

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1. Литературный обзор.....	7
1.1. Перспективы применения магниевых сплавов.....	7
1.1.1. Литье слитков.....	12
1.1.2. Прокатка листов.....	13
1.2. Технология прессования магния и его сплавов.....	16
1.3. Особенности производства из гранулированных магниевых сплавов.....	21
1.3.1. Получение гранул из магниевых сплавов.....	21
1.3.2. Влияние оксидных слоев на поверхности гранул магниевых сплавов.....	24
1.3.3. Структура и свойства прессованных полуфабрикатов из гранулированных сплавов МА2-1 и МА14.....	28
Вывод, цель работы.....	32
2. Методика проведения работы.....	33
2.1. Исходные материалы.....	33
2.2. Засыпка гранул.....	33
2.3. Вакуумирование.....	36
2.4. Брикетирование гранул.....	36
2.5. Обточка брикетов.....	38
2.6. Прессование.....	38
2.1.1. Первый опыт.....	39
2.1.2. Второй опыт.....	39
2.7. Правка.....	40
2.8. Резка.....	41
3. Проведение исследований.....	43
3.1. Первый опыт.....	43
3.2. Второй опыт.....	48
Вывод по технологической части.....	54

4. Экономическая часть.....	55
4.1. Определение полной себестоимости изготовления единицы продукции.....	56
4.2. Определение ожидаемой годовой прибыли.....	71
Вывод по экономической части.....	73
5. Экологическая часть.....	74
5.1. Анализ рабочего места при работе на установке по брикетированию гранул.....	75
5.2. Инженерные мероприятия по безопасным условиям труда на рабочем месте.....	78
5.3. Устойчивость помещения и оборудования при ЧС.....	95
Вывод по экологической части.....	97
Общие выводы.....	98
Список используемой литературы.....	99

ВВЕДЕНИЕ

Магниевого сплавы — наиболее легкий металл из всех известных конструкционных материалов. Поэтому применение магниевых сплавов находят в различных областях техники, транспорта и промышленности.

Цель данной работы заключалась в разработке технологии изготовления опытно-промышленной партии деформированных изделий из гранул магниевых сплавов методом прессования. Была поставлена задача проработать возможность применения технологий с использованием гранулированного магния с целью обеспечения требуемого, заказчиками, уровня механических свойств и технических характеристик.

Порошковая и гранульная технология находят все большее распространение как метод производства высокопрочных и жаропрочных материалов на различных основах — алюминиевой, титановой, никелевой и др. Активное воздействие процесса ускоренной кристаллизации гранул на их структурно-фазовое состояние позволяет получать новые материалы с новыми свойствами даже при стандартном составе исходного сплава.

Преимущества высоких скоростей кристаллизации при гранулировании могут быть успешно использованы на практике при изготовлении материалов на основе магния, однако до настоящего времени магниевые гранулы и полуфабрикаты из них в промышленном масштабе не производят. Одной из причин медленного развития гранульной магниевой технологии служит высокая химическая активность магния и его сплавов, и особенности физико-химических свойств поверхностной оксидной пленки. Это предопределяет трудности в процессах гранулирования, компактирования и эффективной обработки давлением.

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. Перспективы применения магниевых сплавов

Магниевые изделия выпускают в виде литых деталей (в настоящее время в основном литьем под давлением и в кокиль). Другое направление — производство полуфабрикатов обработкой давлением — прокат (объемы производства представлены на рис. 1.1.):

- листы толщиной от 0,5 до 10 мм, плиты толщиной 12-40 мм тех же габаритов, что и листы;
- штамповки;
- трубы;
- профили.

Листы и плиты применяют в авиационной и ракетной технике многоразового использования в качестве внутренней обшивки (военные и гражданские самолеты, вертолеты), а также для объектов одноразового использования (ракет, спутников и межпланетных станций). В России эту продукцию использовали в самолетах Ту-104, Ту-154, вертолетах конструкторов Миля ("Ми") и Камова ("Ка"), в ракетной технике: в ракетах ПВО класса "земля-воздух", "воздух-земля", баллистических ракетах и межпланетных кораблях "Мир", "Марс" и "Венера". Цена плит — 8 дол./кг, листов — от 10 до 25 дол./кг.

Общее мировое потребление прогнозируется по этому направлению до 5000 т в год, в том числе в Китае: плит — до 200 т в год и листов — порядка 300 т в год. В настоящее время Китай закупает эту продукцию в России.

Применение листов и плит в автомобильном транспорте находится в стадии промышленного опробования. Ведущими фирмами в этой области являются фирмы "Фольксваген" (Германия), "Форд" (США) и "Ниссан" (Япония). В настоящее время ими изготовлены опытные партии автомобилей, где магниевый прокат применен в крышках капота и багажника, а также для дверей. Предполагаемая потребность в листах для этих целей при положительных результатах испытаний составит до 60000 т в год. На сегодняшний день уровень поставок для этих экспериментальных работ составляет только из России до 40 т в год по цене 10-12 дол./кг.

В электротехнике листовой магнии используют в сухих батареях, где он играет одновременно роль анода и корпуса батареи взамен цинка, а также в источниках тока, активируемых морской водой (бакены, буи, подлодки и т.д.). Применяют в основном тонкие листы толщиной 0,6 мм по цене 25-30 дол./кг, общая потребность составляет 2000 т в год.

В полиграфии используют листы толщиной 2,5-7 мм по цене от 20-15 дол./кг. Общий объем потребления в мире (без Китая) составляет 500 т в год. Возможную потребность Китая оценивают в 200 т в год, учитывая значительный экспорт китайской продукции и потребность упаковки для нее.

Для изготовления ручного инструмента с использованием магниевых сплавов необходимо до 1000 т магниевого проката толщиной около 1 мм по цене 15 дол./кг. В последние годы быстро развивается применение магниевых листов для мобильных телефонов и компьютеров. Используют наиболее тонкие листы толщиной 0,5-1 мм. Объем производства составит 1000 т в год, но с учетом высокой стоимости тонких листов объем продаж будет соответствовать 3000 т листов толщиной около 5 мм.

Все время растут потребности в магниевых штампованных (кованых) колесах для автомобильного транспорта и мотоциклов. Штампованные колеса из магниевых сплавов на 45% легче алюминиевых литых колес и имеют механические свойства (прочность и пластичность), аналогичные алюминиевым, а по модулю упругости (жесткости) превосходят алюминиевые. Сегодня потребность в магниевых штампованных колесах составляет около 1 млн шт. при существующих объемах производства не более 50 тыс. шт., т. е. потребность составляет 10000 т в год при производстве 500 т в год. Один килограмм магния в колесе стоит до 40 дол.

Диаграмма распределения полуфабрикатов по видам

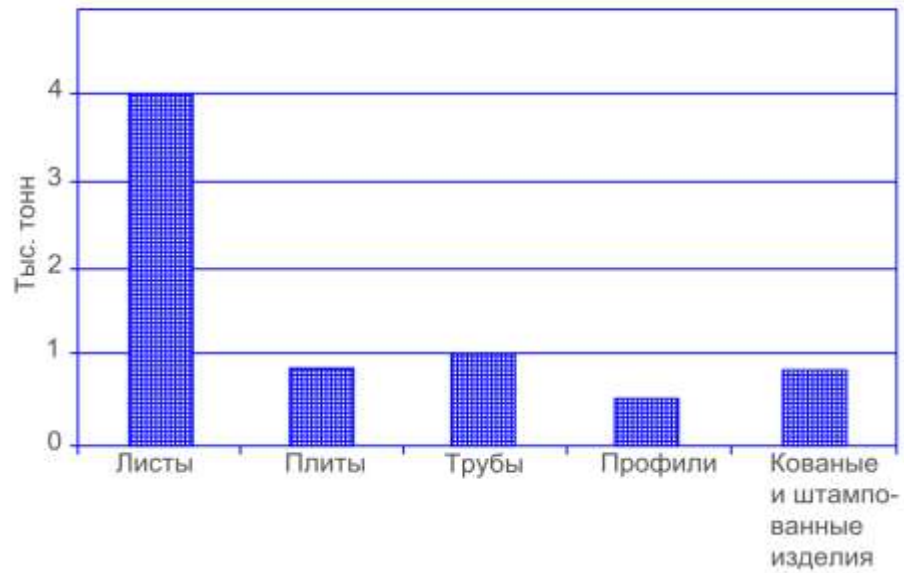


Рис. 1.1

Схема агрегата для бесслитковой прокатки магниевых сплавов

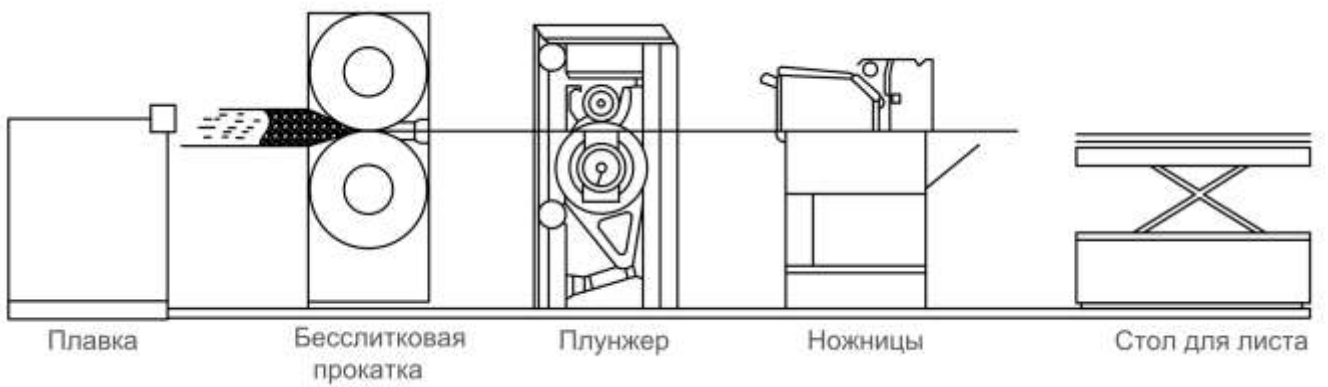


Рис. 1.2

Для производства современных велосипедов требуется 2000 т в год труб различного сечения (производится около 100 т). Основные потребители — Китай, Тайвань, Япония, цена 30 дол./кг. В настоящее время для изготовления предметов быта и обихода производят около 150 т в год прессованной продукции при средней цене 5-7 дол./кг. Потребность в полуфабрикатах на период до 2015 года составит:

- 6000 т в год листов;
- 1 000 т в год плит;
- 10000 т в год штамповок (в основном автоколес);
- 2000 т в год труб;
- 1000 т в год профилей и прутков.

Общая потребность в полуфабрикатах составляет 20000 т в год. В настоящее время потребности в магниевом прокате, исключая автомобильные листы, покрываются на 5-10%.

До последнего времени листы из магниевых сплавов использовали в электротехнике, высокой печати и, естественно, в ракетостроении и авиации. Это определило основные габариты листов и требования к их качеству. В основном использовали сплавы на основе систем Mg-Al-Mn, типичными представителями которых являются сплавы AZ31 (США и Европа) и МА2-1 (Россия). Их основными преимуществами являются не очень высокая стоимость, достаточная технологичность при литье и прокатке.

Вместе с тем технологические свойства этих сплавов при листовой штамповке (что типично для технологии автостроения) недостаточно высоки, и при вытяжке глубиной 50 мм может потребоваться нагрев листов. Существуют малоиспользуемые в настоящее время магниевые сплавы системы Mg-Zn-РЗМ, которые позволяют проводить прокатку листов при более низких температурах по сравнению с прокаткой листов из сплава AZ31. Получение магниевого листа минимальной стоимости для массового производства в автомобилестроении возможно при использовании бесслитковой прокатки. Эта проблема в настоящее время весьма успешно решается в Германии, во Фрайбурге [1]. Хотя пока еще нет промышленного производства, тем не менее создан полупромышленный агрегат для

литья полосы и ее последующей прокатки (рис.1.2). Кромка литой ленты имеет значительные надрывы, на поверхности имеются трещины.

Конечно, это очень решительный шаг в деле освоения дешевого магниевого листа. Важно получить качественный лист без анизотропии свойств с обеспечением хорошей вытяжки при листовой штамповке.

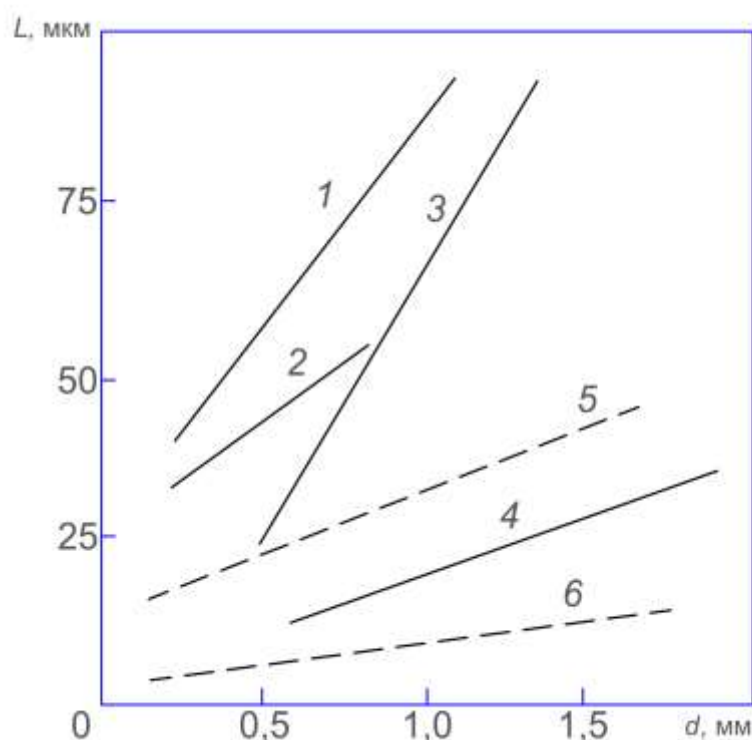
Продолжаются, и довольно успешно, работы по получению магниевых гранул, в том числе с использованием МГД-устройств. Зависимость размера субдендритных зерен от способа получения гранул и, следовательно, скорости охлаждения показана на рис. 1.3 [2].

Листы из сплавов системы Mg-Zn-PЗМ можно штамповать достаточно успешно в холодном состоянии с вытяжкой более 50 мм. Эти сплавы обладают несколько меньшей прочностью, чем сплав AZ31, но их высокая пластичность позволяет при холодной штамповке получить небольшое упрочнение в результате нагартовки. Есть еще одна группа сплавов на базе системы Mg-Li с различными легирующими элементами. Основным преимуществом этих сплавов являются низкая плотность (в диапазоне 1,45- 1,66 г/см³), возможность холодной прокатки листов и нормальной холодной прокатки изделий из листа. Существенными недостатками этих сплавов являются их высокая стоимость и прочность в пределах 180-220 МПа.

Использование большого количества листов в автомобилестроении создает очень емкого потребителя и ставит перед металлургами следующие задачи:

- организация и создание производства слябов больших размеров, позволяющих прокатывать листы шириной до 1500 мм и получать рулоны массой около 5000 кг;
- создание современного прокатного производства для выпуска до 30000 т листов в год;

Зависимость дендритного параметра и размера субдендритных зерен L от диаметра гранул d магния и магниевых сплавов и способа их охлаждения



1,2,3 — охлаждение гранул магния с солевой оболочкой соответственно в атмосфере воздуха, азота и гелия; 4 — гранулы магния, полученные МГД методом в атмосфере воздуха; 5, 6 — сплавы МА2-1, МА5, МА14, полученные диспергированием металла соответственно в жидком азоте и в атмосфере воздуха

Рис. 1.3

1.1.1. Литье слитков

Главное — отливка крупногабаритных слябов весом более 5 т. В настоящее время существуют плавно-литейные агрегаты вместимостью 12 т жидкого магния. Для обеспечения производства порядка 30000 т листов в год потребуется создание плавно-литейного производства с объемом отливки слябов (вес брутто) около 50000 т. С учетом производительности одного 12-тонного агрегата, составляющей 35 т в сутки, или 1,5 т в час, установлено при расчете, что таких агрегатов должно быть не менее 6 (принято в расчет число рабочих дней в году 300). Непосредственно для литья слитков также необходимо специальное оборудование, в первую очередь

кристаллизаторы, обеспечивающие получение слябов без трещин с заданными параметрами структуры. Требования к структуре магниевых слитков достаточно жесткие в отношении величины зерна, наличия первичных интерметаллидов и неметаллических включений. Это обусловлено значительным наследственным влиянием исходной структуры слитка на прокатываемость и свойства листовой продукции [3].

Получение качественного слитка зависит от правильности выбранных параметров: скорости литья, давления и температуры охлаждающей воды, высоты кристаллизатора и схемы подачи металла в кристаллизатор. Эти режимы литья в целом известны. Однако даже при небольшом изменении размеров слитка возникают серьезные проблемы с трещинообразованием и появлением столбчатых кристаллов на больших гранях слябов, что приводит к образованию трещин при прокатке. Серьезные задачи организационного характера должны быть решены при резке и механической обработке слябов. В первую очередь должны быть определены режимы резанья, способы уборки стружки и конструирования вентиляционных систем. Несколько проще и шире проработаны режимы гомогенизационного отжига и типы печей [4].

1.1.2. Прокатка листов

Рекомендуется проводить прокатку листов с разделением на горячую прокатку до толщины 6-3 мм со смоткой в рулон и теплую прокатку на конечный размер 0,8 - 1,5 мм. Естественно, наиболее продуктивной и с более качественной выкаткой будет именно рулонная, а не листовая прокатка.

Горячая прокатка магниевых сплавов обычно не вызывает серьезных трудностей. Получить прокат непосредственно из слитков, обладающих однородной структурой, высокими свойствами, при общей одноразовой деформации 50% практически невозможно из-за отсутствия полной проработки литой структуры. Поэтому прокатку слитков ведут дробной деформацией [4]. При $\varepsilon = 15\%$ деформация в полосах скольжения может составлять десятки процентов и наступает разрушение за счет вязкого сдвига. В связи с этим первые проходы должны быть со степенями деформации не выше 10-15%. В паузах между проходами через валки

успевают пройти спонтанная рекристаллизация в магниевых сплавах и пластичность восстанавливается. Когда литая структура уже проработана ($\varepsilon > 50\%$), степень деформации за проход должна быть увеличена, но не до критической. Последняя для промышленных магниевых сплавов при высоких температурах составляет 10-15% [4]. Перед сверткой в рулон необходима обрезка кромки на дисковых ножницах, и это несмотря на то, что при горячей прокатке слитки подвергали энжеровке при толщине подката 150-100 мм.

Необходимо заметить, что горячая прокатка на станах, предназначенных для прокатки алюминиевых сплавов, не вызывает практических затруднений. Однако просто использование станом для прокатки алюминиевых сплавов может привести к разрушению магниевого сляба при прокатке, если не приняты меры по подготовке специального профиля валка и его нагрева до заданных температур. Тем не менее для достижения большей производительности и большего экономического эффекта весьма целесообразно и перспективно использование станом, состоящих из одной или двух клеток и непрерывной чистовой группы. Такое оборудование позволяет получать горячекатаные полосы толщиной 2-3 мм, а применение специализированных моталок позволит повысить температуру смотки и получить качественную поверхность без образования на поверхности так называемых линий скольжения, что особенно важно при прокатке и свертке в рулон полос из сплавов системы Mg-Zn-Mn (AZ31 и AZ61).

Холодную прокатку правильнее назвать теплой, так как рулон нагревают до температуры около 400 °C и прокатку ведут на подогретых валках. Их нагрев может колебаться от 100 до 200 °C в зависимости от состава сплава [4]. При прокатке рулона за один проход температура металла может снизиться в 2 раза, и поэтому наиболее разумно теплую прокатку проводить с использованием подогреваемых моталок на реверсивных станах с максимальным приближением рулона к валкам. Для получения листовых полуфабрикатов требуемой геометрии и с улучшенным качеством применяют отделочные операции, включающие резку, правку, механическую зачистку поверхности рулонов и листов [5].

Листы из магниевых сплавов в основном выпускают в отожженном состоянии. Отжиг листов и рулонов осуществляют обычно в камерных электрических печах с принудительной циркуляцией нагревательной среды.

Магниевые листы выпускают с защитным кратковременным покрытием — оксидированным, либо более долговременным — анодным.

1.2. Технология прессования магния и его сплавов

Магний имеет гексагональную плотную кристаллическую решетку, обладает меньшим числом систем скольжения и пониженной по сравнению с металлами кубической системы пластичностью. Однако пластичность магния и его сплавов определяется не только кристаллографической характеристикой, но зависит и от особенностей свойств этого металла и сплавов на его основе.

Свойства магниевых сплавов [6] определяются видом литой кристаллической структуры сплава, содержанием вредных для этого металла примесей, таких как железо, никель, кальций, кремний, а также неметаллических включений хлоридов, нитридов и окислов. Неметаллические включения в сплаве образуются в результате взаимодействия с кислородом (MgO) и азотом (Mg_3N_2). Магний и магниевые сплавы могут в больших количествах поглощать водород, поглощение его растет с повышением температуры и при этом значительно снижается пластичность.

Несмотря на это, магниевые сплавы — хороший конструкционный материал, потому что они обладают малой плотностью и высокими механическими свойствами. Из магниевых сплавов изготавливают прутки, полосы, трубы диаметром до 200 мм, а также профили, в том числе очень сложной формы. Имеются данные [7], что прессованием из магниевых сплавов изготавливают профили двутаврового сечения высотой более 700 мм, панели шириной до 700 мм и общим сечением до 250 см. Эти изделия получают прессованием на мощном прессе с усилием прессования 13200 Тс. Прессованные изделия характеризуются высокой точностью и очень низкими допусками (на целый порядок ниже допусков на прессованных изделиях из медных сплавов) и составляющих всего $\pm 0,08$ — $0,1\%$ от размера прессованного изделия [8, 9]. Прессованием обрабатывают чистый магний, сплавы МА1, МА2, МА3, МА4, МА5, МА8 [10, 11].

Горячее прессование магния и его сплавов легко идет лишь при нагреве, обуславливающим образование при температурах выше 212—225°C дополнительных систем скольжения [12]. Чистый магний легко прессуется с высокими скоростями истечения.

Работы, посвященные исследованию пластичности магния и его сплавов [12, 13, 14], показывают, что с повышением температуры пластичность магния растет, одновременно понижается давление прессования [15]. Изменение пластичности магниевых сплавов с температурой зависит от их состава и показано на рис. 1.4. Так, например, ударная вязкость магния значительно выше его сплавов с алюминием, причем она тем ниже, чем ниже в сплаве содержание алюминия. Кроме того, как видно из рис. 1.4, максимум температурной кривой с увеличением содержания алюминия сдвигается в сторону низких температур (для 4% Al 300° С, и для 8% Al 250° С). Так же влияет добавка к магнию цинка — ударная вязкость магниевых сплавов с повышением содержания цинка понижается. Одновременная добавка к магнию алюминия и цинка еще больше понижает пластичность сплава. Сплавы магния с марганцем обладают большей пластичностью, чем сплавы с алюминием и цинком [10]. Наиболее существенно на пластичность магниевых сплавов влияет скорость истечения. Сплавы МА1, МА8, допускают скорость истечения до 50 см/сек, тогда как для МА2, МА3 и МА7 (жесткие сплавы) скорость истечения не должна превышать 4 см/сек. Сплавы МА1 и МА8 отличаются более высокими скоростями истечения и наиболее широким интервалом температур прессования. Сплав МА5 может прессоваться при очень низких скоростях истечения и лишь в узком интервале температур [10, 16].

Зависимость ударной вязкости магния (а) и сплавов магния с алюминием(б) от температуры испытания [III]

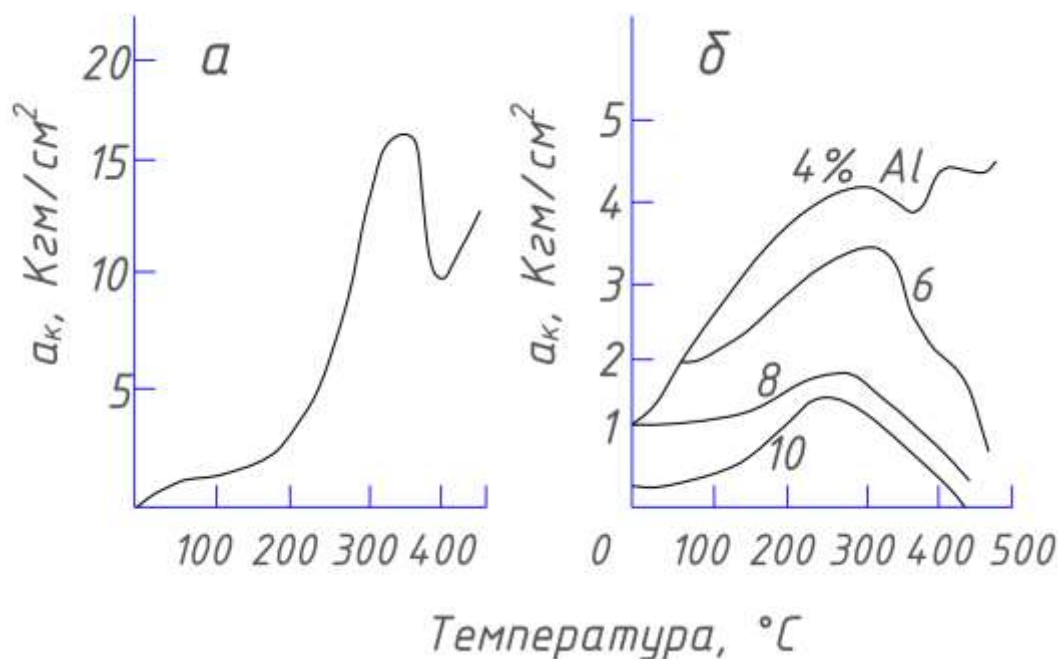


Рис. 1.4

Слитки магниевых сплавов нагревают в электрических, газовых или индукционных печах. При прессовании из предварительно прессованной заготовки продолжительность нагрева можно сократить на 25—30%. Гомогенизация сплава перед пластической обработкой положительно сказывается на свойствах прессизделия и на давлении прессования. Удельное давление можно понизить на 16—28%. На рис. 1.5 показано влияние продолжительности гомогенизации на давление прессования сплава МА2.

Работы по исследованию характера истечения [17, 14] показали, что течение магниевых сплавов идет сравнительно равномерно (рис.30) и близко к I типу классификации С. И. Губкина. Поэтому прессостаток при прессовании магниевых сплавов можно оставлять не очень большой, не более, а чаще всего менее 10% длины слитка водит к большой анизотропии механических свойств по сечению (рис. 107) и очень большой анизотропии механических свойств переднего конца прессованного прутка. Передний конец прессованного прутка отличается неравномерными механическими свойствами и протяженность прутка с

пониженными механическими свойствами, подлежащего удалению, составляет по длине от 0,7 до 2,0 и более диаметров прессизделия в зависимости от условий процесса [18].

Технология прессования магниевых сплавов имеет много общего с прессованием алюминиевых сплавов; лучшие результаты процесса получаются при условии применения матриц с короткой длиной рабочего пояса и острой входной ее частью. Контейнер необходимо подогреть и его температура должна быть равна температуре слитка или быть несколько выше. Трубы из магниевых сплавов можно прессовать в язычковую матрицу. Прессование труб обычным способом прямого истечения из жестких магниевых сплавов ведут из сверленного слитка.

Влияние гомогенизации сплава МА2 на давление прессования

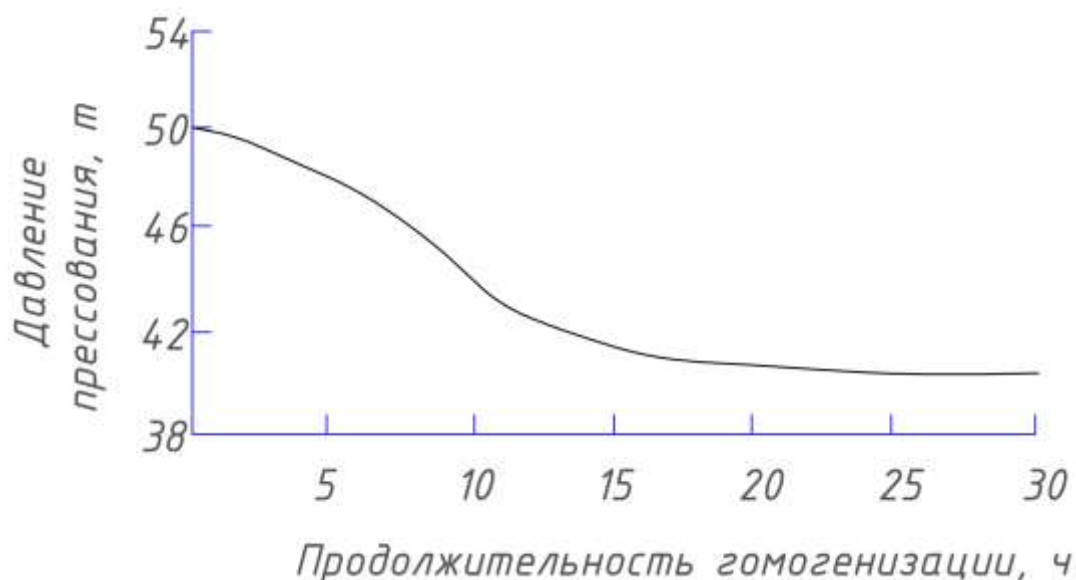


Рис. 1.5

Чтобы получить более мелкую структуру литых заготовок для прессования и повысить механические свойства прессованных изделий, применяют прессование магниевых сплавов в виде гранул [19]. Процесс состоит из двух стадий:

- а) измельчение магниевого сплава — получение гранул;
- б) прессование гранул в изделие.

Для проведения первой операции жидкий сплав подают на быстро вращающийся диск. Под действием центробежной силы сплав перемещается к

периферии диска и застывает в виде сферических частиц или гранул. Регулируя скорость подачи жидкого сплава и скорость вращения диска, можно изменять размер частиц или гранул. Средний размер гранул, применяемых для прессования, лежит между 100 и 400 *мкм*.

Вторая операция — прессование гранул — заключается в загрузке гранул в контейнер, брикетировании и затем после нагрева— выдавливании брикета в матрицу, получении прессизделия. Этот метод дает возможность получать прессованием разнообразные изделия сложного профиля.

Микроструктура прессизделий, изготовленных прессованием гранул, значительно мельче, она более равномерна и однородна, а это обеспечивает более высокие механические свойства прессизделий. По данным работы [19], предел прочности прессизделий Mg-Zn-Zr сплава получается на 2—3 *кГ/мм²* выше, чем предел прочности прессизделий, полученных из нормально отлитого слитка, при очень незначительном понижении относительного удлинения.

1.3. Особенности производства полуфабрикатов из гранулированных магниевых сплавов

1.3.1. Получение гранул из магниевых сплавов

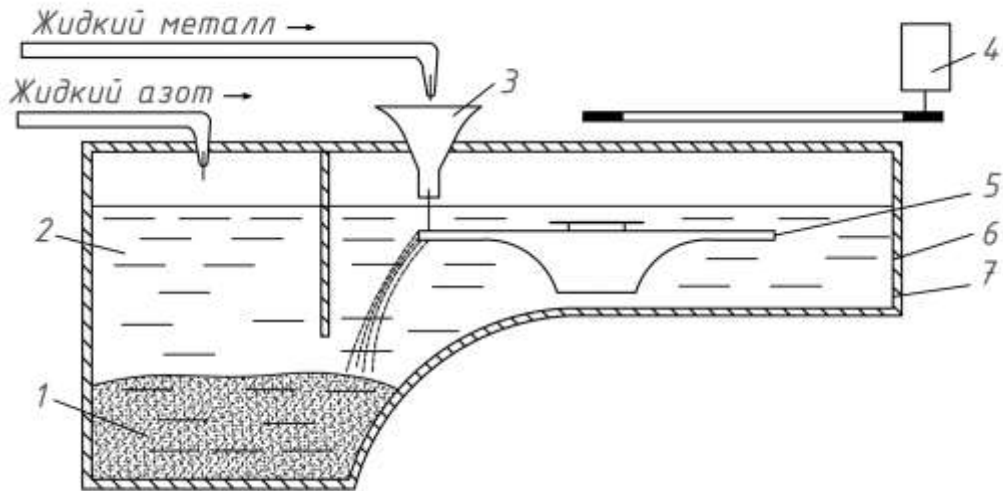
В литературе имеется ограниченное число работ, посвященных указанным вопросам применительно к фрезерованным порошкам [20-24]. Совсем нет сообщений по крупным гранулам (0,5— 3 мм), полученным методом центробежного гранулирования. Анализ процессов производства магниевых деформированных полуфабрикатов из спеченных фрезерованных порошков [20] показывает сложность такой технологии и ее малую эффективность с точки зрения повышения уровня механических свойств полуфабрикатов. Более действенным способом роста прочности является производство полуфабрикатов из распыленных порошков или гранул, полученных центробежным методом.

Был проведен комплекс работ по исследованию влияния среды, в которой кристаллизуются гранулы, на их структуру, состояние поверхности и способность к схватыванию при горячем прессовании. Средой кристаллизации служили фреон, аргон, гелий, углекислый и сернистый газы, а также вода, бензин, жидкий азот. Установлено, что кристаллизация в газовой среде не обеспечивает достаточного измельчения структуры гранул и, следовательно, получения требуемого уровня механических свойств полуфабрикатов. Кристаллизация гранул в воде и бензине не гарантирует стабильного качества полуфабрикатов из-за недостаточной схватываемости гранул в процессе горячей пластической деформации. Наилучшие результаты достигнуты при использовании в качестве среды охлаждения гранул жидкого азота.

Гранулы, закристаллизованные в жидком азоте, хорошо схватываются в процессе деформации, имеют наиболее благоприятное структурнофазовое состояние для получения максимальных механических свойств. Деформацию этих гранул можно осуществлять в горячем контейнере без применения капсулы, дегазации и предварительного нагрева гранул.

Использование жидкого азота в качестве охлаждающей среды позволило создать опытную установку для производства гранул магния и его сплавов, принципиальная схема которой приведена на рис. 1.6.

Принципиальная схема магниевых гранулятора



1 — гранулы; 2 — жидкий азот; 3 — воронка; 4 — электродвигатель; 5 — диск; 6 — изоляционный слой; 7 — корпус из нержавеющей стали

Рис. 1.6

Установка состоит из двух основных частей: камеры распыления с гранулоприемником и распылительного механизма.

Распылительный механизм представляет собой вращающийся с большой скоростью (2000 об/мин) в жидком азоте гофрированный металлический диск, на который направляется струя расплавленного металла. Через центр диска, снизу, с помощью заборника, на гофрированную поверхность дополнительно подается мощный поток жидкого азота с целью предотвращения налипания металла и контактной кристаллизации

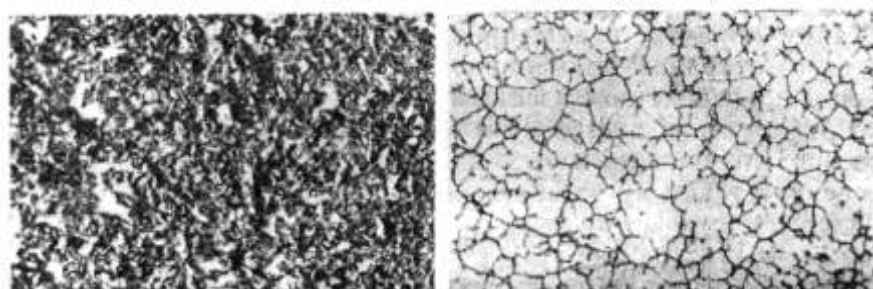
Установка проста по конструкции, обладает высокой производительностью, позволяет получать гранулы в широком диапазоне формы и размеров в зависимости от выбранных режимов работы.

Достаточно высокие скорости охлаждения гранул при кристаллизации обеспечивают их мелкозернистую структуру, а среда жидкого азота способствует

образованию на поверхности защитных пленок, которые не препятствуют схватываемости частиц при горячей деформации. Внешний вид и микроструктура гранул показаны на рис. 1.7. Мелкие частицы (до 30—50 мкм) имеют сферическую форму, более крупные (свыше 300 мкм) — пластинчатую, игольчатую и др. Размер зерна литых гранул значительно меньше, чем у слитков сплавов того же состава (рис. 1.8).

Поверхностная оксидно-нитридная пленка имеет переменный состав и толщину в зависимости от параметров кристаллизации гранул и условий их дальнейшего хранения.

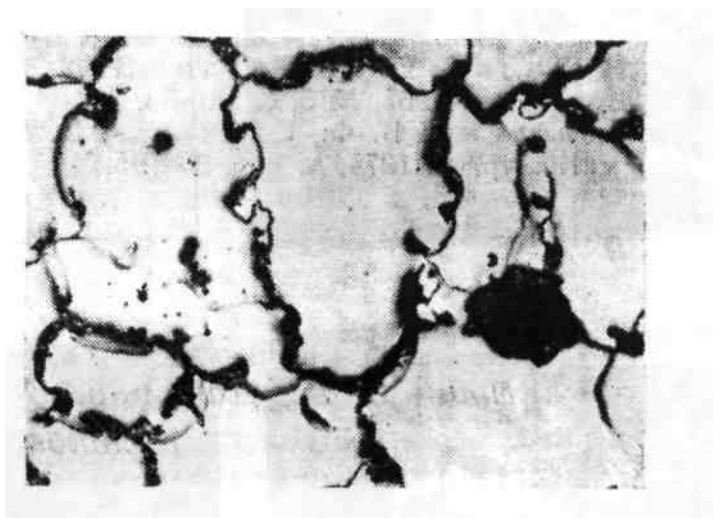
Внешний вид и микроструктура гранул сплава МА14



x250

Рис. 1.7

Микроструктура слитка диаметром 370 сплава МА14



x250

Рис. 1.8

Полученные на указанной установке гранулы легко подвергаются горячему деформированию в широком диапазоне температур, обеспечивают на деформированных полуфабрикатах из магниевых сплавов различного состава хороший комплекс прочностных и пластических свойств, что свидетельствует об оптимальности выбранного процесса с учетом особенностей жидкого и твердого магния и его сплавов. Прочностные характеристики различных полуфабрикатов из гранул стандартных сплавов, полученных в промышленных условиях, в 1,5—2,0 раза выше, чем свойства полуфабрикатов из слитка.

Предлагаемая гранульная технология для магниевых сплавов позволяет исключить процессы дегазации, спекания, значительно снизить температуру деформирования, без использования процесса брикетирования. В отдельных случаях возможно, не применяя предварительного нагрева гранул, деформацию проводить в нагретом до требуемой температуры контейнере.

Таким образом, полуфабрикаты из гранул магниевых сплавов можно изготавливать по значительно сокращенному циклу в сравнении с производством из алюминиевых порошков и гранул, титановых гранул и т. д. Все это в сочетании с высокими выходами годного и КИМ при различных процессах получения полуфабрикатов обеспечивает весьма экономичное производство изделий.

1.3.2. Влияние оксидных слоев на поверхности гранул магниевых сплавов

Одной из особенностей металлургии гранул является воздействие состояния поверхности исходных гранул, в частности толщины и состава поверхностных оксидных слоев, на физико-механические свойства получаемого компактного материала. В связи с этим при разработке оптимального технологического процесса изготовления полуфабриката из гранул необходимо учитывать изменения состояния поверхности гранул в зависимости от условий их получения и переработки. Как бы ни были высоки скорости кристаллизации гранул, избежать окисления их поверхности в реализуемых на практике условиях не удастся. Толщины образующихся оксидных пленок весьма малы, что требует

применения для их изучения методов анализа поверхности, способных давать информацию о чрезвычайно тонких поверхностных слоях.

В настоящей работе исследованы состав и толщина поверхностных слоев на гранулах сплавов МА2-1 и МА14, полученных методом центробежного распыления расплавленного металла в толстом слое жидкого азота. Температура литья составляла 820—870 °С, скорость кристаллизации гранул 10^4 — 10^5 К/с. Состав поверхностных слоев определяли методом электронной оже-спектроскопии (ЭОС), а толщину — вторично-ионной масс-спектрометрии (ВИМС) на приборе LAS-600. Оба этих метода позволяют анализировать слои толщиной 0,5—5 нм, а в сочетании с методикой послойного распыления материала поверхности пучком ионов аргона могут быть изучены слои толщиной в десятки и сотни нанометров [25].

Для анализа отбирали гранулы, имеющие форму расплющенной капли диаметром 1—2 мм. Четыре-пять таких гранул вдавливали в индиевую фольгу, которую затем закрепляли в держателе образцов. Оже-спектры записывали при энергии возбуждающего электронного пучка 3 кэВ, причем плотность тока в пучке подбирали так, чтобы избежать разложения поверхностных оксидов. Диаметр пучка не превышал 0,2—0,3 мм. Профили тока отрицательных ионов кислорода O^{-2} (метод ВИМС), по которым определяли толщину оксидных слоев, получали при распылении поверхности каждой отдельной гранулы сканирующим пучком ионов Ar^{+} с энергией 4 кэВ, при этом электронное диафрагмирование вторичного пучка позволяло регистрировать вторичные ионы из центральной зоны кратера распыления. Скорость ионного распыления оксида магния оценивали следующим образом. Сначала по времени распыления слоев Al_2O_3 известной толщины находили скорость распыления оксида алюминия. Затем с учетом данных работы [26], согласно которым скорость распыления MgO для энергии ионов аргона 3—5 кэВ на 13 % меньше, чем при распылении Al_2O_3 , рассчитывали значение скорости распыления MgO , равное 1×10^{-2} нм/с (0,6 нм/мин).

Исследование поверхности гранул методом ЭОС показывает, что при кристаллизации в жидком азоте гранул сплавов МА2-1 и МА14 на их поверхности

формируется слой оксида магния с небольшим количеством примесей. Содержание азота в поверхностных слоях настолько мало, что при анализе многих исходных гранул в оже-спектрах не обнаруживается его пик; в некоторых гранулах удается обнаружить азот в концентрациях, близких к пределу чувствительности метода ЭОС и не превышающих в исследуемом случае $\sim 0,5$ % ат. Из легирующих компонентов сплавов (Zn, Al, Mn, Zr) в поверхностном оксидном слое некоторых гранул имеется лишь цинк в концентрациях не более ~ 1 % ат, в большом количестве гранул вообще не удается обнаружить легирующих. Из других примесей здесь постоянно присутствуют также в незначительных количествах углерод (2—5% ат.) и фтор (0,5—2% ат.).

Первый является поверхностным загрязнением, характерным для большинства хранившихся в промышленной атмосфере материалов; сосредоточен в виде соединений на поверхности оксидного слоя. Фтор обнаруживается в поверхностном слое гранул, полученных из расплава с защитой его от окисления в печи как фреоном, так и аргоном, при этом систематических различий в содержании фтора в этих гранулах не наблюдается. Кроме того, как свидетельствуют результаты послойного анализа методом ВИМС (рис. 2), концентрация фтора в оксидном слое возрастает по мере удаления от внешней поверхности оксида, достигая максимума на значительном от нее удалении, т. е. фтор попадает в оксидный слой в процессе кристаллизации гранул. Источник фтора пока не ясен, возможно, жидкий азот, в который отливали гранулы, имеет примеси фтора или его газообразных соединений.

Профили ионного тока O^- (а), OH^- (б), F^- (в) при послойном распылении поверхности гранул ионами аргона

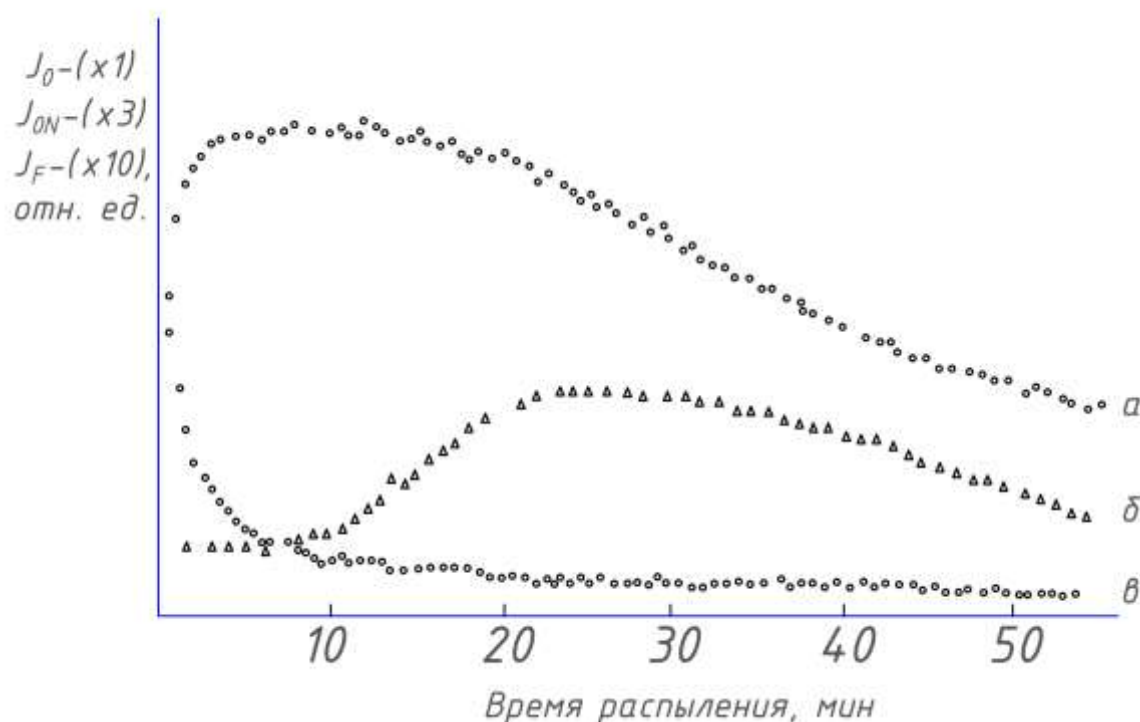


Рис. 1.9

На рис. 1.9. показаны профили тока ионов кислорода O^- и гидроксил-ионов (m/e 17), дающие представление о толщинах всего оксидного и гидратированного оксидного слоев соответственно. Толщина оксидных слоев меняется от гранулы к грануле в диапазоне 20—30 нм, что объясняется, по всей видимости, несколькими различными условиями кристаллизации отдельных гранул. Толщины гидратированных оксидных слоев также не одинаковы для разных гранул и составляют 0,5—2 нм. Как известно, оксид магния подвержен поверхностному гидролизу [28], поэтому при хранении гранул в атмосфере, содержащей пары воды, происходит взаимодействие поверхностного оксида магния с водой с образованием гидроксида магния, однако этот процесс затрагивает лишь самые поверхностные монослои оксида магния (при исследованных временах хранения гранул на воздухе не более недели).

Полученные результаты однозначно свидетельствуют, что на поверхности гранул магниевых сплавов МА2-1 и МА14, отлитых в жидкий азот, формируется преимущественно магниевый оксидный слой вследствие взаимодействия металла с

примесями воды и кислорода в жидком азоте. Небольшое количество нитридов, образующихся в начальный момент кристаллизации, находится вблизи раздела металл-оксид.

1.3.3. Структура и свойства прессованных полуфабрикатов из гранулированных сплавов МА2-1 и МА14

Развитие современной техники требует создания новых конструкционных материалов с улучшенной прочностью при нормальной и повышенных температурах. Одной из основных задач исследований в области материалов для авиационной промышленности является снижение веса самолета, позволяющее увеличить полезную нагрузку при неизменном расходе горючего. К принципиально новым, по прочности, жесткости, жаропрочности и другим свойствам, значительно превосходящим известные конструкционные сплавы, относятся гранулированные материалы [29].

В гранульной (порошковой) металлургии магниевых сплавов используются общеизвестные принципы. В процессе распыления при высокой скорости охлаждения в гранулах происходит сильное измельчение зерна, образуется пересыщенный твердый раствор, появляется возможность легирования сплавов труднорастворимыми элементами в количествах, значительно превышающих их равновесную концентрацию [30]. Все это создает предпосылки для изготовления деформированных полуфабрикатов с повышенными прочностными свойствами из гранул (порошков) магниевых сплавов. В данной работе использовали стандартные деформируемые сплавы МА2-1 и МА14. Расплавы распыляли центробежным методом в среде жидкого азота. Химический состав гранул приведен в табл. 1.1.

Химический состав гранулируемых магниевых сплавов

Сплав	Mg	Al	Zn	Mn	Zr	Ng
1	2	3	4	5	6	7
МА2-1	Основа	4,2	1,1	0,57	—	0,008
		4,3	1,2	0,61		0,009
МА 14	Основа	—	5,4	—	0,79	0,006
			5,5		0,82	0,007

Для исследования использовали гранулы размером 0,1—2,0 мм, из которых прессовали прутки диаметром 20 мм и полосы сечением 6х60 мм. Для сравнения отливали слитки аналогичного химического состава и прессовали прутки диаметром 20 мм и полосы сечением 6х60 мм. Из полуфабрикатов вырезали образцы для испытаний механических свойств. Микроструктуру исследовали на шлифах, вырезанных из полуфабрикатов и из головок образцов. Механические свойства определяли в горячепрессованном состоянии на образцах диаметром 3 и 5 мм, вырезанных в продольном и поперечном направлениях (табл. 1.2).

Сравнение механических свойств прутков и полос, отпрессованных по различным технологическим режимам, показало, что у полуфабрикатов из гранул они значительно выше (σ_B на 65—75 МПа, $\sigma_{0,2}$ на 100—140 МПа, $\sigma_{-0,2}$ на 200—230 МПа, δ на 6%, a_n на 2—3 кгс-м/см²), чем у изготовленных из слитков.

Производство прессованных полуфабрикатов из гранулированных магниевых сплавов позволило значительно уменьшить анизотропию механических свойств (уменьшается разница в прочности в продольном и поперечном направлениях). Так, на полосе из гранул сплава МА2-1 эта разница составляет по $\sigma_B = 9$ МПа, по $\sigma_{0,2} = 2$ МПа, по $\sigma_{-0,2} = 1—2$ МПа, а на полосе из слитка сплава МА2-1 по $\sigma_B = 21$ МПа, $\sigma_{0,2} = 74$ МПа; то же соответственно из гранул сплава МА14:

$\sigma_B = 3$ МПа, $\sigma_{0.2} = 4$ МПа, по $\sigma_{-0.2} = 2$ МПа, а из литка по $\sigma_B = 38$ МПа, по $\sigma_{0.2} = 137$ МПа.

Таблица 1.2

Механические свойства полуфабрикатов, отпрессованных из гранул и из слитка магниевых сплавов МА2-1 и МА14

Сплав	Полуфабрикат		σ_B , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	$\sigma_{-0.2}$, МПа	δ , %	a_n , кгс-м/см ²
1	2		3	4	5	6	7
МА2-1	Пруток	из слитка	275	165	91	9	0,8
		из гранул	353	307	320	14	3,5
	Полоса	из слитка	272/251	168/94	89	8,6/8,9	-
		из гранул	362/353	310/308	310/309	16/15,5	-
Пруток	из слитка	328	292	150	9,4	0,7	
	из гранул	400	387	381	16	3,7	
МА 14	Полоса	из слитка	323/285	267/130	150/—	9,8/11	-
		из гранул	380/377	364/360	360/358		-

Исследования микроструктуры полуфабрикатов, отпрессованных из гранул данных сплавов, показали, что высокая скорость кристаллизации частиц расплава при литье гранул обеспечивает получение значительно измельченной структуры гранул и прессованных полуфабрикатов (рис. 1.10, 1.11). Линейный размер ячеек дендритной сетки в гранулах находится в пределах 0,005—0,015 мм. Полуфабрикаты из гранул имеют очень мелкозернистую структуру с относительно равномерным распределением более измельченных, чем из слитка, интерметаллидных соединений.

Фрактографическим анализом изломов образцов, вырезанных из полуфабрикатов, которые отпрессовали из гранул магниевых сплавов МА2-1 и МА14, установлено, что изломы имеют вязкий характер разрушения.

По данным М. А. Тимоновой и Л. И. Дьяченко, скорость коррозии (в 3 % растворе хлористого натрия) прутков, отпрессованных из гранул и слитка сплава МА14, составляет соответственно 4,2 и 30 г/м²сут., т. е. в первом случае она значительно ниже.

Микроструктура прессованных полос из слитка и из гранул сплава МА2-1

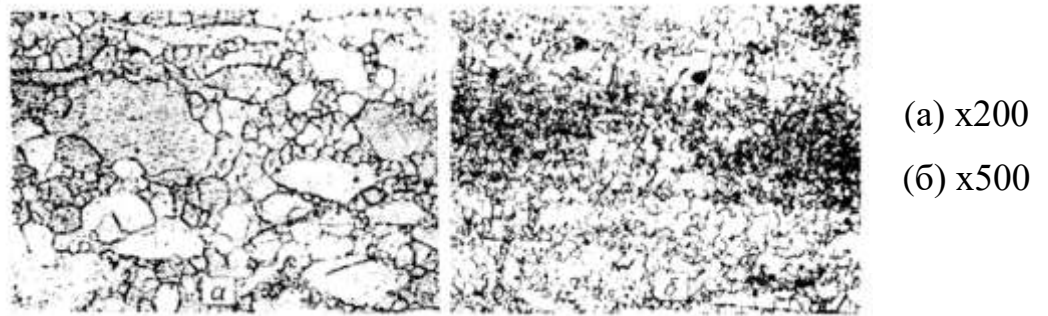


Рис. 1.10

Микроструктура прессованных полос из слитка и из гранул сплава
МА14

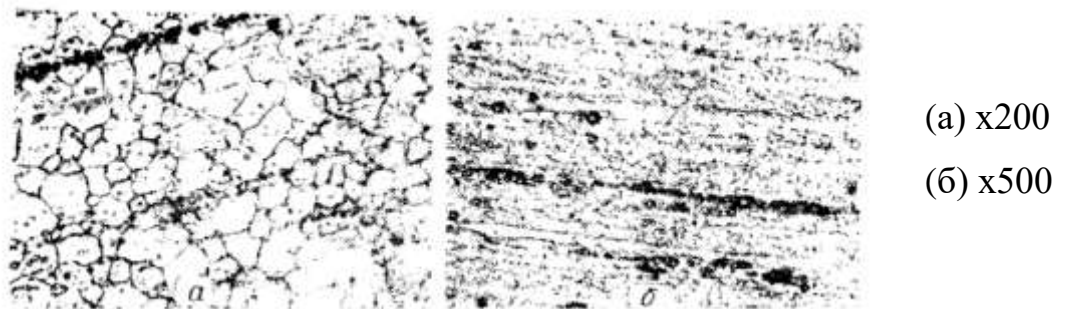


Рис. 1.11

ВЫВОДЫ, ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод, что гранулированные деформируемые магниевые сплавы обладают высокими свойствами, которые невозможно получить у сплавов традиционными методами выплавки.

Целью работы явилась: «Разработка технологии изготовления опытно-промышленной партии деформированных изделий из гранул магниевых сплавов методом прессования». Была поставлена задача проработать возможность применения технологий с использованием гранулированного магния с целью обеспечения требуемого, заказчиками, уровня механических свойств и технических характеристик.

2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Исходные материалы

Исходным материалом для проведения исследований служили гранулы магниевых сплавов МА 14гр и МА 2-1гр, полученные методом высокоскоростного охлаждения. Метод производства гранул приведен на рисунке 2.1.

Химический состав сплавов МА 14гр и МА2-1гр соответствует ГОСТ 14957-76. На предприятие было поставлено две партии гранул различных по гранулометрическому составу. В первую партию входили гранулы сплавов марки МА 14гр и МА2-1гр. Внешний вид гранул первой партии приведен на рисунке 2.2. (а и б).

Как видно из вышеприведенного рисунка, данные гранулы отличались неправильной геометрической формой и крупными размерами.

Гранулы из второй партии сплавов МА 14гр МА2-1гр отличались меньшим фракционным составом 0,5 – 2 мм, и более правильной геометрической формой.

Микроструктурный анализ гранул показывает дендритное строение гранул (рис.2.3). Определить размер зерна не представляется возможным.

2.2. Засыпка гранул

Засыпка гранул производилась в технологические гильзы, представленные на рисунке 2.4.

Было произведено три опыта по засыпке магниевых гранул. В первом случае гранулы сплавов МА 14гр и МА2-1гр засыпались в гильзы без виброуплотнения, во втором и третьем случаях засыпка производилась с виброуплотнением при помощи вибротележки, схема которой представлена на рисунке 2.5.

Засыпка и виброуплотнение магниевых гранул в технологические гильзы производились по следующей схеме:

- 50 - 75 кг (2 – 3 мешка) гранул засыпались в гильзу, через воронку,
- производилось виброуплотнение гранул в течение 20-30 мин.

Получение магниевых гранул

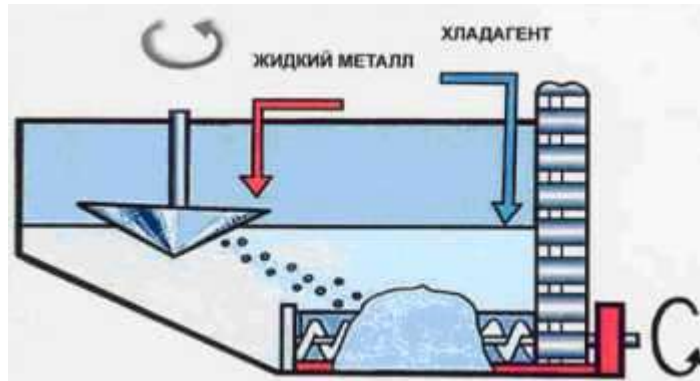


Рис. 2.1

Внешний вид гранул



Рис. 2.2

Микроструктура гранул

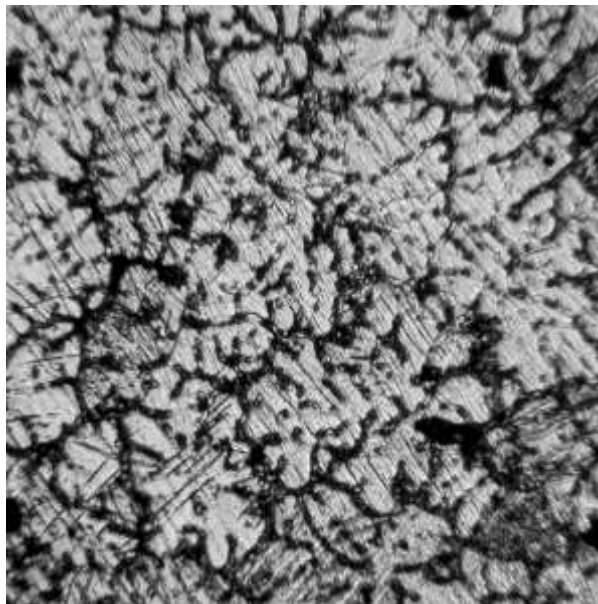


Рис.2.3

Данные операции продолжались до полного заполнения гильзы. После чего гильза взвешивалась.

В результате данных операций были получены следующие результаты:

Таблица 2.1

Засыпка гранул. Технологические данные

№ гильзы	Сплав	Вид гранул	Вид опыта	Вес гильзы, кг	Теоретическая плотность, г/см ³	В % от полной плотности
1	2	3	4	5	6	7
0-1	МА2-1гр	крупные	без вибро-уплотнения	320	0,64	36
0-2	МА 14гр			340	0,68	39
1	МА 14гр	крупные	с вибро-уплотнением	370	0,76	43
2	МА 14гр	мелкие		465	0,97	55
3	МА2-1гр	мелкие		540	1,14	65
4	МА2-1гр	крупные + мелкие		385	0,79	45

Как видно из данных таблицы 2.1, наибольший результат процесса виброуплотнения был получен на гильзах, заполненных второй партией гранул. Это можно объяснить более мелким фракционным составом данной партией и морфологией данных гранул.

2.3. Вакуумирование

Засыпанные гильзы в стеллажах перевозились на производственную площадку цеха - на магниевый участок. Производилось вакуумирование гильз при постоянной откачке капсулы со степенью 5×10^{-2} мм.рт.ст.

2.4. Брикетирование гранул

Брикеты из магниевых гранул МА 2-1гр, МА 14гр изготавливались методом горячего формования в глухую матрицу на прессе усилием 120 мН (12 000 тс) на производственной площадке.

Технологическая гильза

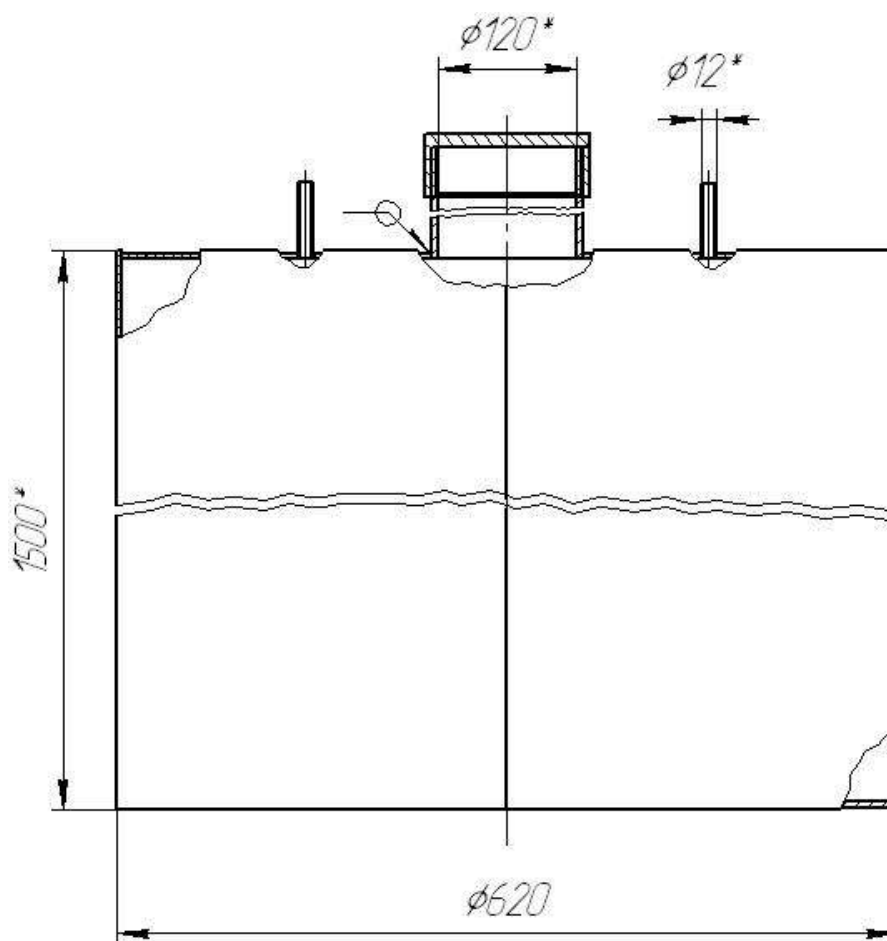


Рис. 2.4

Схема вибротележки

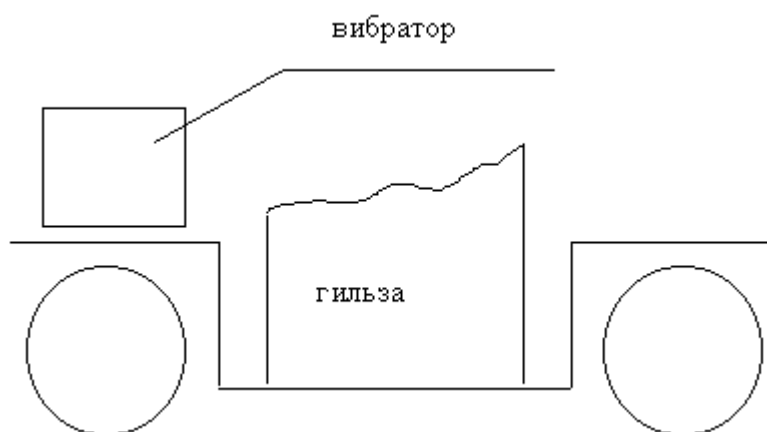


Рис. 2.5

Брикетирование осуществляют в контейнере $\text{Ø}650$ мм. Нагрев под брикетирование и подготовка инструмента производилась по следующему режиму: $T_{\text{зар}}=170 - 200^\circ\text{C}$, $T_{\text{кон}}=340 - 320^\circ\text{C}$, $T_{\text{матр}}=250^\circ\text{C}$, выдержка 3ч.

При подпрессовке брикетов осуществлялась выдержка в контейнере в течение 15 – 20 мин.

Результаты брикетирования представлены в таблице 2.2

Таблица 2.2

Брикетирование гранул. Технологические данные

№ гильзы	Сплав	Вид гранул	Усилие брикетирования, мН	Длина брикета, мм
1	2	3	4	5
0-1	МА2-1гр	крупные	-	520
0-2	МА 14гр		-	450
1	МА 14гр	крупные	80	600
2	МА 14гр	мелкие	100	750
3	МА2-1гр	мелкие	112	860
4	МА2-1гр	крупные + мелкие	100	600

2.5. Обточка брикетов

После предыдущей операции брикеты были обточены до полного выведения алюминиевой рубашки. Диаметр обточенных брикетов - 625 мм.

После обточки на боковой поверхности брикетов были обнаружены трещины от мелких до глубоких. При последующих манипуляциях один из брикетов раскололся по трещине.

Обточка брикетов до Ø 625 мм проводилась так же после I (неудачного) опыта прессования. Кроме того, после прессования некоторые брикеты пришлось торцевать, что снизило их длину. В общем на операциях обточки и торцевания потеряно более 300 кг от первоначального веса.

2.6. Прессование

Прессование производилось в контейнере Ø650 мм горизонтально-гидравлического пресса усилием 120 мН (12 000 тс).

2.1.1. Первый опыт

Нагрев брикетов производится по режиму $T_{\text{заг}} = 280-300^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{кон}} = 300-350^{\circ}\text{C}$.

Технологические данные процесса прессования приведены в табл. 2.3

Таблица 2.3

Прессование гранул. Технологические данные. Опыт I

№ гильзы	Сплав	Вид гранул	Вид продукции	Вытяжка	Усилие прессования, мН	Температура металла, °С	Температура контейнера, °С	Скорость истечения, м/мин
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	МА 14гр	крупные	Ø190	11,7	120	300	350	0,7 –0,8
4	МА2-1гр	крупные + мелкие	80x90	46,09	120	300	325	-
3	МА2-1гр	мелкие			120	260	300	-
2	МА 14гр	мелкие			120	275	320	-

Время прессования брикета №4 составило более 1,5 часа. За это время вследствие очень низкой скорости прессования было получено изделие длиной менее 1,5 м.

Брикет №3 не распрессовался.

Время прессования брикета №2 составило более 1,5 часа. За это время вследствие очень низкой скорости прессования было получено изделие длиной менее 2 м.

Температура нагрева брикетов была признана низкой, поэтому после обточки было проведено повторное прессование с более высокими температурами.

2.1.2. Второй опыт

Нагрев брикетов производился в колодце №2. Контроль температуры производился по воздуху и по металлу (термопара, прикрепленная к одному из брикетов в садке). Кроме того, температура каждого брикета, перед передачей на прессование (после того как достали из колодца) замерялась контактной термопарой. Замер температуры металла производился и в контейнере пресса.

Большая разница температур металла после колодца и в контейнере прессы объясняется тем, что время транспортировки металла из колодца в контейнер прессы составляло до 5 минут, что обуславливалось как расположением оборудования, так и невозможностью использования стандартных клещей для задачи брикета в контейнер (для этих целей использовался трос).

Во время второго опыта производилось прессование полосы $80^{\pm 0,9} \times 90^{\pm 0,9}$ мм. В табл. 2.4 приведены технологические данные процесса.

Таблица 2.4

Прессование гранул. Технологические данные. Опыт II

№ гильзы	Маркировка	Сплав	Вид гранул	Усилие прессования, МН	Температура металла в колодце, °С	Температура металла в контейнере, °С	Температура контейнера, °С	Скорость истечения, м/мин
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0-1	1	МА2-1гр	крупные	120	346	330	360	$\approx 0,3 - 0,4$
2	2	МА 14гр	мелкие	120	336	328	350	$\approx 0,2$
3	3	МА2-1гр	мелкие	120	360	350	350	$\approx 0,2$
0-2	4	МА 14гр	крупные	120	345	335	350	$\approx 0,2$
4	5	МА2-1гр	крупные + мелкие	120	347	330	350	$\approx 0,2$

Длина отпрессованных изделий составила 14 – 16 м. Внешний вид профилей представлен на рис. 2.6.

При прессовании брикета №1 была отмечена более высокая скорость прессования, вследствие чего наблюдались поверхностные дефекты полосы типа задиров. При снижении скорости поверхность улучшилась.

При прессовании брикета №3 на поверхности полосы был отмечен пузырь небольших размеров, что можно наблюдать на рис. 2.7.

Данный дефект связан с глубокими трещинами, наблюдавшимися на поверхности брикета перед прессованием.

2.7. Правка

Правка полос производилась на растяжной машине. Так как длина полученных профилей превышала максимальную длину, для правки на растяжной

машине профили были подрезаны до 11000 мм с утяжинного конца. Температура нагрева под правку составила $T=150 - 200^{\circ}\text{C}$. Во время правки губки растяжной машины соскальзывали с нагретого профиля даже при использовании абразивного материала (песка) для повышения трения. В следствие чего результат операции был признан неудовлетворительным.

Правка была продолжена на вертикальном гидравлическом прессе усилием 60 мН при тех же температурных режимах. Результаты операции в целом были признаны удовлетворительными.

2.8. Резка

Резка полученной продукции проводилась по схеме, представленной на рис. 2.8 в соответствии с размерами, сведенными в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Резка образцов

Размер	Длина	Примечания
1	2	3
А	350-400	Следы от губок растяжной машины
Б	200	Образец для исследований
С	350-400	Полоса
Д	350-400	Следы от губок растяжной машины
Е	1300-1400	Утяжинный конец, обрезанный до правки

Общий вид прессованных профилей 80x90



Рис.2.6

Структура профиля №3



Рис.2.7

Схема резки образцов

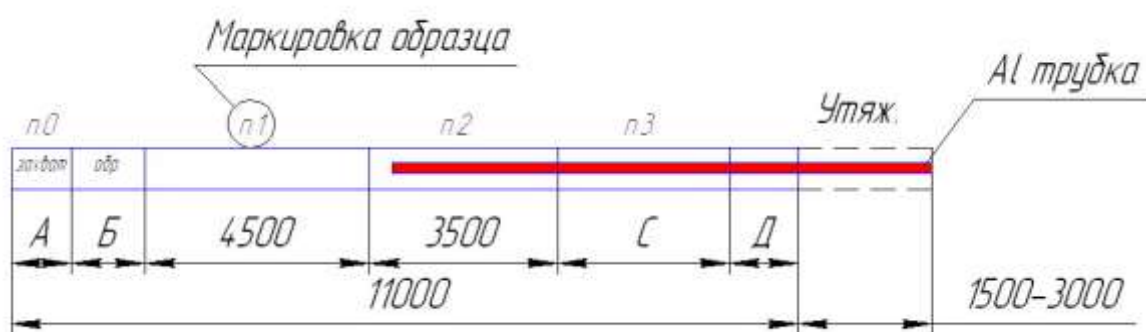


Рис.2.8

В результате заказчику было сдана продукция, обозначенная в табл. 2.6

Таблица 2.6

Фактическая сдача продукции

№	Сплав	Длина, мм	Маркировка	Вес, кг
1	2	3	4	5
Полоса 80x90 мм				
1	МА 2-1 гр	4500	1.1	56
2		4500	5.1	56
3		3500	5.2	44
4	МА 14 гр	4500	2.1	57
5		4500	4.1	57
6		1700	4.2	22
7		2000	0.2*	25
Пруток Ø190 мм				

Продолжение табл. 2.6

8	МА 14 гр	1260		64
9		500		26
Общий вес				407

*0.2 – полоса, полученная в I опыте (брикет не распрессовался)

3. ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Первый опыт

После первого опыта были проведены исследования полученных образцов.

Макроструктура

Макроструктура прутка Ø190 мм из сплава МА14гр исследовалась на поперечных макрошлифах и представлена на рис. 3.1. В периферийных слоях макроструктура исследуемых изделий волокнистая, проработанная, повторяющая конфигурацию изделия; присутствуют незначительные окисные пленки. В центре структура менее проработанная, состоит из отдельных гранул округлой формы и различной цветовой окраски.

Макроструктура прессованного профиля размером 80x90 мм из сплава МА2-1гр аналогичная (рис.3.2.): на периферии - волокнистая, проработанная, повторяющая конфигурацию изделия; в центре - менее проработанная, состоит из отдельных гранул округлой формы, цветовой контраст гранул менее заметен. Дефектов металлургического характера не выявлено.

Микроструктура

Микроструктура прессованных изделий из сплавов МА2-1гр и МА14гр исследовалась на долевых микрошлифах и представлена на рис. 3.3-3.4. По рисункам мы видим, что структура мелкая, проработанная, дисперсная.

Механические свойства

Механические свойства прессованных изделий из сплавов МА2-1гр и МА14гр испытывались при комнатной (20°C), повышенных (270, 300, 330, 360°C) температурах.

Механические свойства прессованных изделий из сплавов МА2-1гр и МА14гр, испытанных при комнатной температуре, представлены в табл.3.1.

Макроструктура прутка $\text{\O}190$ мм из сплава МА14гр



Рис. 3.1

Макроструктура профиля размером 80x90 мм из сплава МА2-1гр

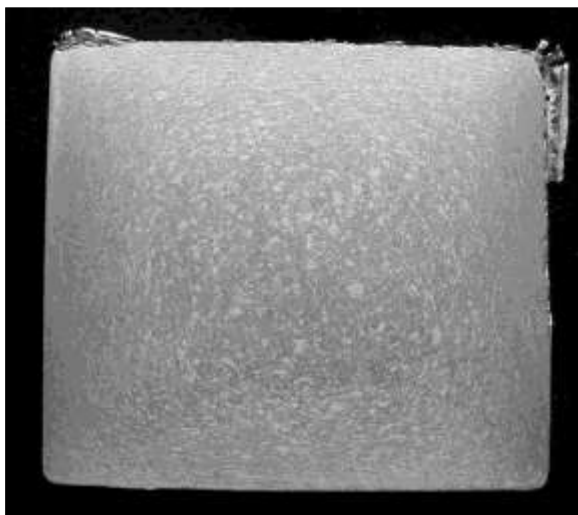
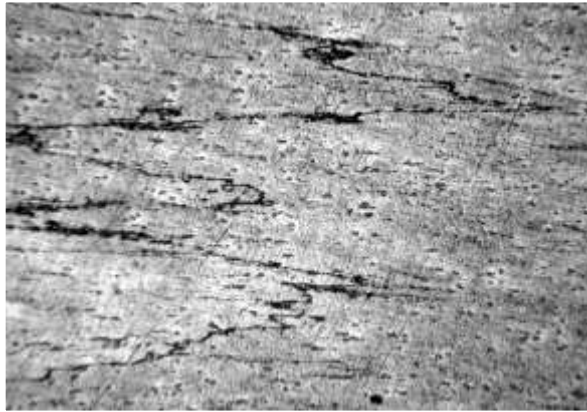


Рис. 3.2

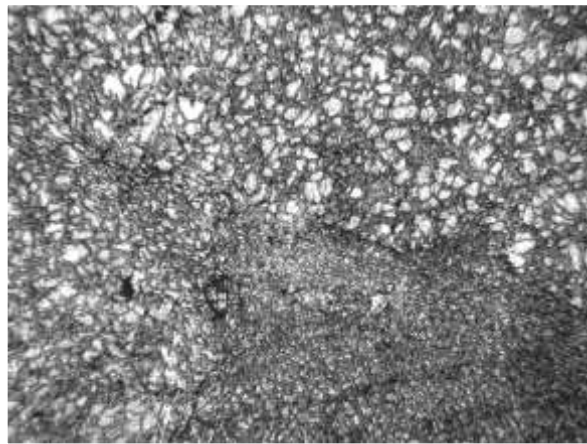
Микроструктура прессованных изделий из сплава МА2-1 (первый опыт)



x100

Рис. 3.3

Микроструктура прессованных изделий из сплава МА14гр (первый опыт)



x100

Рис. 3.4

Таблица 3.1

Механические свойства прессованных изделий из сплавов МА2-1гр и
МА14гр

Изделие	Сплав	Размер, мм	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относит. удлинение, %	Предел текучести на сжатие, МПа
1	2	3	4	5	6	7
пруток	МА14гр	190	324	258	18,0	226
			325	258	16,8	208
ГОСТ 18351-73*			265	175	4,0	-
профиль	МА2-1гр	80x90	304	217	17,2	-
			309	224	17,2	-
			307	217	16,4	-
ГОСТ 19657-84			255	145	8,0	-

Из таблицы видно, что полученные механические свойства прутка Ø190 МА14гр и профиля размером 80x90 мм из сплава МА2-1гр удовлетворяют требованиям ГОСТ 18351-78 и ГОСТ 19657-84.

Механические свойства прессованных изделий прутка Ø190 МА14гр и сплава МА2-1гр при повышенных температурах графически представлены на рис. 3.5, 3.6.

Из графиков видно, что наилучшими пластическими свойствами сплав МА2-1гр обладает в температурном интервале 330-360°C, а сплав МА14гр - в температурном интервале 330 - 390 °С.

Механические свойства прессованных изделий из сплавов МА2-1гр
(профиль 80x90 мм) и МА14гр (пруток Ø 190 мм)

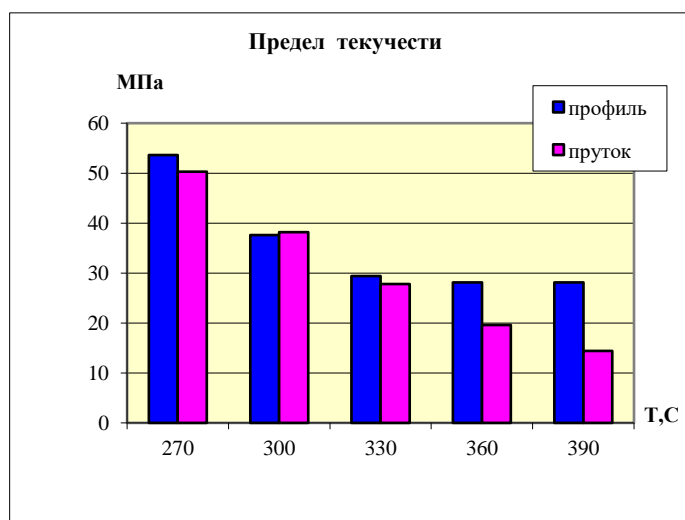
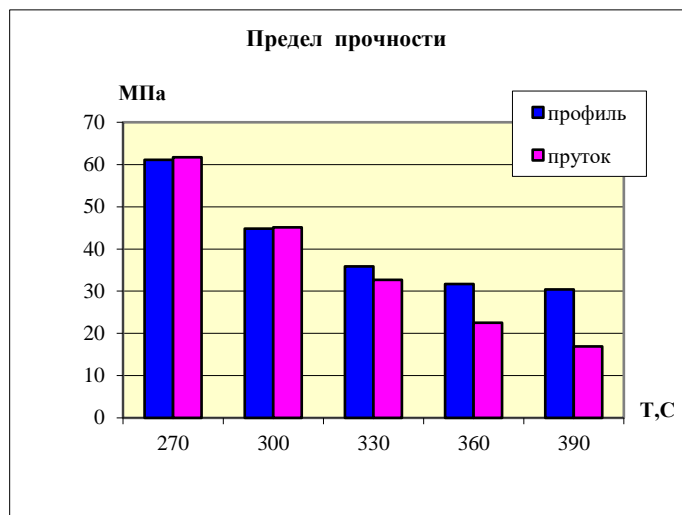


Рис. 3.5

Механические свойства прессованных изделий из сплавов МА2-1гр
(профиль 80 x 90 мм) и МА14гр (пруток Ø 190 мм)

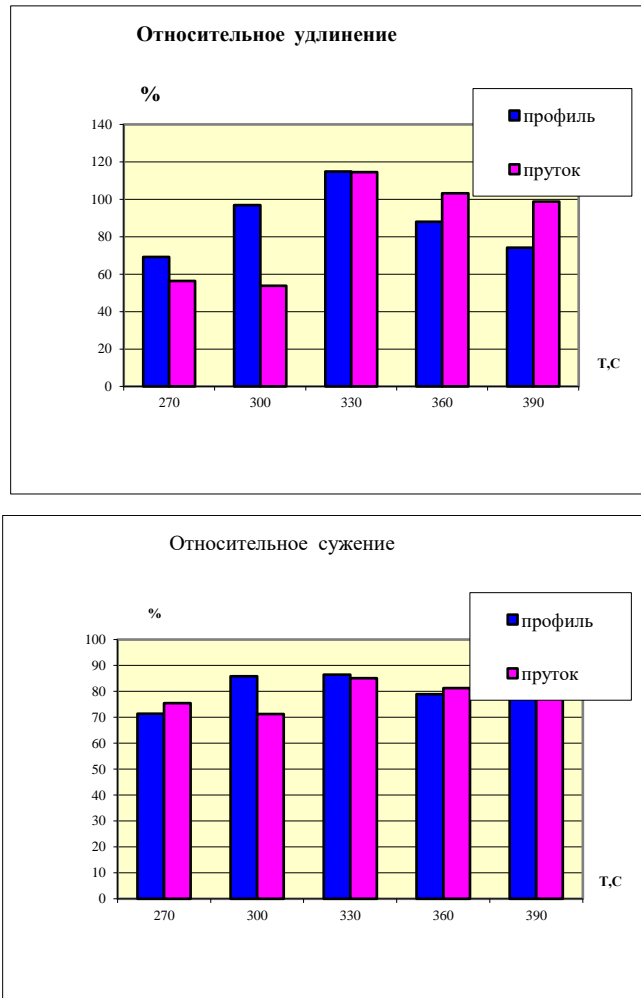


Рис.3.6

3.2. Второй опыт

Макроструктура

Макроструктура прессованных профилей размером 80 x90 мм из сплавов МА2-1гр и МА14гр исследовалась на поперечных макрошлифах и представлена на рис. 3.7- 3.10.

Макроструктура профилей из сплава МА2-1гр более проработанная по сравнению с тем, что мы видим в первом опыте. Ярко выраженной разноструктурности не обнаружено (кроме профиля № 1). В профиле № 3 присутствует утяжина и неметаллические включения.

В макроструктуре профилей из сплава МА14гр разноструктурность при переходе от периферии к центру остается. Дефектов металлургического характера не выявлено.

Микроструктура

Микроструктура прессованных изделий из сплавов МА2-1гр и МА14гр исследовалась на долевых микрошлифах и представлена на рис.3.11, 3.12.

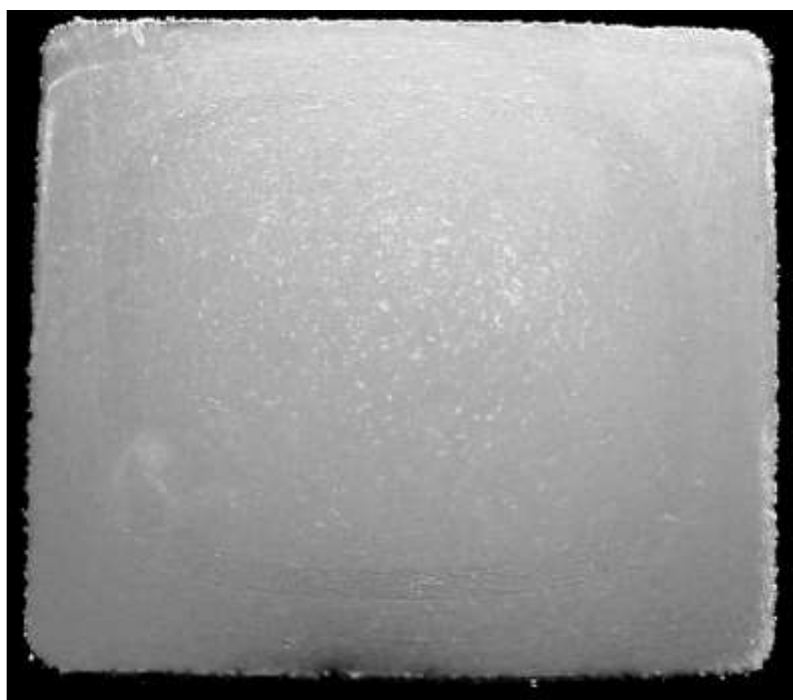
Микроструктура изделий из сплава МА14гр в периферийной зоне представляет собой волокнистую структуру. В центральных слоях - крупные зерна, состоящие из мелкодисперсных гранулированных частиц.

Микроструктура изделий из сплава МА2-1гр волокнистая по всему сечению.

Механические свойства

Механические свойства прессованных изделий из сплавов МА2-1гр и МА14гр испытывались при комнатной (20°C) температуре. Результаты испытаний представлены в табл. 3.2.

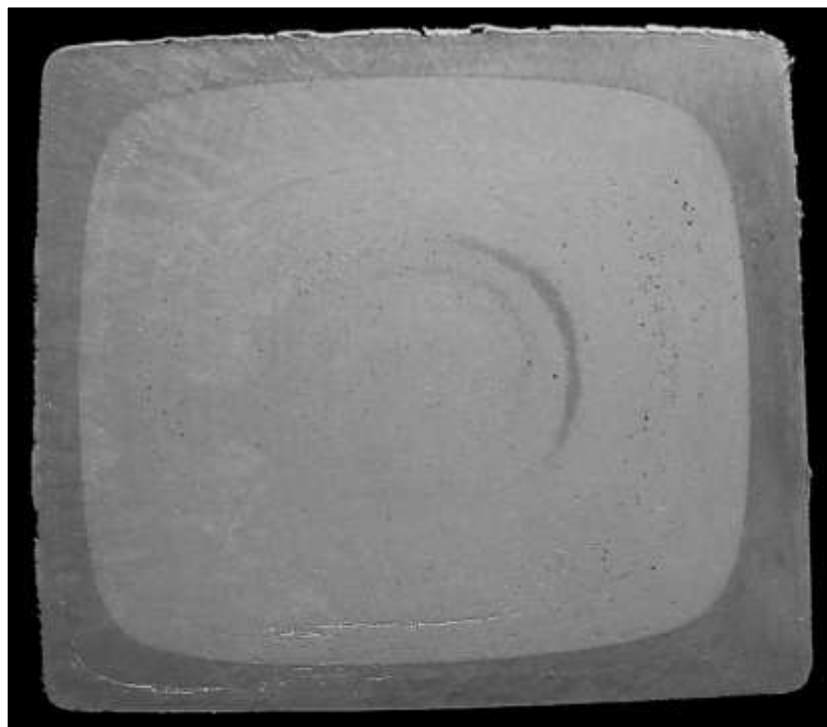
Макроструктура профиля № 1 размером 80x90 мм из сплава МА2-1гр.



x1

Рис.3.7

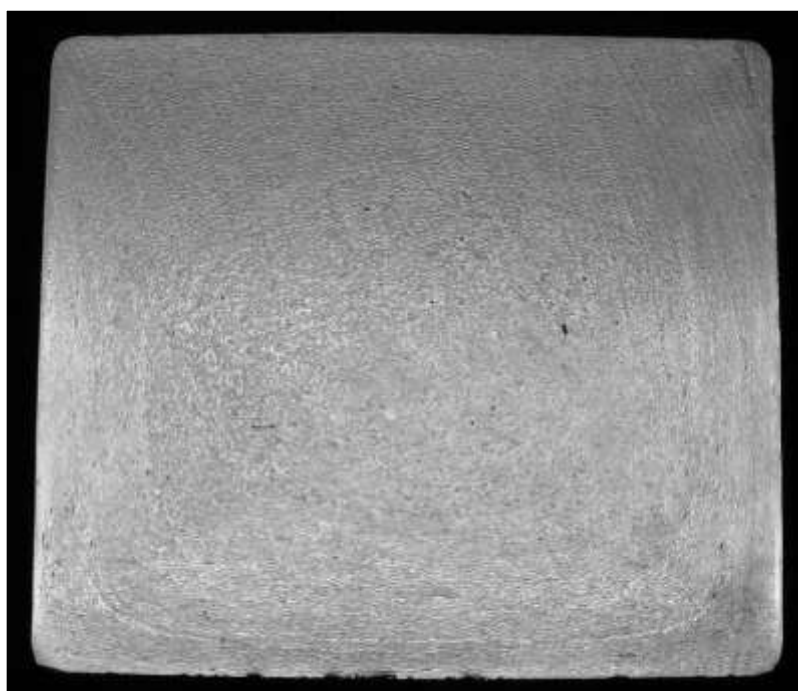
Макроструктура профиля № 3 размером 80x90 мм из сплава МА2-1гр.



x1

Рис.3.8

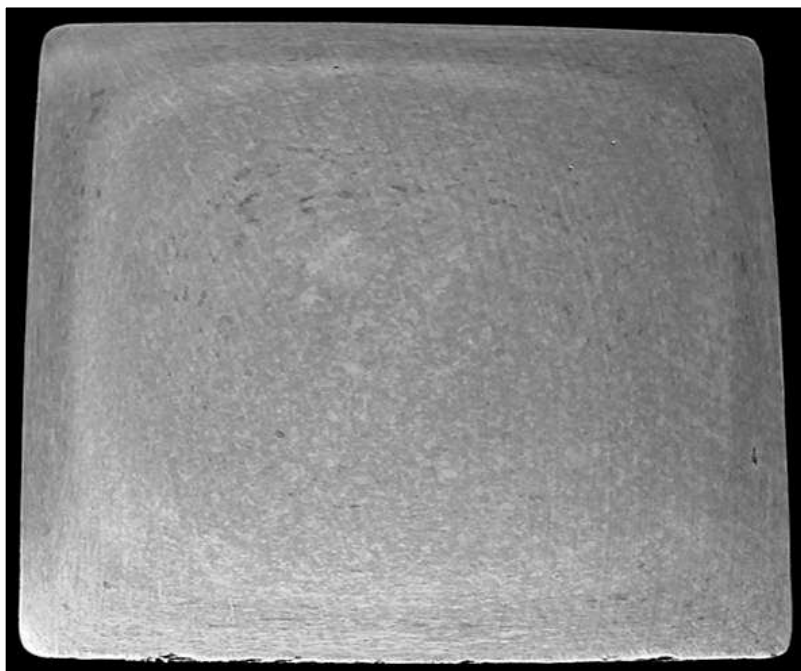
Макроструктура профиля № 5 размером 80x90 мм из сплава МА2-1гр.



x1

Рис. 3.9

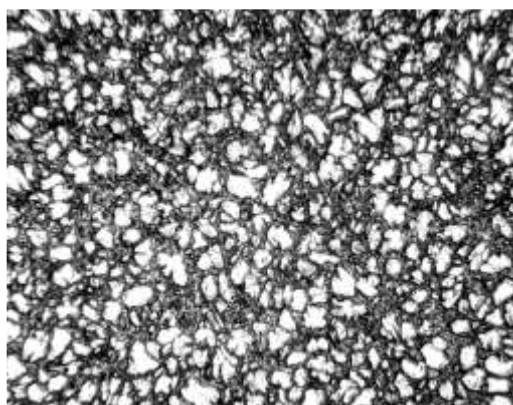
Макроструктура профиля № 4 размером 80x90 мм из сплава МА14гр.



x1

Рис.3.10

Микроструктура прессованных изделий из сплава МА14гр (второй опыт)

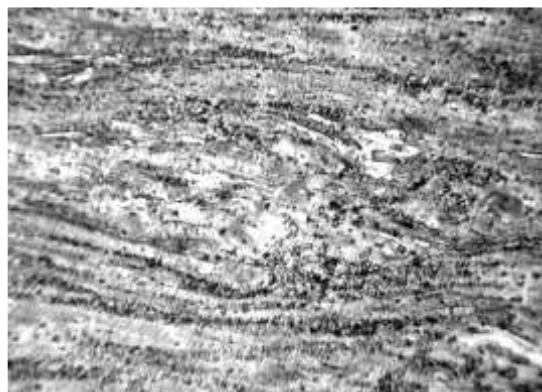


x100

Периферия

Рис. 3.11

Микроструктура прессованных изделий из сплава МА2-1 (второй опыт)



x100

Периферия

Центр

Рис. 3.12

Таблица 3.2

Механические свойства прессованных изделий из сплавов МА2-1гр и МА14гр

Изделие	Сплав	Размер, мм	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относит. удлинение, %	Предел текучести на сжатие, МПа
1	2	3	4	5	6	7
Профиль №4	МА14гр	80x90	328 330	273 275	14,5 16,0	210 205
ГОСТ 19657-84*			315	245	6,0	-
Профиль №5	МА2-1гр	80x90	306	228	16,5	183
			311	231	18,0	188
			308	231	17,0	186
Профиль №1	МА2-1гр	80x90	312	248	11,5	174
Профиль №3	МА2-1гр	80x90	311	294	8,5	114
			312	293	11,5	
ГОСТ 19657-84			255	145	8,0	

*Механические свойства профиля №2 из сплава МА14гр. не были получены из-за разрушения образцов в процессе изготовления.

Заказчик предъявлял следующие требования к механическим свойствам прессованных полуфабрикатов.

Таблица 3.3

Желательный уровень механических свойств

Изделие	Сплав	Размер, мм	Предел прочности, МПа (кгс/мм ²)	Предел текучести, МПа (кгс/мм ²)	Относит. удлинение, %	Предел текучести на сжатие, МПа (кгс/мм ²)
1	2	3	4	5	6	7
Полоса	МА14гр	Фактически полученные				
Полоса	МА2-1гр	80x90	245 (25)	176,4 (18)	6	117,6 (12)

Как видно из табл. 3.3, механические свойства полученных полуфабрикатов удовлетворяют требованиям заказчика.

ВЫВОДЫ

1. Механические свойства партии полученных полуфабрикатов соответствуют требуемому заказчиком уровню и превосходят серийную прессованную продукцию, изготовленную из литой заготовки.

2. Прессованные полуфабрикаты, полученные с коэффициентом вытяжки не менее 10, могут являться промежуточной заготовкой для последующей штамповки.

3. Производство изделий по данной технологии трудоемко и имеет ряд недостатков, однако дальнейшая доработка технологического процесса, оснащение специальным оборудованием (вакуумной печью для дегазации и гидростатом), позволит значительно повысить выход годного, улучшить качество и полностью отказаться от использования алюминиевых гильз.

Список используемой литературы

1. Kawala R. и др. Magnesium ein wichtiger Werkstoff der Zukunft // Конференция "MEFORM 2003".
2. Кулинский А. И. Высокоскоростная кристаллизация металла в магнитном поле — основа создания высокопрочных магниевых сплавов // Состояние и проблемы производства магния и магниевых сплавов в России. — Березники, 2002.
3. Бондарев Б. И. Плавка и литье магниевых деформируемых сплавов. — М.: Metallurgia, 1973. - С. 73-130.
4. Магниевые сплавы для производства полуфабрикатов. — М.: ВИЛС, 1987. — С. 22-34, 53-57.
5. Бондарев Б. И. // Технология легких сплавов. 1999. № 1,2. С. 9-11.
6. Корнеев Н.И., Скугареев И.Г. Основы физико-химической теории обработки металлов давлением. Машгиз, 1960.
7. Modern Metals, 1957, May, p. 108.
8. C l e m e n s J.J. Precision Metal Molding, 1962, IV, p. 46.
9. W i e d m a n n P. Z. Metallkunde, 1964, Bd 55, № 10, S. 574.
10. Портной К. И., Лебедев А. А. Магниевые сплавы, Справочник. Metallurgizdat, 1952.
11. R o b e r t s C. S. Magnesium and its Alloys, N. Y. 1960.
12. Губкин С.И. и др. Пластическая деформация магниевых сплавов. Изд. АН СССР, 1955.
13. Сборник «Деформируемость металлов». Metallurgizdat, 1953
14. Б о б р о в В. А. Труды НИИСАлюминия № 1-2, 1932, с. 63; № 3, 1933, с. 31—50.
15. К о л п а ш н и к о в А. И. Цветные металлы, 1960, № 2, с. 72—74.
16. W i l k i n s o n R. G., F o x F. A. The Journal of the Institute of Metals, 1228, 1950, Jan., p. 473.
17. Могучий Л.Н. Вестник машиностроения, 1952, №1, с.46

18. Могучий Л. Н. Сборник статей «Обработка цветных металлов и сплавов». Metallurgizdat, 1953.
19. Busk R. S. Light Metals, 1960, July, p. 266.
20. Порошковые материалы. Киев, 1983, ИПМ АН УССР, с. 43—51.
21. Радомысельский И. Д., Щербань Н. И., Скальчук А. А.—В кн.: Спеченные конструкционные материалы. Киев: ИПМ АН УССР, 1974, с. 177—187.
22. Щербань Н. И., Скальчук А. А., Сахненко А. В.—В кн.: Спеченные конструкционные материалы. Киев: ИПМ АН УССР, 1976, с. 108—112.
23. Иванов В. Е., Зеленский В. Ф., Фейфер С. И. и др.—Порошковая металлургия, 1965, № 5, с. 46—53.
24. Зеленский В. Ф., Савченко В. И., Бовкуненко А. С.—Порошковая металлургия, 1974, № 6, с. 90—95.
25. Методы анализа поверхностей. Ред. А. Зандерна. М.: Мир. 1979, 582 с.
26. Lea C, Molinarv C,—J. of Materials Science, 1984, v. 18, № 7, p. 2336.
27. Werner H. W.,—Vacuum, 1974, v. 24, № 10, p. 493.
28. Нефедов В. И., Гати Д., Джуринский Б. Ф., Сергушин Н. П., Салынь Я. В. — Ж. неорган. химии, 1975, 20, вып. 9, с. 2307.
29. Кулешов Ю. Г. Технология легких сплавов, 1981, № 3, с. 3—5.
30. Добаткин В. И., Елагин В. И. Гранулируемые алюминиевые сплавы, М., Металлы, 1981, с. 51.
31. Геворкян А.М., Карасева А.А., Иванов А.П. и др. Экономика и организация производства в дипломных проектах по технологическим специальностям. – М.: Высшая школа, 1982 г.
32. Юдген Е.Я., Белов С.В. Охрана труда в промышленности: Высшая школа, 1983г.
33. Белов С.В. Охрана окружающей среды: Высшая школа, 1983г.

- 34.ГОСТ 12.0.002-80 Система стандартов безопасности труда. Трмины и определения: Издательство стандартов, 1984г., с.7
- 35.ГОСТ 12.0.003-74 Опасные и вредные производственные факторы: Издательство стандартов, 1984г., с.4
- 36.ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны: Издательство стандартов, 1988г., с.76
- 37.ГОСТ 12.1.033 Пожарная безопасность: издательство стандартов, 1984г., с.9
- 38.ГОСТ 12.1.038-82 Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов: Издательство стандартов, 1984г., с.11