и матрицы наблюдались неразрушенные кристаллы кремния и фазы Al_5SiFe . Такие структурные изменения были характерны для всех образцов и привели более чем к 2-кратному повышению микротвердости, при этом максимальная твердость наблюдалась около поверхности образца, с увеличением расстояния от поверхности микротвердость уменьшалась (рис. 2). На микротвердость также влияло содержание железа: чем выше была его концентрация, тем более высокие показатели H_μ были получены (рис. 3). Двойная ЛО приводила к образованию более гомогенной структуры и увеличению толщины проплавленного слоя.

Износостойкость в условиях абразивного изнашивания о нежестко закрепленный абразив (кварцевый песок) определяли по потере массы образцов в процессе испытаний на специальной установке в соответствии с ГОСТ 23.208-79. Как показали результаты эксперимента (рис. 4), в исходном состоянии увеличение содержания железа в сплаве привело к увеличению потери массы, что можно объяснить изменениями в структуре, описанными выше. При контакте с частицами абразива хрупкие интерметаллидные фазы могли не только выкрашиваться, но и служить причиной возникновения и распространения микротрещин, способствующих увеличению потери массы.

После ЛО зависимость $\Delta m = f(\text{Fe})$ носила обратный характер: повышение содержания железа привело к уменьшению потери массы образцов (рис. 4), что может быть объяснено твердорастворным упрочнением сплава с помощью железа. В це-

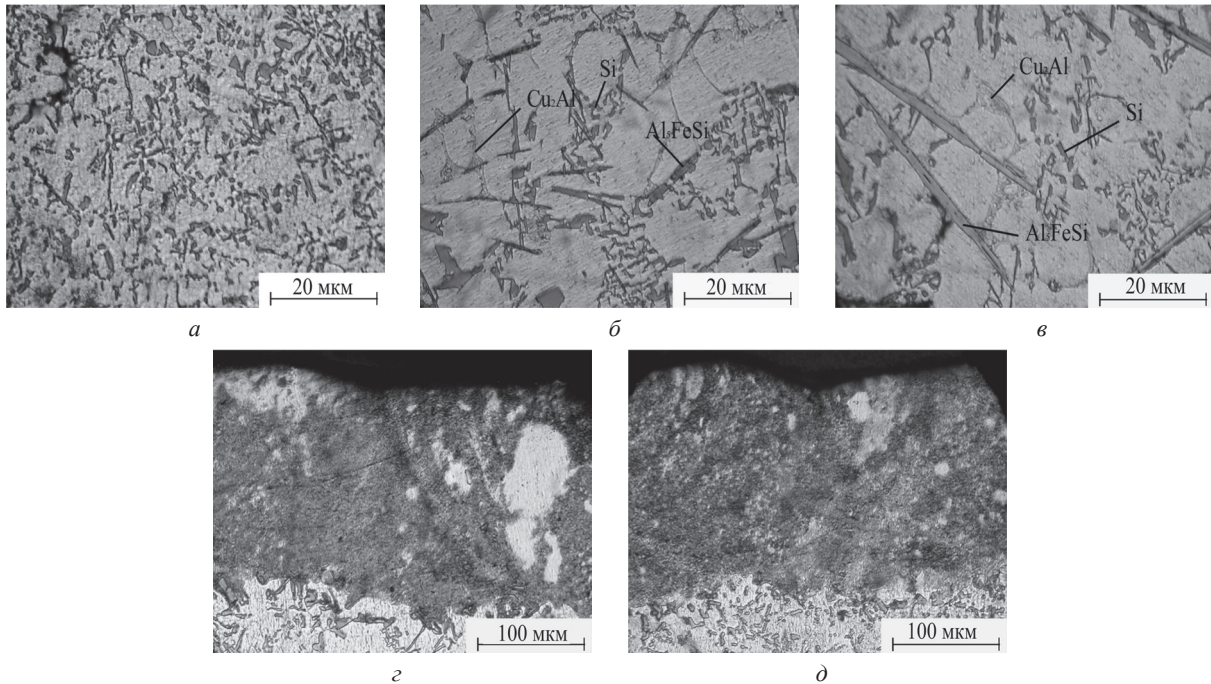


Рис. 1. Микроструктура сплавов: *a* – в исходном состоянии с 0,4% Fe; *б* – в исходном состоянии с 1,11% Fe; *в* – в исходном состоянии с 1,45% Fe; *г* – после однократной ЛО с 0,4% Fe; *д* – после двукратной ЛО с 0,4% Fe

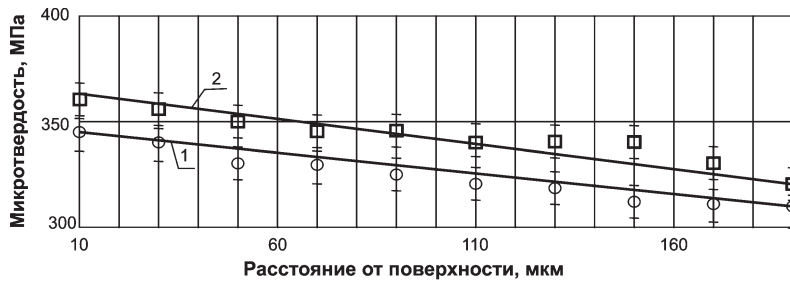


Рис. 2. Значения твердости по глубине зоны лазерного воздействия сплава с 0,40% Fe: 1 – после однократной ЛО; 2 – после двукратной ЛО

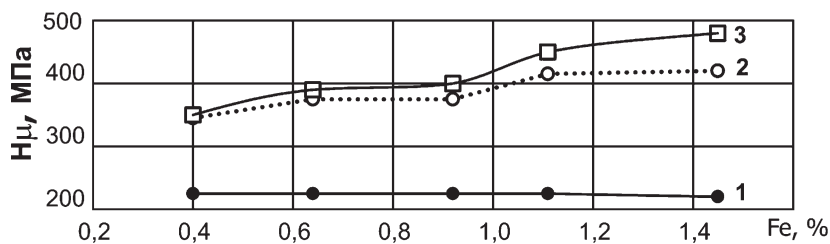


Рис. 3. Зависимость средней микротвердости матрицы и зоны лазерного воздействия (глубина 10 мкм) от содержания железа в сплаве: 1 – исходное состояние; 2 – однократная ЛО; 3 – двукратная ЛО

лом обработка лазером позволила увеличить износостойкость сплава АК8МЗ в среднем на 35%.

Эксперименты по определению кавитационной стойкости проводили на установке ударно-струйного типа, разработанной в Запорожском национальном техническом университете и предназначенной для ускоренных кавитационно-коррозионных испытаний в жидких средах. Средой для испытаний был выбран водный раствор 3% NaCl + 0,1% H₂O₂, имитирующий морскую воду. Показателем кавитационной стойкости служила потеря массы образцов за время испытаний. Как видно из рис. 5, с увеличе-

нием содержания железа потери массы образцов без ЛО увеличивались. Это объясняется тем, что при контакте пузырьков жидкости с образцом поверхность испытывает динамические нагрузки, при этом хрупкие железосодержащие фазы выкрашиваются, создавая дополнительные полости и трещины, и в целом служат источниками разрушения образца. Мелкодисперсная легированная структура поверхности, получаемая при обработке лазером, позволила повысить кавитационную стойкость, при этом четко просматривалась оптимальная концентрация железа в сплаве, равная примерно 1%. При

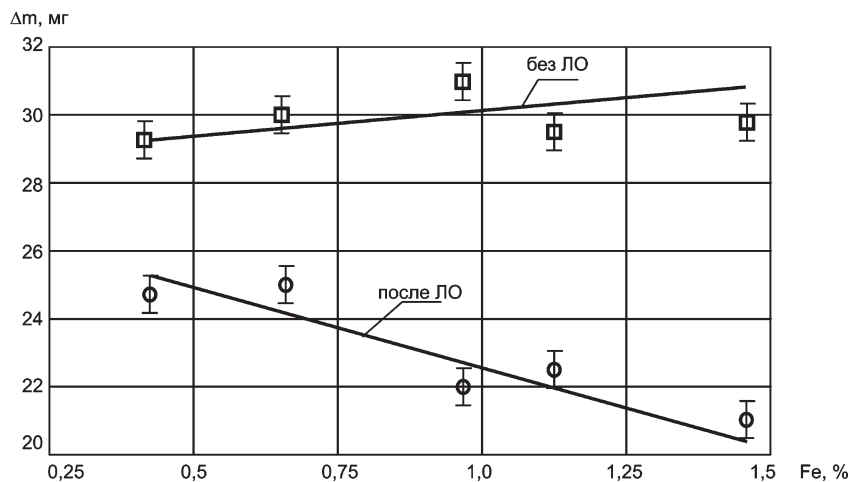


Рис. 4. Потери массы образцов в условиях абразивного изнашивания

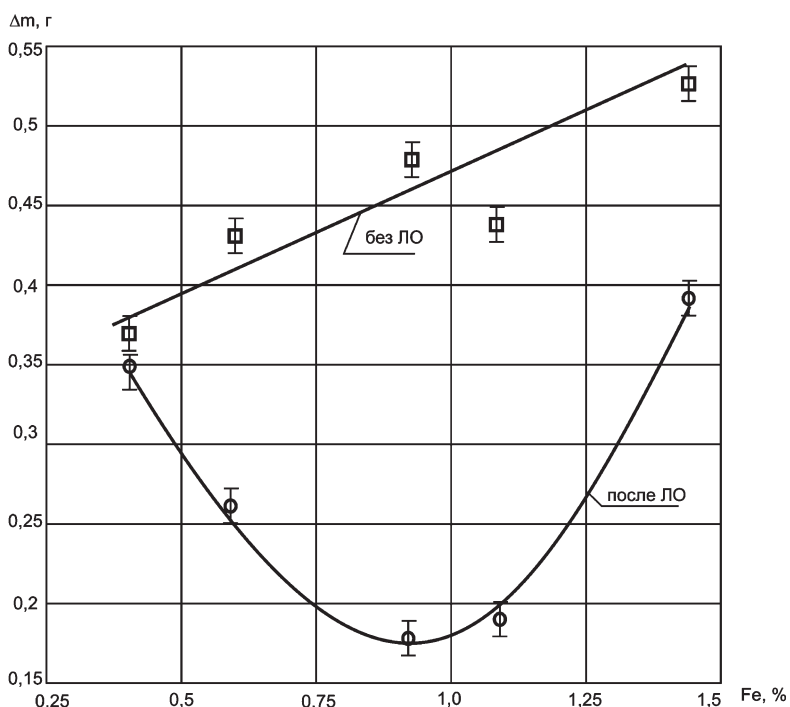


Рис. 5. Потери массы образцов при испытаниях на кавитационную стойкость

более высоком содержании железа потери массы образцов возрастали. Основной причиной снижения кавитационной стойкости при содержании железа свыше 1% явилось существенное охрупчивание упрочненного лазерной обработкой слоя.

Установленный факт положительного влияния железа на износостойкость и кавитационную стойкость расширяет возможности использования вторичных алюминиевых сплавов, в которых железо относится к вредным примесям.

Литература

1. Легирование алюминиевых сплавов с использованием лазерного излучения / С. А. Астапчик, В. С. Голубев, А. Г. Маклаков, И. С. Чеботько // Вестн АН БССР. Сер. физ.-тех. наук. 1991. № 1. С. 12–18.
2. Г и р ж о н В. В., Т а н ц ю р а И. В. Формирование структуры поверхностных слоев алюминиевых сплавов после импульсной лазерной обработки // Металлофизика и новейшие технологии. 2005. Т. 27. № 11. С. 1519–1528.
3. Упрочнение алюминиевого сплава АЛ4 излучением CO₂-лазера / В. Д. Кальнер, В. И. Волгин, В. М. Андрияхин, В. К. Седунов // Поверхность. Физика, химия, механика. 1982. № 12. С. 131–134.
4. Структура и свойства литейного алюминиевого сплава МВТУ-6 после лазерной обработки / В. И. Силаева, Н. А. Смирнова, Т. В. Соловьева // Металловедение и термическая обработка металлов. 2008. № 2. С. 38–40.