

---

## ПОЛУЧЕНИЕ И ОБРАБОТКА РАСПЛАВОВ

УДК 669.721.5:537.525.1:539.216

**А. В. Наривский**, д-р техн. наук, директор

**Ю. В. Моисеев**, д-р техн. наук, ведущ. науч. сотр.

**В. А. Туник**, ведущ. инженер

**В. А. Твердохвалов**, науч. сотр., e-mail: [tverdohvalov@gmail.com](mailto:tverdohvalov@gmail.com)

**И. Г. Раздобарин**, инж. - техн. 1 кат.

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

### ПРИГОТОВЛЕНИЕ МАГНИЕВОГО СПЛАВА МЛ5 ИЗ ЛОМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА ПЛАЗМЕННОЙ СТРУЕЙ

*Приведены технология приготовления из низкосортной шихты магниевого сплава МЛ5 и результаты исследования влияния глубинной плазменной обработки на структуру отливки.*

**Ключевые слова:** сплав МЛ5, структура, модифицирование, температура, расплав, обработка плазмой, свойства.

Магниевые сплавы являются перспективным конструкционным материалом с высокой удельной прочностью. Так, усталостная вибрационная прочность магниевых сплавов превышает в 100 раз ее показатели для деформируемых алюминиевых сплавов и в 2 раза – для легированной стали [1]. Наряду с этим, получение изделий из них связано с технологическими трудностями приготовления сплавов и особенностями их затвердевания, которые негативно влияют на механические свойства литого металла.

Промышленные литейные магниевые сплавы созданы на базе системы Mg–Al–Zn. Наиболее технологичным и распространённым среди них является сплав МЛ5 [2]. Химический состав и режимы термической обработки этого сплава, обеспечивающие высокие прочность и пластичность литых изделий, определены экспериментально (рис. 1). Основным элементом, упрочняющим сплав МЛ5, является алюминий. При его содержании в расплаве 6–8 % мас. прочность  $\sigma_{\text{в}}$  сплава в литом состоянии составляет 140–150 МПа, а относительное удлинение  $\delta$  – 2,0–3,0 %. Увеличить прочность сплава до 230–240 МПа и пластичность до 5,0–6,0 % можно путем длительной термической обработки его по режиму Т4. Сплав МЛ5 имеет широкий (до 150 °С) температурный интервал кристаллизации и низкую теплопроводность. В результате этого при затвердевании в сплаве образуются микрорыхлоты и горячие трещины, снижающие эксплуатационные характеристики литых изделий. При изготовлении массивных отливок и повышенной концентрации водорода в расплаве прочность сплава в литом состоянии уменьшается на 20–25 %, относительное удлинение – примерно в два раза.



Рис. 1. Влияние элементов на механические свойства сплавов системы Mg–Al–Zn в литом состоянии [1]: а –  $\sigma_{0,1}$ ; б –  $\sigma_b$  кгс/мм<sup>2</sup>; в –  $\delta$ , %

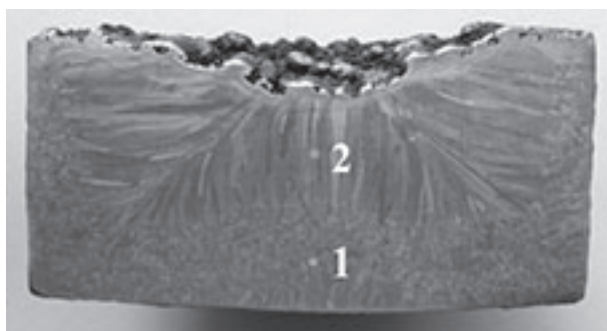
Структура сплава МЛ5 состоит из твердых растворов алюминия, цинка и марганца в магнии, эвтектики по границам зерен в виде  $\beta$ -фазы  $Mg_{17}Al_{12}$ . При этом включения  $\alpha$ -Mn в сплаве расположены внутри зерен и по их границам. В процессе нагрева под закалку частицы  $\beta$ -фазы в сплаве растворяются, а пересыщенный твердый раствор гомогенизируется. После закалки на воздухе в сплаве фиксируется однородная структура с чистыми границами зерен. Старение при температуре ниже 200 °С приводит к образованию в сплаве мелкодисперсной структуры типа «эвтектоидной» у границ зерен. При температурах выше 250 °С в сплаве непрерывно выделяется твердый раствор из частиц  $Mg_{17}Al_{12}$  в виде сетки аналогично трооститу в сталях [3]. Присутствие в сплаве сетки из  $\beta$ -фазы снижает предел прочности и относительное удлинение литого металла при повышении его предела текучести. Легирование цинком также позволяет повысить предел текучести сплава, не снижая при этом пластичность металла. Повышение прочности и пластичности литых изделий после термической обработки обусловлено дисперсным упрочнением сплава МЛ5 и устранением охрупчивающего влияния  $\beta$ -фазы, расположенной по границам зерен в нем.

На прочность и пластичность магниевых сплавов существенно влияет величина зерна в их структуре. Анизотропия кристаллической решетки магния способствует при затвердевании сплава развитию, транскристаллизации и образованию столбчатой грубой структуры в отливках (рис. 2).

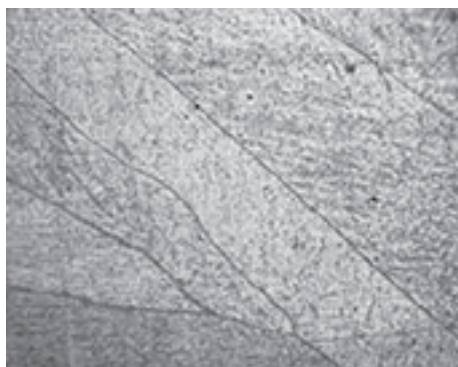
Негативное влияние крупнозернистой структуры на свойства магниевых сплавов можно устранить легированием металла алюминием, цирконием и РЗМ, а также модифицированием структуры в них разными металлургическими способами. Универсальных технологий модифицирования магниевых сплавов нет. Эффективными процессами диспергирования структуры в сплавах системы Mg–Al–Zn являются перегрев жидкого металла до температуры 850–925 °С, а также обработка расплава углеродсодержащими веществами. Модифицирование структуры путем перегрева жидкого металла происходит только при плавке сплава МЛ5 в чугунных или стальных тиглях. При плавке металла в печах с магнезитовой футеровкой структура сплава не измельчается [3]. Принято считать, что активным модификатором магниевых сплавов является карбид алюминия  $Al_4C_3$ , хотя многие исследователи отдают предпочтение железосодержащим интерметаллидным соединениям [4]. Обе точки зрения на процесс модифицирования сплавов аргументированы и обоснованы, однако прямых доказательств их достоверности нет.

Учитывая важную роль температурного фактора в обеспечении модифицирующего эффекта сплавов при их перегреве, провели исследование процесса глубинной обработки магниевого расплава плазменной струей аргона.

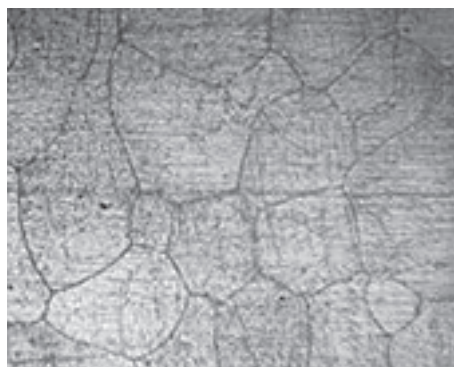
Приготовление базового сплава МЛ5 проводили в стальных тиглях емкостью 30 кг. Металл плавил в индукционной установке ИСТ-016 или в печи электросопротивления. В качестве шихты использовали лом магниевое сплава МЛ5. Химический



а



б



в

Рис. 2. Макроструктура магниевого слитка: а – общий вид; б – в зоне 1; в – в зоне 2,  $\times 100$

состав металла двух плавок из указанной шихты соответствует требованиям ДСТУ на этот сплав (таблица).

Переплав лома из магниевых сплавов проводили под слоем жидкого флюса, вводя под его уровень твердую шихту. Приготовление металла с заданным химическим составом осуществили в соответствии с рекомендациями стандартной технологии плавки и разливки литейных магниевых сплавов [2].

### Химический состав магниевых сплавов, приготовленных из лома

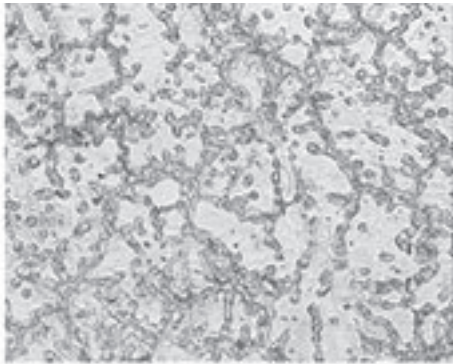
Номер плавки	Массовая доля элементов в сплаве, %				
	Mg	Al	Mn	Zn	Fe
1	90,8	8,24	0,25	0,59	0,12
2	91,3	7,86	0,22	0,51	0,11

Сплав обрабатывали погруженным в расплав плазмотроном (рис. 3). Вначале погружаемую часть его корпуса нагревали на воздухе до температуры около  $650\text{ }^{\circ}\text{C}$  плазменной струей. После этого включенный плазмотрон погружали в жидкий металл на глубину  $\sim 100$  мм. Сплав продували плазменной струей в течение 3–6 мин, при расходе аргона  $\sim 7,5$  л/мин, избыточном его давлении 1,2 атм, электрической мощности плазмотрона  $\sim 15$  кВт. За 3 мин обработки металла при таких режимах плазмотрона температура сплава массой  $\sim 20$  кг повышалась от  $720$  до  $800\text{--}820\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Перегретый сплав охлаждали до  $730\text{--}740\text{ }^{\circ}\text{C}$  и заливали его при этой температуре в песчаные и металлические формы, в которых получали образцы диаметром 16 и длиной 150 мм.

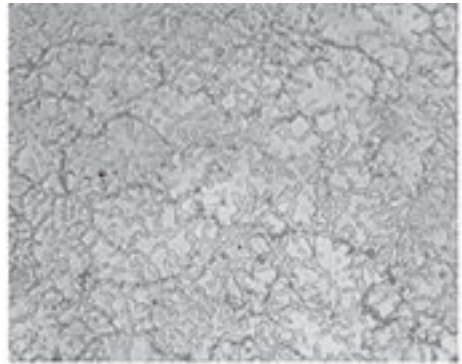
Микроструктура отливок, полученных из исходного (а) и обработанного плазмой (б) сплава МЛ5, в песчаной или металлической формах представлена на рис. 4. Видно, что после глубинной обработки расплава плазменной струей диспергируются структурные составляющие сплава. Величина зерна в образцах, отлитых в песчаную форму, уменьшается в 2–2,5 раза, в кокильных отливках – в 5–6 раз. Измельчение структуры в сплавах способствует увеличению прочностных и пластических ха-



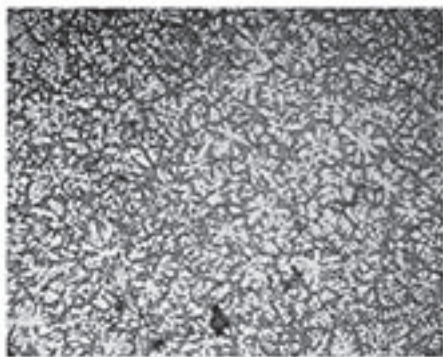
Рис. 3. Общий вид плазматрона



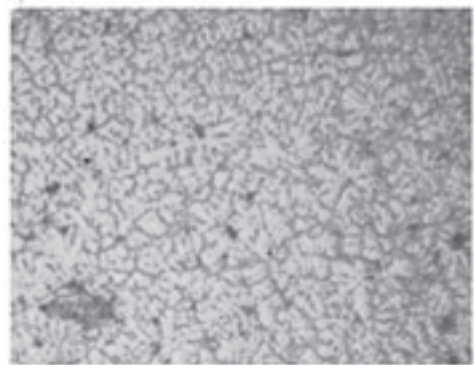
*a*



*б*



*в*



*г*

Рис. 4. Микроструктура отливок, полученных в песчаной (*a, б*) или металлической (*в, г*) формах из исходного (*a, в*) и обработанного плазмой (*б, г*) сплава МЛ5 ( $\times 200$ )

рактических литого металла. Следует отметить, что применение плазмы вместе с рациональными режимами термообработки сплавов позволят получать из лома литой металл, эксплуатационные характеристики которого превысят их уровень в отливках, изготовленных из первичных шихтовых материалов.

### Список литературы

1. Материалы в машиностроении. Том 1. Цветные металлы и сплавы. – Машиностроение. – 1967. – 304 с.
2. Магниеые сплавы. Справочник. Часть II. – М.: Metallurgy, 1978. – 232 с.
3. Эмли Е. Ф. Основы технологии производства и обработки магниевых сплавов. – М.: Metallurgy, 1992. – 488 с.
4. Чухров М. В. Модифицирование магниевых сплавов. – М.: Metallurgy, 1972. – 176 с.

Поступила 04.10.2018

### References

1. Materials in mechanical engineering. Volume 1. Non-ferrous metals and alloys. Mechanical Engineering (1967), 304 p. [in Russian].
2. Magnesium alloys. Directory. Part II. M.: Metallurgy (1978), 232 p. [in Russian].
3. Emly, E. F. (1992) Fundamentals of production technology and processing of magnesium alloys. M.: Metallurgy, 488 p. [in Russian].
4. Chuhrov, M.V. (1972) Modification of magnesium alloys. M.: Metallurgy, 176 p. [in Russian].

Received 04.10.2018

**А. В. Нарівський**, д-р техн. наук, директор

**Ю. В. Моїсеєв**, д-р техн. наук, пров. наук. співр.

**В. О. Туник**, пров. інженер

**В.О. Твердохвалов**, наук. співр., e-mail: tverdohvalov@gmail.com

**І. Г. Раздобарін**, інж.-техн. 1 кат.

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

### ПРИГОТУВАННЯ МАГНІЄВОГО СПЛАВУ МЛ5 З ЛОМУ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБРОБКИ РОЗПЛАВУ ПЛАЗМОВИМ СТРУМЕНЕМ

*Наведено технологію приготування з низькосортної шихти магнієвого сплаву МЛ5 і результати дослідження впливу глибинної плазмової обробки на структуру виливків.*

**Ключові слова:** сплав МЛ5, структура, модифікування, температура, розплав, обробка плазмою, властивості.

**A.V. Narivskii**, Doctor of Engineering Sciences, Director

**Yu.V. Moiseev**, Doctor of Engineering Sciences, Leading Researcher

**V.O. Tunik**, Leading Engineer

**V.O. Tverdohvalov**, Researcher, e-mail: tverdohvalov@gmail.com

**I.G. Razdobarin**, Process Engineer 1 cat.

Physico-technological institute of metals and alloys NAS of Ukraine, Kyiv

### PREPARATION OF MAGNESIUM ALLOY ML5 FROM SCRAP USING MELT TREATMENT WITH A PLASMA JET

*The technology of preparation magnesium alloy ML5 from low-grade scrap and the results of investigation for the effect of deep plasma treatment on the structure of castings are given.*

**Keywords:** ML5 alloy, structure, modification, temperature, melt, plasma treatment, properties.