

УДК 669.1(091)

Магниевые сплавы в СССР. 1945-1990 годы

Бондарев Андрей Борисович – кандидат технических наук, доцент, член-корр. Академии Медико-Технических наук, историк металлургии, писатель.

Аннотация: История разработки новых магниевых сплавов в СССР, перечислены основные исследователи, изобретатели магниевых сплавов и технологи, разрабатывавшие технологии производства магниевых сплавов.

Ключевые слова: Магниевые сплав, Дриц, Бондарев, Рохлин, Савицкий, Гурьев, Сви́дерская, Афанасьев, Бляблин.

В послевоенные годы (после 1945 года) под влиянием технического прогресса потребность в новых магниевых сплавах постоянно увеличивалась. Бурное развитие машиностроения, тенденция к снижению материалоемкости производимой продукции как одного из важных технико-экономических показателей их эксплуатации, потребовали создания и использования во многих областях новых магниевых сплавов. Широко распространенные алюминиевые сплавы уже не могли полностью обеспечить запросов машиностроения. С этой целью развернулись работы по изучению диаграмм состояния сплавов магния с различными элементами, изысканию высокопрочных и жаропрочных композиций, изучению возможности повышения свойств сплавов за счет термической и термомеханической обработки, а также путем выбора соответствующих режимов обработки давлением при изготовлении полуфабрикатов.

В научно-исследовательских институтах Академии наук СССР, ведущих отраслевых институтах Министерства авиационной промышленности СССР, на Заводе легких сплавов были развернуты энергичные исследования по поиску новых составов магниевых сплавов, исследованию их физико-механических и эксплуатационных свойств.

В Институте общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова АН СССР Е. М. Савицким, В. И. Михеевой и другими сотрудниками, а затем в Институте металлургии им. А. А. Байкова АН СССР в лаборатории, руководимой М. Е. Дрицом, в 50-х годах проводились работы по изучению фазовых взаимодействий в сплавах магния с различными элементами, построению диаграмм состояния различных систем. В этих работах принимали участие З. А. Свицерская, Л. Л. Рохлин, Е. М. Падежнова и др.

В ВИАМе в те же годы проводились широкие исследования по совершенствованию ранее разработанных магниевых сплавов (МА1, МА8, МА2, МА3, МА5) и разрабатывались новые сплавы применительно к новым возрастающим требованиям конструкторов для изделий различного назначения под руководством Я.Е. Афанасьева [1].

Сплавы системы Mg-Mn и Mg-Mn-Сe были исследованы в работах И. М. Михеевой, В. В. Долгова, Е. И. Смирновой, А. Д. Красновой и др. Эти работы проводились совместно с Зааводом легких сплавов, что позволило наладить серийный выпуск различных полуфабрикатов из сплавов МА1 и МА8[2]. Были решены вопросы введения и распределения в сплавах марганца и церия, определен характер дефектов, связанных с ликвационными явлениями, изучены и устранены дефекты в листах (скопления интерметаллидов), прессованных полуфабрикатах («поверхностная рябизна») и т. п.

На Заводе легких сплавов исследовании проводились М. С. Озерским, Н. П. Дроновой, В. В. Соловьевой, Ю. А. Воробьевым, Н. И. Васильевой, А. М. Ландо и др.[3].

Изучением сплавов системы Mg-Mn-Сe с различным соотношением марганца и церия занимались сотрудники ВИАМа И. М. Михеев, Т. В. Лебедева, В. А. Румянцев. На основе этих работ был разработан жаропрочный сплав ВМ.

В ВИАМе Т. В. Лебедевой, в Институте металлургии им. А. А. Байкова АН СССР М. Е. Дрицом с сотрудниками исследовались сплавы системы Mg-Mn-Al-Ca [4]. Эти работы позволили разработать сплав МА9, обладающий хорошим сочетанием прочностных свойств при комнатной температуре и температурах 200-250° С, а также хорошей обрабатываемостью резанием, но низкими характеристиками свариваемости. В эти же годы В. П. Козловской, З. Н. Ковалевой, А. В. Емельяновой [5] велись работы по изучению сплавов системы Mg-Zn-Zr и внедрению их в промышленность. На этой основе был разработан сплав ВМб5-1, предназначенный для изготовления прессованных,

кованных и штампованных полуфабрикатов, обладающий более высокими механическими свойствами, лучшей технологичностью, чем высокопрочные сплавы системы Mg-Al-Zn-Mn. Кроме того, он не был склонен к коррозионному растрескиванию под напряжением. Перечисленное сочетание свойств обеспечило сплаву ВМ65-1 широкое применение в различных отраслях промышленности. В работах по освоению сплава и деформации полуфабрикатов принимали участие специалисты Завода легких сплавов (№ 65) М. С. Озерский, М. М. Шураков, Н. П. Дронова, В. В. Соловьева, А. А. Петрова, В. Я. Вайсблит, А. А. Саватюгии, М. Г. Кашеев и др.[3].

В 50-е годы в ВИАМе на основе обобщения результатов исследования, промышленного производства и применения сплавов системы Mg-Al-Zn-Mn были проведены подробные исследования механических, технологических, коррозионных свойств, свариваемости и т. д. сплавов этой системы. В этих работах использовались результаты исследований В. И. Михеевой [6], Е. М. Савицкого и С.И. Губкина [7] и другие.

В результате Я. Е. Афанасьевым и А. А. Бляблиным был разработан сплав МА2-1[8]. Комплексное исследование свойств сплава МА2-1, в том числе технологических, обеспечило успешное внедрение этого сплава в промышленность. Сплав МА2-1 вместе со сплавом ВМ65-1 стал основным, широко применяемым деформируемым магниевым сплавом. Особенно велик объем выпуска из сплава МА2-1 катаных плит и листов, применяемых в сварных конструкциях изделия различного назначения.

В работах по исследованию и внедрению сплава МА2-1 на Заводе легких сплавов приняли участие В. П. Терехина, С. С. Любимова, М. В. Чухров, В. Ф. Калугин, И. И. Гурьев, Ю. А. Воробьев, Б. И. Бондарев [3].

1960-е годы ознаменовались значительным ускорением в развитии металловедения, металлургии и использования магниевых деформируемых сплавов.

Этому способствовало несколько причин. Во-первых, развитие машиностроения, остро нуждающегося в легких конструкционных материалах, в условиях необходимости снижения веса изделий, работающих при нормальной и повышенной температурах. Потребовалось производить полуфабрикаты с повышенными пределом текучести при сжатии, ударной вязкостью, высокими усталостными характеристиками и т. д. Во-вторых, значительно расширились возможности применения редкоземельных элементов церия, лантана, неодима для легирования магниевых сплавов в связи с

успехами по их добыче, что позволило разработать сплавы с высокими прочностными свойствами при нормальной и повышенной температурах. В-третьих, организация Всесоюзного института легких сплавов позволила интенсифицировать работы по освоению технологии производства различных полуфабрикатов из новых сплавов и изучению их свойств.

Кроме того, требования к институтам по внедрению новых сплавов и технологических разработок привели к объединению усилий ВИАМа, ВЛС и Института металлургии им. А. А. Байкова АН СССР (ИМЕТ) в деле обеспечения различных отраслей машиностроения полуфабрикатами из новых сплавов. В ИМЕТе в 60-х годах в лаборатории под руководством М.И. Дрица проводятся работы по изучению фазовых взаимодействий и построению диаграмм состояния систем Mg-Ni, Mg-Sn, Mg-Nd, Vg-Pr, Mg-Ce, Mg-Al-Sn, Mg-La-Se, Mg-Mn-Ca, Mg-Mn-Nd, Mg-Mn-Ni, Mg-Mn-Sn, Mg-Mn-Ce, Mg-Nd-Al, Mg-Nd-Ni, Mg-Nd-Pr, Mg-Nd-Zn, Mg-Mn-Al-Ca, Mg-Nd-Mn-Ni, Mg-Mn-Al-Sn [9-22].

В ВИАМе на основе изучения влияния лантана и неодима на свойства двойных, тройных и более сложных сплавов магния разработаны высокопрочные сплавы МА15 (ВМд3), МА19 (ВМд6), жаропрочные МА и МА12 [23, 24].

Сплав МА15 системы Mg-Zn-Cd-La-Zr обладает более высокими пределами текучести при растяжении и сжатии, чем сплав МА2-1. Он нашел применение в сварных конструкциях. Преимущества этого сплава перед сплавом МА2-1 заключаются и в лучшем сопротивлении коррозии под напряжением. Сплав МА15 создан И. М. Михеевым, И. Г. Ковалевым, И. И. Гурьевым, В. В. Долговым, Б. В. Шпагиным, В. Л. Мишкиным [23

Совместными работами ВИАМа и ВЛС, в которых приняли участие, кроме авторов сплава, Б. И. Бондарев, Н. Н. Кулаков, Н. А. Кузина, Т. М. Бахтина, Ю. А. Воробьев, Е. Г. Никонов, Г. П. Романова и др., сплав МА15 был использован в космической технике.

Сплав МА19 системы Mg-Zn-Cd-Nd-Zr, созданный А. А. Бляблиным, М. А. Тимоновой, В. Л. Мишкиным, А. И. Кутайцевой, О. В. Емельяновой [24], обладает сочетанием высоких прочностных свойств при комнатной и повышенной до 150° С температурах и предназначен для производства прессованных и штампованных полуфабрикатов, кроме того, нашел применение для деталей и изделий, где по условиям эксплуатации требовался сплав более прочный при температуре до 150° С, чем сплав ВМ65-1 (МА14),

предназначенный для работы до 100° С.

Жаропрочный сплав МА11 системы Mg-Nd-Mn-Ni разработан в ВИАМе в 60-х годах И. Г. Ковалевым, Т. В. Лебедевой, З. Н. Ковалевой, О. В. Емельяновой [25]. Сплав МА11 имеет высокую длительную прочность и ползучесть до 250° С., применяется в виде поковок и штамповок, но в технологическом отношении сплав склонен к образованию трещин при непрерывном литье слитков, но неудовлетворительные технологические свойства в сочетании со значительными трудностями при прокатке листов, пониженной коррозионной стойкостью ограничили его применение. На замену сплаву МА11 в 1960-х годах был разработан сплав МА12 системы магний-неодим-цирконий [26], обладающий высокой технологической пластичностью, хорошими коррозионной стойкостью и свариваемостью. Сплав МА12, несколько уступая сплаву МА11 по жаропрочности, значительно превосходил последний по другим очень важным для надежного применения характеристикам. Поэтому сплав МА12 пришел на смену сплаву МА11. В разработке и внедрении сплава МА12 в промышленность принимали участие А. А. Казаков, Б.И. Бондарев, Т. В. Лебедева, З.Н. Ковалев, А. А. Бляблин, Т. С. Краснолобова, И. И. Гурьев, Н. Н. Кулаков, Н. А. Кузина и др.

В 1960-х годах в СССР были развернуты интенсивные работы по изучению, разработке и внедрению в промышленность ультралегких магниево-литиевых сплавов.

Начатые еще в 1930-е годы в Ленинграде выдающимся ученым и изобретателем Г.Ф. Комовским [27] и в Москве в Институте общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова АН СССР Ф. И. Шамраем и П. Я. Сальдау [28], продолженные в послевоенное время в ВИАМе - Я. Е. Афанасьевым с сотрудниками. Как правило, все эти работы проводились в лабораторных условиях, исследователи изучали характер взаимодействия элементов в системах сплавов магния с литием, диаграммы состояния двойных, тройных и более сложных систем. Результаты, полученные в проведенных исследованиях, помогли определить наиболее рациональные пути легирования магниево-литиевых сплавов, уяснить природу их упрочнения, установить закономерности изменения механических свойств в зависимости от легирования, термической обработки и других факторов. Однако только с образованием ВИАМа появилась возможность освоения магниево-литиевых сплавов в промышленных масштабах.

Исследования и разработка промышленных магниево-литиевых сплавов проводились в Институте металлургии им. А. А. Байкова АН СССР и ВИАМе совместно с ВИАМом, где были разработаны и освоены технологии производства этих чрезвычайно непростых в

технологическом отношении сплавов.

В 1960-70-х годах было предложено для опробования несколько композиций магниевых литиевых сплавов. Сравнительные исследования предложенных сплавов показали, что наилучшим сочетанием свойств обладают два сплава: МА18 (ВМД5) и МА21 (ИМВ2) [29, 30]. Конструкторские и технологические разработки, осуществленные в ВИЛСе, позволили наладить серийный выпуск слитков, пресованных, катаных и штампованных полуфабрикатов. Одновременно в были проведены исследования, позволяющие разработать надежные методы защиты изделий из магниевых литиевых сплавов [31].

Применение магниевых литиевых сплавов позволило эффективно снизить вес различных конструкций и приборов и улучшить их эксплуатационные характеристики: Плотность магниевых литиевых сплавов на 10-25 % ниже плотности промышленных магниевых сплавов, на 25-30 % бериллиевых и в 2 раза ниже алюминиевых сплавов. Конструкции из магниевых литиевых сплавов отличаются более высокой жесткостью по сравнению с конструкциями того же веса из других металлических материалов, включая сталь и титан. Магниевые литиевые сплавы характеризуются повышенной теплоемкостью (в 1,3 раза большей, чем у обычных магниевых сплавов) и хорошими криогенными свойствами. В отличие от многих других сплавов, магниевые литиевые сплавы не проявляют склонности к вязко-хрупкому разрушению при низких температурах. Они обладают повышенным сопротивлением к внедрению высокопрочных частиц. Эти качества определяют перспективность применения магниевых литиевых сплавов в авиации и космонавтике, где их характерные особенности могут быть использованы наиболее эффективно. Благодаря проведению указанных работ стало возможным в 70-х годах организовать выпуск полуфабрикатов из магниевых литиевых сплавов [31].

Развитие магниевых литиевых сплавов осуществлялось под руководством и при консультациях члена-корреспондента АН СССР В.И. Добаткина, докторов технических наук Б.И. Бондарева, М. Е. Дрица, М. Б. Альтмана, В. И. Елагина. Помимо разработки и внедрения высокопрочных и жаропрочных сплавов, ультралегких магниевых литиевых сплавов, в эти годы проводились исследования, целью которых являлось создание материалов технологичных, обладающих хорошей коррозионной стойкостью, свариваемостью, пригодных для применения в самых различных областях народного хозяйства. В 1971 году на основе сплава МА2-1 на основе идей, предложенных Бондаревым Б.И. и под его руководством, был разработан сплав повышенной чистоты МА2-1 пч [32]. Разработанный сплав благодаря хорошей коррозионной стойкости, технологичности, а также лучшему качеству полуфабрикатов в отношении количества включений интерметаллидов, что обеспечило высокую герметичность изделия, имел широкое применение в промышленности. Всеми работами по сплаву МА2-1 пч руководил

Б. И. Бондарев, приняли участие И. И. Гурьев, А. А. Бляблии, М. А. Тимонова, А. И. Кутайцева и др.

Помимо сплавов на основе системы магний-алюминий, оказались весьма перспективными для широкого применения сплавы на основе системы магний-цинк. Система магний-цинк явилась основой для создания высокотехнологичного сплава МА20 (ВМД8) [33], содержащего наряду с небольшим количеством цинка (1-2,5 масс. %) малые добавки церия и циркония, эффективно измельчающих зерно слитков и полуфабрикатов. Сплав МА20 - средний по прочности, обладает высокими характеристиками пластичности, прокатывается в листы методом рулонной прокатки. Сплав хорошо сваривается (отжиг сварных конструкций не требуется), обладает хорошей коррозионной стойкостью, не склонен к коррозионному растрескиванию под напряжением. Высокая пластичность сплава позволяет изготавливать из него детали сложной конфигурации. Детали несложной с формы возможно изготавливать листовой штамповкой при комнатной температуре. В работах по сплаву МА20 принимали участие И. М. Михеев, В. В. Долгов, Е. И. Смирнова, А. А. Бляблин, Ф. Л. Гуревич, И. И. Гурьев, Н. В. Миклина, Т. М. Бахтина, В. И. Бредихина, Ю. А. Воробьев и др. [34].

Разработанные и внедренные в 1960-70-е годы магниевые деформируемые сплавы позволили значительно повысить качество и эффективность изделий различного назначения. Для ряда областей новой техники магниевые сплавы представляют большой интерес в качестве материалов с особыми физическими свойствами. В радиотехнической промышленности магниевые сплавы нашли применение для звукопроводов ультразвуковых линий задержки, которые обеспечивают задержку электрических сигналов во времени в различных радиотехнических системах путем преобразования их в ультразвуковые волны.

В Институте металлургии им. А. А. Байкова АН СССР в 1960-70-х годах был выполнен большой комплекс научных исследований по установлению физической природы затухания ультразвука в магниевых сплавах и установлению закономерностей между составом, структурным состоянием и акустическими свойствами магниевых сплавов [35, 36]. Результаты исследований дали возможность определить принципы легирования сплавов для обеспечения высокой звукопроводности, оптимальную структуру и условия термической и механической обработки, обуславливающие минимальное затухание ультразвуковых колебаний на различных частотах. Эти исследования проводились Э. А. Свицерской, Л.Л. Рохлиным под руководством М. Е. Дрица. Институт металлургии им. А. А. Байкова АН СССР совместно с ВИЛСом в 1960-х годах был разработан деформируемый магниевый сплав марки МА17 с высокой звукопроводностью, который в настоящее время выпускается серийно в виде катаных плит. Сплав МА17 и технология получения плит были разработаны М. Е. Дрицом, Б.И. Бондаревым, Э. А. Свицерской, Л.

Л. Рохлиным, И. И. Гурьевым, В. В. Соловьевой, Н. П. Дроновой, П. Е. Ходаковым, Г. П. Романовой [37, 38].

В дальнейшем, в связи с более высокими требованиями к звукопроводам ультразвуковых линий задержки в 1975 г. был разработан Институтом металлургии им. А. А. Байкова АН СССР совместно с ВИЛСом новый сплав МДЗ-З, относящийся к системе магний церий-цирконий-иттрий [39]. Указанный сплав имеет лучшие акустические свойства, чем сплав МА17. В данной работе принимали участие М. Е. Дриц, Л. Л. Рохлин, Н. И. Гурьев, Н. В. Миклина, Т. М. Бахтина, Г. П. Романова, Л. И. Наседкии, Н. М. Наумов, Н. М. Зуева, Л. Я. Зарубинская, Н. П. Тарутин, Н. Н. Кулаков.

Использование сплавов МА17 и МДЗ-З в качестве материала для звукопроводов позволило заменить более дефицитные и неудобные в обращении материалы, такие, как ртуть, плавленный кварц и монокристаллы солей. Внедрение этих сплавов повысило надежность работы приборов, снизило трудоемкость их изготовления и уменьшило себестоимость. Работы по изучению акустических свойств магниевых сплавов и созданию сплавов с высокой звукопроводностью были отмечены премией им. Д. К. Чернова.

Магниево-сплавные в 1960-х годах начали применяться в электротехнической промышленности в качестве химических источников тока кратковременного действия. В конце 60-х годов был разработан магниевый сплав, содержащий до 3 мас. % ртути [40]. Введение ртути в магний в качестве легирующего компонента значительно сдвигает потенциал в отрицательную сторону, что позволяет при малом весе батарей иметь сравнительно высокую их мощность. Технология производства тонколистовых полуфабрикатов из магниевых сплавов разработана в ВИЛСе. Под руководством Б. И. Бондарева в работе принимали участие Ю. А. Воробьев, Л. И. Стоклицкий, О. В. Деткова, Е. Д. Захарова, Р. Г. Трусова.

В конце 1950-х - начале 60-х годов на Заводе легких сплавов под руководством Н. П. Дроновой и В. В. Соловьевой был разработан сплав химического состава 2,0-2,5 мас. % Al; 0,7-1,15 мас. % Zn (МА2-2), предназначенный для изготовления клише для полиграфических работ. Высокая и равномерная травимость, отсутствие бугристости, высокий угол наклона печатающих элементов позволили широко применять его в полиграфической промышленности. В работах по освоению производства деформированных полуфабрикатов принимали участие Б. И. Бондарев, З. С. Бычкова, Г. П. Романова, Ю. А. Воробьев, Т. Ф. Пчелина и др. [3].

В 1970-е годы в связи с применением в качестве легирующего элемента в магниевых сплавах иттрия появилась возможность создавать высокопрочные и жаропрочные сплавы, которые еще успешнее могут конкурировать со сплавами алюминиевыми и некоторыми другими материалами. Как и в случае с магниевыми сплавами было изучено и предложено несколько композиций магниевых-иттриевых сплавов. В совместных работах ВИАМа, ВЛСа и Института металлургии им. А. А. Байкова АН СССР проведено сравнительное исследование этих сплавов, в результате которого выбраны два сплава для дальнейшего изучения и внедрения: сплав для пресованных изделий и штамповок под маркой ВМД 10 и сплав для листов под маркой ВМД 10-1. Магниево-иттриевые сплавы наряду с высокой прочностью при нормальной температуре обладают хорошими характеристиками при повышенных температурах, отличительной особенностью этих сплавов является малая анизотропия механических свойств, хорошая свариваемость, удовлетворительная общая коррозионная стойкость. К недостаткам этих сплавов можно отнести склонность к коррозионному растрескиванию, которая может быть уменьшена отжигом полуфабрикатов. Кроме того, хорошие результаты достигаются при применении защитных покрытий. Работы по магниевым-иттриевым сплавам проходили под руководством и при консультациях члена-корреспондента АН СССР В. И. Добаткина, докторов технических наук М. Е. Дрица, Б. И. Бондарева, М. Б. Альтмана, В. И. Елагина. В работах принимали участие А. А. Бляблин, Е. И. Смирнова, Е. Д. Волкова, Ф. Л. Гуревич, М. А. Тимонова, Л. И. Дьяченко, Е. М. Падежнова, Л. Л. Рохлин, А. А. Орешкина, Т. В. Добаткина, И. И. Гурьев, Н. В. Миклина, Т. М. Бахтина, В. И. Бредихина, Г. П. Романова, Л. Н. Мусатов, А. Н. Пономаренко и др.[3]. В последствии уровень свойств магниевых сплавов был повышен в 1,5-2 раза по прочности при комнатной температуре. Температурный уровень использования изделий из этих сплавов поднят на 100-150° С по сравнению с ранее применявшимися сплавами.

Список литературы

1. Я.Е. Афанасьев Магниево-литиевые и алюминий-магниево-литиевые сплавы в легкой и пищевой промышленности (Обзор) / Канд. техн. наук Я. Е. Афанасьев. - Москва: Технология машиностроения/ М-во машиностроения для легкой и пищевой промышленности и бытовых приборов СССР. Центр. науч.-исслед. ин-т информации и техн.-экон. исследований "ЦНИИТЭИЛегпищмаш", 1971, 67 с.].
2. Патент СССР № 111185. Жаропрочный магниевый сплав. И. Г. Ковалев, Т. В. Лебедева, И. М. Михеев и В. В. Долгов Приоритет от 5 июля 1957 года.
3. История металлургии легких сплавов в СССР. 1945-1987. М.: Наука, 1988, 440 с.
4. А.А. Бочвар, М.Е. Дриц, З.А. Свидерская. О природе упрочнения сплавов системы Mg-Mn-Al-Sr при повышенных температурах - Современный проблемы металлургии, М., Издательство АН СССР, 1958, с.533-545.
5. В.П. Козловская Высокопрочные сплавы системы магний-цинк-цирконий. М.: Оборонгиз, 1956, 52 с.

6. В.И. Михеева Сплавы магния с алюминием и цинком - М.: Издательство АН СССР, 1946, 180 с.
7. С.И. Губкин, Е.М. Савицкий О влиянии скорости деформации и температуры на пластичность магниевых сплавов - Известия Сектора физ.-хим. анализа АН СССР, 1941, Т. 14, стр.235-244.
8. Патент СССР № 113736 «Магниевый сплав для производства листов, плит и катанных ребристых панелей». Я. Е. Афанасьев, А. А. Бляблин Приоритет от 15.12.1957.
9. Ч.В. Копецкий, Е.М. Падежнова, Э.М. Семенова. Исследование диаграммы состояния системы Mg- Al-Sn в области, богатой магнием // Изв. вузов. Цв. металлургия. 1968. № 5. с. 78-82.,
10. З.А. Свидерская, Л.Л. Рохлин Магниевые сплавы, содержащие неодим. М.: Наука, 1965. 204 с.,
11. Н.Р. Бочвар Диаграмма состояния Mg- Pг // Структура и свойства легких сплавов. М.: Наука, 1971. с. 21-23.
12. М.Е. Дриц, З.А. Свидерская, Л.Л. Рохлин Диаграммы состояния систем магний-неодим и магний-церий // Металлургия, металловедение, физико-химические методы исследования. М.: Изд-во АН СССР, 1962. Вып. 12. с. 143-151.,
13. С.А. Погодин, В.П. Михеева О тройных сплавах магния с алюминием и церием // Изв. сектора физ.-хим. анализа АН СССР. 1941. Т. 14. с. 283-297.
14. М.Е. Дриц Магниевые сплавы для работы при повышенных температурах. М.: Наука, 1964. 231 с.,
15. М.Е. Дриц, З.А. Свидерская, Л.Л. Рохлин Исследование сплавов системы Mg-Nb-Mn в области, прилегающей к магниевому углу // Журн. неорганической химии. 1962. Т. 7, № 12. с. 2771-2777.
16. Н.Р. Бочвар Исследование диаграммы состояния Mg-Mn-Ni в области, богатой магнием//Легкие сплавы и методы их обработки. М.: Наука, 1968. с. 181 - 183.
17. Ч.В. Копецкий, Э.М. Семенова Диаграмма состояния Mg-Mn-Sn в области, богатой магнием // Докл. АН СССР. 1969. Т. 184, № 2. с. 400-402.,
18. М.Е. Дриц, М.В. Мальцев, Е.М. Падежнова и др. Исследование сплавов тройной системы Mg-Th-Mn. Исследование сплавов цветных металлов. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Вып. 2. с. 114-121.
19. З.А. Свидерская, Е.М. Падежнова О характере фазовых взаимодействий в магниевых сплавах системы Mg-Nd-Al // Легкие, сплавы и методы их обработки. М.: Наука, 1968. с. 169-180.
20. М.Е. Дриц, Е.М. Падежнова, Н.Р. Бочвар Диаграмма состояния системы Mg-Nb-Ni в области, богатой магнием // Изв. АН СССР. Металлы. 1966; № 1. с. 149-152.
21. Л.Л. Рохлин, Н.Р. Бочвар Диаграмма состояния. Mg-Nd-Pr// Металловедение цветных металлов и сплавов. М.; Наука, 1972. с. 58-61.
22. М.Е. Дриц, Е.М. Падежнова, Н.В. Миклина Диаграммы состояния системы Mg-Nb-Zn в области, богатой магнием // Изв. вузов Цв. металлургия. 1971. М 4. с. 104-107.
23. И.М. Михеев, В.В. Долгов, Е.И. Смирнова Высокопрочный сплав ВМДЗ // Свойства и применение магниевых сплавов. М.: ОНТИ ВИАМ, 1965. С. 108-112.
24. А.А. Бляблин, Е.И. Смирнова Высокопрочные сплавы // Магниевые сплавы: Справочник. М.: Металлургия, 1978, Ч. 1. С. 103-132).

25. И.Г. Ковалев Деформированные магниевые сплавы и применение их в промышленности // Свойства и применение магниевых сплавов. М.: ОНТИ ВИАМ, 1965. С. 85-101.
26. А.А. Казаков Жаропрочные сплавы//Магниевые сплавы: Справочник: М.: Металлургия, 1978. Ч. 1. С. 123-132.
27. Авторское свидетельство СССР № 50334, Магниевый сплав. Г.Ф. Комовский. Приоритет от 8.05.1936.
28. Ф.М. Шамрай Литий и его сплавы. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 189 с.
29. М.Е. Дриц, З.А. Свидерская, Ф.М. Елкин и др. Сверхлегкие конструкционные сплавы. М.: Наука, 1972. 139 с. 77.
30. Ф.М. Ёлкин Ф. М. Сверхлегкие сплавы//Магниевые сплавы: Справочник: М.: Металлургия, 1978. Ч. 1. С. 132 -137.
31. Магниевое-литиевые сплавы (Свойства, технологии, применение). Под общей редакцией М.Е. Дрица. М., Металлургия, 1980, стр. 99-105.
32. Авторское свидетельство СССР № 290945. Деформируемый сплав на основе магния. Б.И. Бондарев, И.И. Гурьев, О.В. Деткова, В.С. Иванов и др. Приоритет от 25.04.1969.
33. И.Н. Фридляндер Высокопрочные алюминиевые деформируемые сплавы. М.: Оборонгиз, 1960, 291 с.
34. А.А. Бляблин, А.А. Казаков Магниевые деформируемые сплавы// Магниевые сплавы. М.: Наука, 1978, с. 17-22.
35. Л.Л. Рохлин Акустические свойства легких сплавов. М.: Наука, 1974, 139 с.
36. М.Е. Дриц, Л.Л. Рохлин Магниевые сплавы с особыми акустическими свойствами. М.: Металлургия, 1983, 127 с.
37. Авторское свидетельство СССР № 1217001. Б.И. Бондарев, М.Е. Дриц и др. Сплав на основе магния. Приоритет от 08.06.1984.
38. Авторское свидетельство СССР № 1205564. Б.И. Бондарев, М.Е. Дриц и др. Сплав на основе магния. Приоритет от 08.06.1984.
39. Авторское свидетельство СССР № 456027. Б.И. Бондарев, М.Е. Дриц и др. Сплав на основе магния. Приоритет от 02.11.1972.
40. Авторское свидетельство СССР № 290945. Б.И. Бондарев, И.И. Гурьев, О.В. Деткова и др. Деформируемый сплав на основе магния. Приоритет от 02.11.1972.

{social}