

УДК 620.1

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МИКРОЛЕГРОВАНИЯ ИТТРИЕМ И НЕОДИМОМ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАГНИЕВОГО СПЛАВА ZM21

Молотова Ксения Евгеньевна

*Студентка 5 курса,  
кафедра «Материаловедение»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Тарасенко Л.В.,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»*

### Введение

Интерес к магнию и сплавам на его основе в качестве конструкционных материалов в последнее десятилетие значительно увеличился, что обусловлено, прежде всего, их главными традиционными достоинствами: низкой плотностью - 1,5-1,85 г/см<sup>3</sup> (т.е. самый легкий металлический конструкционный материал), что в 1,5-2 раза меньше плотности алюминиевых сплавов; достаточно высокими физико-механическими и служебными характеристиками в сочетании с хорошими технологическими свойствами, особенно при литье под давлением и механической обработке; распространенностью в природе и доступностью для металлургической переработки магниевого сырья как в виде минералов (в том числе отвалы, отходы производства некоторых материалов, например, асбеста), так и в виде морской воды, рассолов (рапы) солевых озер и др.; возможностью практически полной рециклированности (утилизации) всех отходов различных технологических производств и отработавших свой срок (использованных) конструкций и изделий.

Основной движущей силой возросшего интереса в мире к магниевым сплавам в 90-е годы прошлого века явилась потребность гражданских отраслей промышленности в легких и сверхлегких, экологически чистых и технологичных металлических конструкционных материалах. Прежде всего, это потребность автомобильной промышленности в существенном снижении веса так называемых «семейных» автомобилей массового производства для обеспечения экологических требований безопасности окружающей среды и экономии топлива, что было узаконено государственными решениями и совместными соглашениями на уровне правительств и ведущих автомобильных фирм наиболее экономически развитых стран Северной Америки (США, Канады) и Западной Европы (Германии, Великобритании, Франции и др.). В частности, реализуются известные программы научно-технологических исследований USCAR (США, Канада) и EUCAR (Западная Европа).

Основное снижение веса конструкций, в том числе и автомобиля, достигается за счет использования вместо сталей и чугуна более легких конструкционных металлических материалов на основе алюминиевых и магниевых сплавов. Снижение веса автомобиля на 10 % приводит к уменьшению расхода топлива на 5-6 %, тем самым заметно повышается его экологическая безопасность за счет сокращения выбросов в атмосферу продуктов сгорания топлива, прежде всего, угарного и углекислого газов (СО и СО<sub>2</sub>).

Рост потребности в изделиях из магниевых сплавов для автомобильной промышленности в 1990-2000 гг. составлял около 15 % в год, в основном отливок, полученных литьем под высоким давлением. В 1999-2001 гг. ежегодное потребление отливок под давлением из магниевых сплавов составляло около 130-150 тыс.т/год.

Главной причиной, сдерживающей длительное время более широкое применение магниевых сплавов в автомобильной промышленности, является их высокая и не всегда стабильная цена по сравнению с традиционными автомобильными конструкционными материалами как сталь, чугун, алюминиевые сплавы и пластмассы. Цена на первичный магний в 1990-2000 гг. менялась в пределах 2200-4200 дол./т, что в 4-5 раз выше цены малоуглеродистой стали и в 1,5-3 раза - первичного алюминия. В конце 90-х годов и в 2000-2001 гг. в связи с появлением на рынке китайского магния цена на него временами понижалась до 1300-1600 дол./т.

Другими причинами ограниченного применения магниевых сплавов как конструкционного материала являются относительные незнания потенциальными потребителями их служебных и технологических свойств и сравнительно небольшой ежегодный объем производства первичного магния и, как следствие, магниевых сплавов. Так, в мире стали всех сортов и видов в год производится приблизительно в 1500 раз, а алюминия в 50 раз больше, чем магния.

С учетом того, что в мире производится около 60 млн. легковых автомобилей и легких грузовиков (внедорожников) в год, автомобильная отрасль промышленности является основным приоритетом для расширения использования конструкционных магниевых сплавов. Применение магниевых сплавов в автомобиле по различным оценкам должно возрасти с 3-5 кг (в среднем на автомобиль в настоящее время) до 100 кг и более к 2020 г.

Магниевые сплавы являются единственным из металлических материалов конкурентом конструкционных пластмасс по весовым характеристикам и сверх того имеют перед ними ряд существенных преимуществ:

- высокая прочность и жесткость, в том числе сопротивление длительным знакопеременным нагрузкам (усталости);
- отсутствие эффекта «старения», т.е. разупрочнения и охрупчивания со временем;
- способность работать при низких, в том числе криогенных, и высоких температурах;
- стабильность размеров во время длительного хранения и использования изделий;
- хорошее тепловое, электромагнитное и противошумное экранирование, способность поглощать энергию удара и уменьшать вибрацию, высокие демпфирующие свойства;
- возможность изготовления из них деформированных полуфабрикатов с повышенными механическими и служебными свойствами;
- практически 100 %-ное рециклирование.

### **Современное состояние и применение магниевых сплавов**

Основные области применения магния и его сплавов делятся на три группы.

1. Основные области применения магниевых сплавов как конструкционных материалов:

- авиакосмическая промышленность;
- электронная аппаратура;
- ядерная энергетика;
- наземный транспорт;
- станко- и приборостроение;
- текстильная и легкая промышленность.

2. Области применения магниевых сплавов, как материалов со специальными физическими свойствами:

- радиотехническая промышленность;

- электротехническая промышленность;
- 3. Области применения магния и его сплавов для неконструкционных целей:
  - легирование других металлов, в основном, алюминия;
  - получение новых сплавов;
  - модифицирование чугуна;
  - десульфация стали;
  - пиротехника.

### **Редкоземельные металлы**

Магниевые сплавы, легированные редкоземельными металлами (рзм), известны и используются в качестве легких конструкционных материалов в течение многих лет. Легирование магния такими металлами позволяет получить сплавы, отличающиеся более высокими прочностными характеристиками как при близких к комнатной, так и при повышенных температурах. В действительности, использование РЗМ в качестве легирующих добавок связано лишь с одним отрицательным моментом. Это достаточно высокая стоимость, ограничивающая их практическое применение. Эти 2 фактора определяют необходимость выбора определенных РЗМ для легирования магния с тем, чтобы обеспечить разумный баланс между высокой прочностью и стоимостью материалов, предназначенных для промышленного использования. С учетом этого требования при разработке промышленных магневых сплавов применяют для легирования лишь некоторые РЗМ. К ним относятся церий, неодим (цериевая подгруппа) и иттрий (иттриевая подгруппа). Их используют для легирования серийных деформируемых магневых сплавов МА12 (Mg-Zr-Nd), МА19 (Mg-Zn-Zr-Nd), МА20 (Mg-Zn-Zr-Ce).

Хотя сплавы магния, легированные некоторыми РЗМ, изучают в течение длительного времени, возможности их использования в качестве конструкционных материалов не реализуются в полной мере. Резонно полагать, что дальнейшие работы позволят создать новые промышленные сплавы этого типа с улучшенными характеристиками.

### **Цель работы**

В нашей стране практически не изучены деформируемые магниевые сплавы системы Mg-Zn-Mg (ZM21, ZM61), которые успешно применяются за рубежом, например, в автомобильной и электронной промышленности.

Экономно легированный сплав ZM21 предназначен для производства катаных полуфабрикатов. Однако уровень прочностных свойств этого сплава недостаточен ( $\sigma_b \sim 240-250$  МПа,  $\sigma_{0,2} \sim 165-175$  МПа). К преимуществам экономно легированного сплава ZM21 относится его экологическая безопасность и возможность дальнейшей оптимизации его состава за счет применения микролегирования перспективными редкоземельными металлами (РЗМ).

Целью настоящей работы является исследование возможности повышения прочностных свойств листовых полуфабрикатов сплава ZM21 за счет легирования малыми добавками РЗМ.

### **Экспериментальная часть**

Для проведения эксперимента были выполнены образцы из базового сплава ZM21 и двух экспериментальных сплавов ZM21+Y, ZM21+Nd. Приготовление сплавов намеченного состава и их последующая деформация проведены в опытно-промышленных условиях ФГУП «ВИАМ».

Температура нагрева заготовок перед прокаткой выбрана в интервала 420±10°С с учетом особенностей химсостава сплавов.

Исходя из литературных данных, технологическая пластичность сплава ZM21 может рассматриваться как вполне удовлетворительная. Поэтому суммарная степень деформации за один нагрев и два прохода в валках была установлена в пределах 15-20%.

Оценка влияния дополнительного легирования РЗМ проведена по результатам сравнительного исследования микроструктуры и изменения уровня механических свойств листов (2 мм) всех трех сплавов.

Микроструктура изучена на металлографическом микроскопе Неофот-21. Механические свойства сплавов определены при одноосном растяжении (комнатная температура) по ГОСТ 1497-84, 11150-84 на приборе Instron.

Механические свойства экспериментальных сплавов получены при испытании на растяжение плоских образцов, вырезанных в двух направлениях из листов толщиной 2,0 мм.

Обсуждаемые сплавы относятся низколегируемым, термоупрочняемыми они быть не могут.

### Результаты эксперимента

Сравнительные исследования микроструктуры листов толщиной 1,9-2 мм показали, что более заметный модифицирующий эффект оказывает введение иттрия. Средний размер зерна листов сплава ZM21 + Y составляет:  $d_{\text{зерна}} \sim 8-9$  мкм. Неодим в меньшей степени способствует измельчению зерна листов ( $d_{\text{зерна}} \sim 10$  мкм). Для сравнения:  $d_{\text{зерна}} \sim 11-13$  мкм для сплава ZM21 (рис. 1).

Наряду с этим, итрий в таких малых количествах практически полностью растворяется в  $\alpha$  – твердом растворе, дополнительно упрочняя его. Установлено также присутствие следов высокодисперсных упрочняющих интерметаллидов  $Mg_{24}Y_5$

Особенности структуры и фазового состава сплавов оказывают влияние на уровень механических свойств листов сплава с добавкой иттрия: значения предела прочности на 5-10%, а предела текучести - на 18-20% выше, чем у базового сплава ZM21. При этом значения относительного удлинения ( $\delta = 18-21\%$ ) для сплава с иттрием также несколько превосходят значения этой характеристики для сплава ZM21 ( $\delta = 13-14\%$ ); ZM21 + Nd ( $\delta=15-17\%$ ).

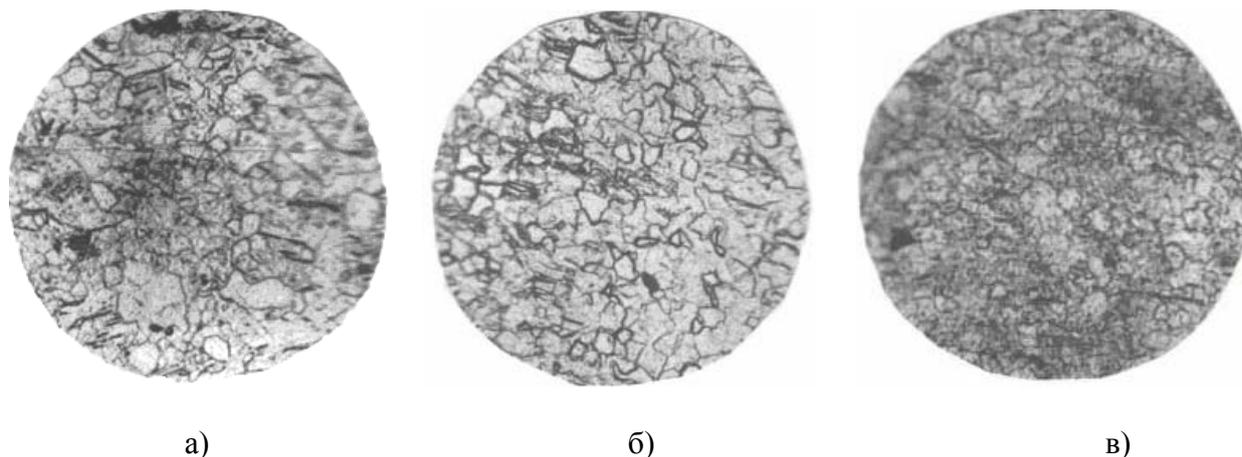


Рис. 1. Микроструктура листов толщиной 2,0 мм экспериментальных сплавов:  
а) сплав типа ZM21; б) ZM21 в) ZM21 + Y.

В таблице 1 представлены механические свойства листов толщиной 2,0 мм из изучаемых сплавов. При анализе полученных результатов обращает на себя внимание тот факт, что в ряде экспериментальных сплавов имеет место как бы «обратная» анизотропия свойств, состоящая в том, что прочностные характеристики в поперечном

направлении на 10-15% выше, чем в поперечном направлении по отношению к прокатке.

Другой особенностью изучаемых сплавов является то, что значения предела текучести составляет 70-80% от значений предела прочности при растяжении листов состава ZM21 при дополнительном легировании в небольших количествах неодимом и иттрием.

Таблица 1. Мех. свойства листов толщиной 2,0 мм

сплав	вдоль прокатки			поперек прокатки		
	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$
ZM21	250	170	13	260	200	13
ZM21 + Nd	260	160	18,5	255	140	20
ZM21 + Y	270	200	19	260	160	16

### Выводы

1. Исследовано влияние микролегирования иттрия и неодима на структуру и свойства сплава экономно легированного и недорогого сплава ZM21 (Mg-2%Zn-1% Mn).
2. Установлено, что иттрий оказывает наиболее заметное модифицирующее воздействие на сплав ZM21, способствуя измельчению структуры листов на 25-30%: с  $d_{\text{зерна}} \sim 11-13$  мкм (для сплава ZM21) до  $d_{\text{зерна}} \sim 8-9$  мкм.
3. Дополнительное упрочнение сплава, содержащего иттрий, связано с упрочнением основного  $\alpha$  – твердого раствора.
4. Доказано, что модифицирующий эффект иттрия и, в меньшей степени неодима, особенности структурно-фазового состояния вызывают повышение уровня предела прочности катаных листов этих сплавов на 5-10%, а по пределу текучести – на 18-20% при одновременном повышении величины относительного удлинения по сравнению с базовым сплавом ZM21.

### Литература

1. *Альтман М. Б., Дриц М. Е., Тимонова М. А., Чухров М. В.* Т. 1. Магниевые сплавы. М., «Металлургия», 1978. 8 – 11 с., 110 – 123 с.
2. *Стрелец Х. Л., Тайц А. Ю., Гуляницкий Б. С.* Металлургия магния. — М., «Металлургия», 1970. 469 с.
3. *Лебедев А. А., Чухров М. В.* Материалы в машиностроении. Т. 1. «Цветные металлы и сплавы». М., «Машиностроение», 1967. 304 с.
4. Конструкционные материалы, т. 2, М., 1964 (Энциклопедия современной техники)
5. *Рейнор Г. В.*, Металловедение магния и его сплавов, перевод с английского, [М.], 1964
6. *Волкова Е.Ф.*, Современные деформируемые сплавы и композиционные материалы на основе магния (обзор), «МИТОМ», №11 (617), 2006г.
7. *Рохлин Л.Л.* «Структура и свойства сплавов системы Mg-РЗМ», «МИТОМ», №11 (617), 2006г.