

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева

МАГНИЕВЫЕ СПЛАВЫ

Куйбышев 1990

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева

МАТРИЦЕВЫЕ СПЛАВЫ

Методическая разработка

Куйбышев 1990

Составитель В.С.Уварова

УДК 669.715:621.745(03)

Магниеые сплавы: Метод. разработка /Куйбышев. авиац. ин-т; Сост. В.С.Уварова.
Куйбышев, 1990. 56 с.

Систематизированы данные по классификации, применению различных групп магниевых сплавов, химическому составу, термической обработке и свойствам при комнатной и повышенной температурах.

Разработка предназначена для студентов механических и металлургических специальностей авиационного профиля при выполнении дипломных и курсовых проектов, домашних заданий, практических занятий, а также может быть полезна инженерно-техническим работникам. Работа выполнена на кафедре "Технология металлов и авиаматериаловедения".

Печатается по решению редакционно-издательского совета Куйбышевского ордена Трудового Красного Знамени авиационного института

Рецензенты: доц. В.Ю.Ненашев,
доц. М.А.Петровичев

1. ДЕФОРМИРУЕМЫЕ МАГНИЕВЫЕ СПЛАВЫ

1.1. Применение магниевых сплавов в авиа- и двигателестроении

В конструкциях современных самолетов, вертолетов и их двигателей широкое применение находят детали и узлы из легких магниевых сплавов. Магниевые сплавы при высоких значениях удельной прочности, способности поглощать энергию ударов и вибрационных колебаний, значительной удельной теплоемкости позволяют снижать вес слабо- и средненагруженных авиационных конструкций (например, барабанов колес шасси, штурвалов, качалок, колонок, педалей управления, дверей кабин, корпусов приборов, арматуры топливной системы и т.д.).

Легирование магниевых сплавов торием и цезием позволило применять их в ракетной технике для производства корпусов ракет, обтекателей, топливных баков, стабилизаторов и др.

Практически полное отсутствие взаимодействия магниевых сплавов с ураном обусловило применение их и в атомной технике.

Перспективными для современного машиностроения являются сплавы типа "магний-титан" с повышенными характеристиками прочности и пластичности, "сверхлегкие сплавы "магний-литий", высокопрочные композиционные материалы на основе магния с волокнами бора и углерода.

Современное металлургическое производство позволяет получать из магниевых сплавов изделия методами фасонного литья и пластической деформации. Последние носят название деформируемых сплавов. Область применения деформируемых сплавов приведена в табл. 1.1, а литейных - в табл. 2.2.

Существенного повышения прочностных свойств и коррозионной стойкости добиваются путем использования магниевых сплавов повышенной чистоты (особенно по меди, никелю и железу) и антикоррозионных покрытий.

Т а б л и ц а 1.1

Марка сплава	Предельные температуры, °С, деталей, работающих в условиях нагрева, до		Область применения
	длитель-но	кратко-времен-но	
МА1	150	200	Листы для сварных деталей арматуры топливной системы; профили, трубы и штамповки несложной конфигурации, не несущие значительных нагрузок
МА8	200	250	Плиты для панелей самолетов, листы обшивки внутреннего набора; штамповки сложной конфигурации, профили и трубы для арматуры топливной и маслосистем, т.е. все виды деформируемых полуфабрикатов для деталей средней прочности
МА2	150	200	Прессованные профили, кованные и штампованные детали сложной формы, работающие в условиях средних нагрузок
МА2-1 МА2-1 пч	150	200	Все виды деформированных полуфабрикатов (листы, прутки, поковки и штамповки), используемые для изготовления деталей сложной формы: створки, люки, сиденья, детали внутреннего набора самолетов и вертолетов
МА20 (ВМД8)	150	200	Сварные детали сложной геометрической формы, штампованные детали усложненной формы из листа. Обладают повышенной пластичностью, прокатываются в листы рулонной прокаткой
МА5 МА3	150	200	Прессованные профили, штамповки и поковки нагруженных деталей авиационного наз-

Марка сплава	Пределные температуры, °С, деталей, работающих в условиях нагрева, до		Область применения
	длительно	кратковременно	
МА15 (ВМДЗ)	150	200	начения средней геометрической сложности. Свободная ковка не рекомендуется
МА14 (ВМ65-I)	125	150-200	Сварные и штамповарные конструкции из листа
МА19 (ВМД6)	150	200	Крупногабаритные (несварные) нагруженные детали авиационного назначения сложных геометрических форм из прессованных полуфабрикатов, поковок, штамповок и полос
МА11	250	300-350	Высокопрочный деформируемый сплав для изготовления несварных высоконагруженных деталей конструкций самолетов из прессованных полуфабрикатов, поковок и штамповок
МА12	200	250	Детали самолетов, работающие при повышенных температурах, из прессованных полуфабрикатов, штамповок и листов
МА18 (ВМД5)	20° и ниже	-	Уступает по жаропрочности сплаву МА11, применение аналогичное сплаву МА11
			"Сверхлегкий" сплав, для изготовления слабнонагруженных деталей приборов и аппаратуры, требующих высокой удельной жесткости и работающих при низких температурах

Марка сплава	Предельные температуры, °С, деталей, работающих в условиях нагрева, до		Область применения
	длитель-но	кратко-времен-но	
МА17	-	-	Используется как материал со специальными физическими свойствами для изготовления звукопроводов ультразвуковых линий задержки и при создании конструкций с высоким поглощением механических вибраций

I.2. Маркировка и химический состав деформируемых магниевых сплавов

Маркировка магниевых сплавов не связана с химическим составом. Всем сплавам присваивается буква М. После нее в деформируемых сплавах ставится буква А, а в литейных сплавах - Л. Цифры после букв означают условный номер сплава. Далее следуют условные обозначения термической обработки и состояния поставки.

Условные обозначения состояния поставки материала полуфабрикатов из магниевых сплавов по ГОСТ 22635-74 и ГОСТ 2856-79 приведены в табл. I.2.

Т а б л и ц а I.2

Состояние поставки материала полуфабриката	Условные обозначения
Отожженный (мягкий)	М
Отжиг неполный	Н
Материал полунатертованный (низкотемпературный отжиг после деформации)	Н2
Сплавы общего назначения	ОН
Сплав повышенной чистоты (получаемый на основе чистейшего магния, легированного чистейшими металлами)	ПЧ

Состояние поставки материала полуфабриката	Условные обозначения
Высокая точность изготовления полуфабрикатов	В
Повышенная точность изготовления полуфабрикатов	П
Полуфабрикат немерной длины	НД
Полуфабрикат кратной длины	КД

Для производства сплавов в качестве основы используется первичный магний.

Химический состав магния по ГОСТ 804-72 приведен в табл. I.3.

Т а б л и ц а I.3

Марка магния		Химический состав, %							
по ГОСТ 804-72	по СТСЭВ I268-78	Магний, не более	Примеси, не более					Св и К (каждого)	Σ регламентированных примесей
			Fe	Ni	Cu	Na			
Mг96	-	99,96	0,004	0,002	0,002	0,01	0,03	0,04	
Mг95	99,95	99,95	0,004	0,0007	0,003	0,005	< 0,005	0,05	
Mг90	99,90	99,90	0,004	0,001	0,004	0,001	< 0,005	0,1	

П р и м е ч а н и е. Настоящий стандарт распространяется на первичный магний в чушках, предназначенный для перелива в слитки, производства сплавов, для экспорта и устанавливает требования к магнию высшей категории.

Химический состав промышленных деформируемых магниевых сплавов приведен в табл. I.4 (ГОСТ I4957-76, ОСТ I 90I69-75).

Следует отметить, что химические элементы могут выступать в роли легирующих добавок (*Al, Mn, Zn, Nd, Cd, La, Li, B, Ti, Ag, Zn, Th, It, Ce...*) и примесей (*Ni, Fe, Cu, Si, O, N, Be, Ca, K, Na, Cl*).

Марка сплава	Информация об образце сплава	Основные компоненты, %				Примеси, % не более				
		Al	Mn	Zn	Zr	Прочие компоненты	Cu	Ni	Fe	Прочие примеси
MA1	2311	-	I,3-I,5	-	-	-	0,05	0,007	0,05	0,702
MA2	2321	3,0-4,0	0,15-0,5	0,2-0,8	-	-	0,05	0,005	0,05	0,402
MA2-ITч	2325	3,8-5,0	0,2-0,6	0,8-I,5	-	-	0,01	0,001	0,005	0,112
MA2-I	2323	3,8-5,0	0,3-0,7	0,8-I,5	-	-	0,05	0,004	0,04	0,402
MA5	2351	7,8-9,2	0,15-0,5	0,2-0,8	-	-	0,05	0,005	0,05	0,402
MA8	2361	-	I,3-2,2	-	-	-	0,05	0,007	0,05	0,802
MA8ITч	2365	-	I,0-I,5	-	-	-	0,01	0,002	0,01	0,190
MA11	2371	-	I,5-2,5	-	-	-	0,03	-	0,03	0,702
MA14	2374	-	-	5,0-6,0	0,3-0,9	-	0,05	0,005	0,03	0,502
MA15	2375	-	-	2,5-3,5	0,45-0,9	-	0,03	0,005	0,03	0,502
MA17	2377	-	0,2-0,7	-	-	-	0,05	0,005	0,05	0,552
MA19 (BM/DG)	2379	-	-	5,5-7,0	0,5-0,9	-	0,05	0,005	0,05	0,502
MA20 (BM/D8)	2381	-	-	I,0-I,5	0,05-0,12	-	0,03	0,005	0,04	0,412
MA12	-	-	-	-	0,3-0,8	-	0,05	0,005	0,05	0,702
MA18 (BM/D5)	-	0,5-1,0	0,1-0,4	2,0-2,5	-	-	0,05	0,005	0,05	0,467

Марка сплава	Цифровое обозначение сплава	Основные компоненты, %				Примеси, % не более				
		Al	Mn	Zn	Zr	Сш	Ni	Fe	Прочие примеси	
МА21 (УМВ2)	-	4,3-5,3	0,0-0,1	0-3,0	-	Cd=4,0-5,0 Ce=0,0-0,15 Zr=7,5-9,0	0,01	0,005	0,03	0,405
МА3	-	5,5-7,0	0,15-0,5	0,5-1,5	-	-	0,05	0,005	0,05	0,502

Примечания: I. Магний — основа сплавов.

2. Настоящие стандарты распространяются на магнелие деформируемые сплавы, предназначенные для изготовления полуфабрикатов (листов, плит, прутков, профилей, полос, труб, проволоки, поковок и штамповок) методом горячей деформации, а также слитков и слэбов.

1.3. Классификация и сравнительная оценка свойств магниевых сплавов

В основу классификации положена группировка сплавов по их прочностным показателям, способности длительно работать при повышенных температурах, наличию специальных свойств. Каждая группа сплавов может быть оценена комплексом присущих им свойств с точки зрения пластичности при горячей деформации, свариваемости, коррозионной стойкости и т.д. (табл. I.5).

Т а б л и ц а I.5

Группа сплавов и прочность, МПа	Марка сплава и его плотность, г/см ³	Система сплава	Пластичность в интервале температур горячей деформации	Коррозионная стойкость сплава	Склонность к коррозионному растрескиванию под напряжением	Свариваемость сплава
I. Невысокой прочности $\sigma_B = 170-230$	MA1 $\rho = 1,76$	Mg-Mn	Высокая	Несколько повышенная	Не склонен	Аргондуговая сварка
II. Средней прочности $\sigma_B = 230-250$	MA8 MA8пч $\rho = 1,78$	Mg-Mn	Высокая	Несколько повышенная	Не склонен	Аргондуговая сварка
	MA2 $\rho = 1,78$	Mg-Al-Zn-Mn	Высокая	Удовлетворительная	Небольшая	Аргондуговая сварка, контактная сварка
	MA20 $\rho = 1,76$	Mg-Zn-Zr	Высокая	Удовлетворительная	Не склонен	Высокая свариваемость
III. Высокой прочности $\sigma_B = 260-340$	MA19 $\rho = 1,81$	Mg-Zn-Zr-Nd	Пониженная	Удовлетворительная	Незначительная	Контактная
	MA2-I MA2-Iпч $\rho = 1,79$	Mg-Al-Zn-Mn	Удовлетворительная	Удовлетворительная, у MA2-Iпч выше	Более склонен, чем MA2	Аргондуговая сварка

Группа сплавов и прочность, МПа	Марка сплава и его плотность, г/см ³	Система сплава	Пластичность в интервале температур горячей деформации	Коррозионная стойкость сплава	Склонность к коррозионному растрескиванию под напряжением	Свариваемость сплава
III. Высокой прочности $\sigma_b = 260-340$	MA3 $\rho = 1,82$	Mg-Al- -Zn-Mn	Удовлетворительная	Удовлетворительная	Более склонен, чем MA2, MA2-I	Пониженная
	MA5 $\rho = 1,82$	Mg-Al- -Zn-Mn	Удовлетворительная	Удовлетворительная	Повышенная	Пониженная
	MA14 $\rho = 1,8$	Mg-Zn- -Zr	Удовлетворительная	Удовлетворительная	Незначительная	Контактная сварка
	MA15 $\rho = 1,83$	Mg-Zn- -Zr-(Cd- -La)	Высокая, но ниже, чем в группе II	Удовлетворительная	Незначительная	Аргонодуговая и контактная сварка
IV. Жаропрочные сплавы (длительно работают при $t = 200-250^\circ\text{C}$)	MA11 $\rho = 1,77$	Mg-Mn- -Nd	Удовлетворительная	Пониженная	Не склонен	Хорошая контактная сварка, хуже аргонодуговая
	MA12 $\rho = 1,78$	Mg-Zn- -Nd	Высокая	Удовлетворительная	Не склонен	Хорошая аргонодуговая сварка
V. Сверхлегкие сплавы $\sigma_b = 180-240$	MA18 $\rho = 1,48$ -1,5 (с β -фазой)	Mg-Li (10-15%) Li	Высокая пластичность при 20°C и ниже	Удовлетворительная	Не склонен	Хорошая аргонодуговая сварка
	MA21 $\rho = 1,6$ (с $[\alpha+\beta]$ -фазой)	Mg-Li (7,5-9%) Li	Высокая	Удовлетворительная	Не склонен	Аргонодуговая сварка
VI. Сплавы со специальными свойствами $\sigma_b = 190-210$	MA17 $\rho = 1,754$ -1,763	Mg-Mn-Ce	Пластичен	-	-	-

1.4. Основные виды и режимы термической обработки магниевых сплавов

Полуфабрикаты из магниевых сплавов подвергаются отжигу, закалке и старению. Для сплавов МА1, МА2, МА2-1, МА3, МА8, МА15, МА20, МА21 основным видом термообработки является отжиг. Сплавы МА5, МА11, МА12, МА14 подвергаются закалке и старению.

Наиболее распространенными видами отжига являются:

1. Гомогенизация (диффузионный отжиг) служит для повышения технологичности при горячей обработке давлением. Часто диффузионный отжиг совмещают с нагревом для горячей обработки давлением.

2. Рекристаллизационный отжиг применяют для снятия наклепа (нагартовки) и существенного уменьшения различия свойств (анизотропии) в деформированных полуфабрикатах.

3. Отжиг для снятия остаточных напряжений осуществляется при более низких температурах, чем у рекристаллизационного отжига.

Термически упрочняющая обработка включает операции закалки и старения.

Закалка требует длительной выдержки при нагреве, так как при низкой скорости диффузионных процессов растворение вторичных фаз в твердом растворе происходит в течение 16...30 часов. Магниевые сплавы закаливают на воздухе или в кипящей воде.

Искусственное старение при повышенных температурах и длительной выдержке обеспечивает полное упрочнение за счет распада пересыщенного твердого раствора и образования зон Гинье-Престона, метастабильных и стабильных, упрочняющих фаз. Естественного старения в магниевых сплавах не происходит, так как выдержка при комнатной температуре не вызывает никаких изменений структуры и свойств.

Характерной особенностью закалки в кипящей воде является повышение комплекса механических свойств еще на 10...15%.

Основные виды и режимы термической обработки магниевых деформируемых сплавов и их обозначение даны в табл. 1.6 и 1.7.

Т а б л и ц а 1.6

Вид термической обработки	Обозначение вида термич.обр.	Назначение	Примечание
Горячепрессованные полуфабрикаты без термообработки	-	-	Дополнительные знаки в марке сплавов отсутствуют
Искусственное старение	T1	Для повышения прочности	Более резкое охлаждение полуфабрикатов при обработке давлением может улучшить эффект последующего искусственного старения
Отжиг	T2	Для снятия наклепа	Температура отжига и время выдержки определяются требуемым уровнем прочности и пластичности
Закалка	T4	Для повышения прочностных характеристик	Температура закалки и время выдержки должны обеспечивать максимальное насыщение твердого раствора
Закалка и искусственное старение	T6	Для получения максимальной прочности при некотором снижении пластичности	Максимальные прочностные свойства получаются при более полном распаде твердого раствора без укрупнения частиц упрочняющих фаз
Закалка и частичное старение	T5	Повышает механические свойства	Для поковок и штамповок режим термической обработки T5 может быть заменен на T1
Закалка с последующей нагартовкой и искусственное старение	T8	Повышает механические свойства	

Марка сплава	Полуфабрикаты	Основание и наименование обработки	Режимы термической обработки													
			Отжиг			Закалка			Старение							
			$t, ^\circ\text{C}$	$\tau, \text{час}$	охлаждающая среда	$t, ^\circ\text{C}$	$\tau, \text{час}$	охлаждающая среда	$t, ^\circ\text{C}$	$\tau, \text{час}$	охлаждающая среда					
МА1М	Листы	T2	320-350	0,5	Воздух	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
МА2М	Профили, поковки, штамповки	T2	350-400	3-5	Воздух	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
МА2-1М	Листы	T2	250-280	0,5	Воздух	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
МА2-1Мпч	После обработки давлением, для снятия напряжений после сварки	T2	250-350	0,5-2	Воздух	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
МА2-1Н	Лист	T2 (неполный)	150-200	0,1	Воздух	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
МА5	Прессуемые полуфабрикаты, поковки, штамповки	T2	350-380	2-8	Воздух	-	-	-	-	-	-	175-200	8-16	-	Воздух	
		T1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		T4	-	-	-	-	410-425	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		T6	-	-	-	-	410-425	-	-	-	-	-	175-200	8-16	-	Воздух
МА8М	Листы, трубы	T2	320-350 ⁰	0,5	Воздух	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Марка сплава	Получающиеся листы	Обозначение листа термической обработки	Режимы термической обработки						Старение				
			Отжиг			Закалка			t, °C	τ, часы	Охлаждающая среда		
			t, °C	τ, часы	Охлаждающая среда	t, °C	τ, часы	Охлаждающая среда					
MA8	Сварное соединение	T2	250-280	0,5	Воздух	-	-	-	-	-	-	Охлаждающая среда	
MA8H	Листы	T2 (неполный)	260-290	0,5	Воздух	-	-	-	-	-	-	-	
MA11	Прессованные полуфабрикаты, поковки, штамповки	T2	350	1,0	Воздух	-	-	-	-	-	-	-	
		T4	-	-	-	475-490	4,0	Воздух	-	-	-	-	-
		T6	-	-	-	480-500	4,0	Струя воздуха или холодная вода	170-180	24,0	Воздух	-	-
MA12	То же и листы	T6	-	-	-	530-540	1-4	Струя воздуха или горячая вода (60-80°)	195-205	16,0	Воздух	-	
MA14 (BM65-I)	Прессованные полуфабрикаты, штамповки	T1	-	-	-	-	-	-	-	165-175	10-24	Воздух	-
		T4	-	-	-	410-425	2-4	Воздух	-	-	-	-	-
		T6	-	-	-	410-425	2-4	Воздух	170-180	10-16	Воздух	-	-
MA15M (BM13)	Листы, трубы	T2	260-270	0,5	Воздух	-	-	-	-	-	-	-	

Марка сплава	Полуфабрикаты	Обозначение вида термической обработки	Режимы термической обработки									
			Отжиг		Закалка		Старение					
			$t, ^\circ\text{C}$	$t, \text{часы}$	охлаждающая среда	$t, ^\circ\text{C}$	$t, \text{часы}$	охлаждающая среда	$t, ^\circ\text{C}$	$t, \text{часы}$	охлаждающая среда	
МА18М (ВМД5)	Листы, прутки	T2	145-155	4-16	Воздух	-	-	-	-	-	-	-
МА20М (ВМД8)	То же	T2	255-265	1,0	Воздух	-	-	-	-	-	-	-
МА21М (ЛМБ2)		T2	150-175	6-16	Воздух	-	-	-	-	-	-	-
МАЗМ	Поковки, штамповки	T2	320-380	2-6	Воздух	-	-	-	-	-	-	-

Примечания: 1. Для листов из сплава марки МАЗМ отжиг при $t = 260-290^\circ\text{C}$ применяют, если требуется получить более высокие значения σ_B и σ_T . Для получения более высокой пластичности отжиг проводят при температуре $320-350^\circ\text{C}$ (МАЗМ).

2. Применение искусственного старения после закалки или горячей обработки деталей и полуфабрикатов из сплава марки МА5 приводит к повышенным прочностным характеристикам.

3. Полуфабрикаты из сплавов МА20 (кроме листов), МА15 (ВМД3) (кроме листов и труб), прутки, поковки, штамповки из сплава МА19 (ВМД6), горячепрессованные прутки и полосы из сплава МАЗ и горячепрессованные плиты из сплава МА17 используются без термической обработ-

ки.

Примеры условных обозначений полуфабрикатов
из магниевых сплавов в состоянии поставки
(ГОСТ 18351-73, ГОСТ 22635-77, ГОСТ 21990-76, ГОСТ 19441-74)

Полуфабрикат в состоянии поставки	Условное обозначение
Пруток из сплава марки МА5 диаметром 50 мм, закаленный (гомогенный), высокой точности изготовления, длиной 1500 мм	Пруток МА5.Т4.50В×1500 ГОСТ 18351-73
Тот же пруток повышенной точности изготовления, с длиной, кратной 1000 мм	Пруток МА5.Т4.50П×1000КД ГОСТ 18351-73
Тот же пруток нормальной точности изготовления, немерной длины (НД)	Пруток МА5.Т4.50×НД ГОСТ 18351-73
Лист из сплава марки МА8, отожженный, толщиной 1,5 мм, шириной 1200 мм, длиной 3000 мм	Лист МА8.М1,5×1200×3000 ГОСТ 22635-77
Тот же лист, но полунагартованный	Лист МА8.Н2.1,5×1200×3000 ГОСТ 22635-77
Плита из сплава марки МА8 толщиной 20 мм, шириной 1000 мм, длиной 2500 мм	Плита МА8.20×1000×2500 ГОСТ 21990-76
Труба из сплава марки МА8, без термической обработки с наружным диаметром 20 мм, толщиной стенки 2 мм, немерной длины	Труба МА8.20х2×НД ГОСТ 19441-74
Та же труба, в отожженном состоянии, длиной 3000 мм	Труба МА8.М20×2×3000 ГОСТ 19441-74

1.5. Основные физические и технологические свойства магниевых деформируемых сплавов

При расчетах технологических параметров процессов обработки металлов давлением (например, времени нагрева заготовок и т.д.) необходимо использовать физические характеристики, температурный интервал деформации сплавов. Отдельные типовые свойства приведены в табл. 1.8.

1.6. Механические свойства магниевых сплавов при обычных и повышенных температурах

В настоящее время деформированные сплавы используются в машиностроении в виде полуфабрикатов, полученных различными способами обработки давлением с разными видами термических операций. Поэтому существующие ГОСТы и ОСТы регламентируют основные механические свойства в зависимости от конкретного состояния полуфабриката (например, прутки горячепрессованный, поковки весом до 50 кг и т.д.).

В табл. 1.9 приведены гарантированные механические свойства полуфабрикатов при комнатной температуре по действующим стандартам (ГОСТ 19657-84, ГОСТ 18351-73, ГОСТ 19657-84, ГОСТ 21990-76, ОСТ 92123-88).

В табл. 1.10 даны свойства полуфабрикатов магниевых сплавов при комнатной и повышенной температурах.

2. ЛИТЕЙНЫЕ МАГНИЕВЫЕ СПЛАВЫ

Химический состав промышленных литейных магниевых сплавов приведен в табл. 2.1 (ГОСТ 2856-79, ОСТ 90168-75). Область применения литейных магниевых сплавов указана в табл. 2.2 [1-7].

Марка стали	Температура начала деформации, $t_{\text{деф}}$, °C	Температура возможного повторения, $t_{\text{повт}}$, °C	Удельная теплоемкость c , кДж/кг·град	Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/м·град	Температурный интервал горячей деформации, $t_{\text{гд}}$, °C							
					Пресование	Прокатка		Штамповка		Ковка		
						шлит	лист	на холоде	на прессе	на холоде	на прессе	на холоде
МА1	-	530	$I, I(100^{\circ}\text{C})$ $I, I7(400^{\circ}\text{C})$	$I26(25^{\circ}\text{C})$ $I34(300^{\circ}\text{C})$	380-420	430-480	350-450	300-450	280-350	-	-	-
МА2	615	450	$I, I3(100^{\circ}\text{C})$ $I, I26(400^{\circ}\text{C})$	$96,4(20^{\circ}\text{C})$ $I13(400^{\circ}\text{C})$	380-420	-	340-430	320-420	-	350-400	350-400	350-400
МА2-1 МА2-1Пч	615	450	$I, I09(100^{\circ}\text{C})$ $I, I26(400^{\circ}\text{C})$	$83,8(25^{\circ}\text{C})$ $I05(400^{\circ}\text{C})$	320-380	400-430	350-420	300-420	300-250	300-420	300-420	350-420
МА3	600	430	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
МА5	600	430	$I, I3(100^{\circ}\text{C})$ $I, I3(400^{\circ}\text{C})$	$58,7(25^{\circ}\text{C})$	320-360	-	300-380	300-380	-	300-380	300-380	-
МА8М МА8Н	618	530	$I, I05(100^{\circ}\text{C})$ $I, I26(400^{\circ}\text{C})$	$I26(20^{\circ}\text{C})$ $I38(400^{\circ}\text{C})$	380-420	430-480	350-450	300-450	280-350	280-350	280-350	-
МА14	649	450	$I, I03(20^{\circ}\text{C})$ $I, I6(350^{\circ}\text{C})$	$I17(25^{\circ}\text{C})$ $I26(400^{\circ}\text{C})$	300-350	-	280-400	280-400	-	280-420	280-420	320-420
МА15	627	-	$I, I0(100^{\circ}\text{C})$ $I, I9(400^{\circ}\text{C})$	$I13(20^{\circ}\text{C})$ $I29(400^{\circ}\text{C})$	300-360	370-400	350-380	300-360	-	250-360	-	360-390
МА18	559	-	$I, I34(100^{\circ}\text{C})$ $I, I63(300^{\circ}\text{C})$	$58,6(25^{\circ}\text{C})$ $58,6(300^{\circ}\text{C})$	220-250	210-260	-	-	-	-	-	-
МА11	-	500	$0,963(100^{\circ}\text{C})$ $I, I3(400^{\circ}\text{C})$	$I09(25^{\circ}\text{C})$ $I17(400^{\circ}\text{C})$	410-430	-	-	380-480	-	380-480	380-480	-
МА12	-	550	$I, I1(100^{\circ}\text{C})$ $I, I34(400^{\circ}\text{C})$	$I05(100^{\circ}\text{C})$ $I17(400^{\circ}\text{C})$	420-450	380-480	-	350-480	-	350-480	380-480	-
МА20	-	-	$0,963(100^{\circ}\text{C})$ $I, I21(300^{\circ}\text{C})$	$I36(25^{\circ}\text{C})$	340-390	350-390	-	-	150-250	-	-	-

Марка стали	Температура начала плавления (T _с), t, °C	Температура возгорания t, °C	Удельная теплоемкость c, кДж/кг·град	Коэффициент теплопроводности $\frac{Вт}{м \cdot град}$	Температурный интервал горячей штамповки, t, °C							
					Прессование	Прокатка		Штамповка			Ковка	
						плит	лист	на холоде	на прессе	на листов	на прессе	на холоде
МА19	-	-	I,0(100°С) I,2I(400°С)	I19(25°С) I26(400°С)	320-360	-	-	320-380	-	-	340-400	-

Примечание. Перед прессованием сплавы МА1 и МА8 гомогенизируют (t = 490°С, t = 12 часов)

Таблица I.9

Марка сплава	Вид полуфабриката	Состояние поставки полуфабриката	Механические свойства (не менее)				
			$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа		σ_s , %	
				при растяжении	при сжатии		
МА1	<u>Прутки</u> диаметром, мм от 8 до 100 от 100 до 160 от 160 до 200	Горяче-прессованные	196	-	-	20	
			176	-	-	2,0	
			167	-	-	2,0	
	<u>Полосы</u> площадь сечением, см ² до 12 от 12 до 130	Без термообработки	216	98	59	2,0	
			196	98	59	2,0	
			216	-	-	2,0	
	МА2	<u>Прутки</u> диаметром, мм 8-100 100-160 160-200	Без термообработки	245	127	-	6,0
				245	127	-	5,0
				216	-	-	5,0
<u>Профили</u> все размеры			235	-	-	6,0	
			245	-	-	5,0	
			235	-	-	5,0	
МА2-Г, МА2-ГПЧ		<u>Плиты</u> толщиной, мм: 12-20 20-32 32-50	Горячекатаные	245	137	78	7,0
				245	137	78	6,0
				245	-	-	6,0

Марка сплава	Вид полуфабриката	Состояние поставки полуфабриката	Механические свойства (не менее)			
			$\sigma_{p, MПа}$	$\sigma_{0.2}$, МПа		$\delta, \%$
				при растяжении	при сжатии	
МА2-1, МА2-1пч	<u>Профили</u> площадь сечения, см ² до 5	Горячекатане	265	157	-	9,0
	5-12		255	147	-	8,0
	<u>Прутки</u> диаметром, мм					
	8-100		255	147	-	8,0
	100-160		255	147	-	8,0
	160-200		245	-	-	5,0
	<u>Трубы</u> все размеры					
	МА2-1		255	-	-	9,0
	МА2-1пч		225	-	-	8,0
	<u>Листы</u> толщиной, мм					
	менее 8 мм		255	147	-	9,0
	8-10,5		255	147	-	8,0
<u>Штамповки</u> весом, кг:						
до 30	255	-	-	7,0		
30-100	245	-	-	7,0		
более 100	235	-	-	6,0		
МА5	<u>Прутки</u> диаметром, мм:	Закаленные (Т4)				
	5-10		294	186	-	6,0
	100-160		274	176	-	5,0
	160-200	265	-	-	4,0	
	<u>Листы</u> толщиной, мм	Отожженные				
	0,6-2,5		255	157	-	10,0
2,5-10,5	255	147	-	8,0		

Марка сплава	Вид полуфабриката	Состояние поставки полуфабриката	Механические свойства (не менее)			
			$\sigma_{0,2}$ МПа	$\sigma_{0,2}$ при растяжении	МПа при сжатии	$\delta, \%$
МА8	<u>Плиты</u> толщиной, мм	Горячекатаные				
	12-20		245	137	78	8,0
	20-32		245	137	78	8,0
	32-50		225	-	-	6,0
	<u>Листы</u> толщиной, мм	Отожженные				
	а) 0,6-2,5		225	118	-	12,0
	2,5-10,5		216	108	-	10,0
	б) 1,0-1,5		225	147	-	8,0
	1,5-3,0	Полугартованные	216	137	-	6,0
	<u>Профили</u> Все размеры	Без термообработки	206	-	-	10,0
	<u>Прутки</u> диаметром, мм	Без термообработки				
	8-50		216	-	-	4,0
	50-100		206	-	-	3,0
100-160	196		-	-	2,0	
160-200	176		-	-	1,0	
<u>Трубы</u> все размеры	Отожженные	225	-	-	8,0	
МА11	<u>Полосы</u> площадью сечением до 130 см ²	Закаленные и искусственно состаренные	255	127	-	5,0
МА12	<u>Профили</u> все размеры	Без термообработки	235	167	-	5,0

Марка сплава	Вид полуфабриката	Состояние поставки полуфабриката	Механические свойства (не менее)								
			$\sigma_{0.2}$ МПа	$\sigma_{0.2}$ при растяжении	МПа при сжатии	$\delta, \%$					
МА14	<u>Профили</u> все размеры	Искусственно состаренные	314	245	-	6,0					
	<u>Прутки</u> диаметром, мм:	Искусственно состаренные	314 304 265	245 235 176	-	6,0 6,0 6,0					
	8-100										
	100-160										
	160-200	Искусственно состаренные	294 274 265	-	-	7,0 7,0 6,0					
	<u>Штамповки</u> весом, кг:										
	а) до 30										
	30-100										
	более 100										
	б) до 30						Без термообработки	274 265 255	-	-	8,0 8,0 7,0
	30-100										
	более 100										
МА15	<u>Прутки</u> диаметром, мм	Без термообработки	274 294 284 274	216 235 216 -	-	6,0 6,0 5,0 5,0					
	8-50										
	50-100										
	100-160										
	160-200	Без термообработки	284	216	137	6,0					
	<u>Полосы</u> площадь сечением до 130 см ²										
	<u>Листы</u> толщиной, мм										
	0,8-2,0						Отожженные	255 255 245	176 176 167	-	6,0 4,0 4,0
	2,0-3,5										
	3,5-10,0										

Таблица I.10

Марка оливка	Вид полу- фабриката	Режим тер- мообработ- ки	Температу- ра нагрева в °С	Мощность установ- ки в кВт	Мо- дель двигате- ля в кВт	Коэффи- циент исполь- зации	Сред- нее давление в МПа	Механические свойства						δ, %	σ ₋₁ МПа	σ ₋₁ кгс/мм ²	σ ₋₁ кгс/мм ²	δ, %	ψ, %	А _{ср} кгс/мм ²	
								σ _{0,2}	σ ₁₀₀	σ _{2/100}	σ ₋₁	σ ₋₁	σ ₋₁								
																					МПа (кгс/мм ²)
МА8	Листы	Т2	20	41000	13900	0,34		265(27,0)	195(20)	-	69(7,0)	-	II	28	-	-	-	-	-	-	
			150				157(16,0)	78(8,0)	I08(II)	-	-	-	-	32	-	-	-	-	-	-	
			200				137(14,0)	69(7,0)	49(5,0)	-	-	-	-	34	-	-	-	-	-	-	
			250				118(12,0)	59(6,0)	19,6(2)	-	-	-	-	36	-	-	-	-	-	-	
МА8	Прутки	Горяче- прессо- ваные	20	41000	-	-		255(26,0)	147(15)	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	I	
			150				147(15,0)	78(8)	I10(12)	-	-	-	-	30	-	-	-	-	-	-	
			200	41000			127(13,0)	69(7)	74(7,5)	-	-	-	-	34	-	-	-	-	-	-	
			250				108(11,0)	49(5)	49(5)	-	-	12,7(1,3)	-	29	-	-	-	-	-	-	
МА2-1	Полоса сеч. до 10 см ²	Без т/о	20	41000				216(22,0)	157(16)	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	
			20	41000			216(22,0)			-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	
			20	41000			16000	0,3													I
			20	41000			274(28,0)		157(16)					10							-
МА2-1	Полоса сечением до 130 см ²	Т2	20	42500	16000																
			20	42500	16000																

Марка сплава	Тип полуфабриката	Режим термобработки	Температура испытания, °С	Модуль упругости E, МПа	Модуль сдвига G, МПа	Крефт. Цвасона Z	Механические свойства						δ ₅ %	δ ₁₀ %	Д _н кл.м.м / СЧЗ	
							σ _в	σ _{0,2}	σ ₁₀₀	σ ₂₀₀	σ ₁₀₀₀	σ _т				σ _т
МА2-1	Листа ГОСТ 12-32М	Без т/о	20	42000	16000		98(10)** 49(5)	69(7)** 24,5(2,5)							0,7	
			150													
МА21 (ИМВз)	Листа	Т2	20	42000			274(28)	176(18)					16	0,8		
			150				191(19,5)	98(10)	78(8)	19,6(2)		29				
			200				137(14)	73,5(7,5)	39(4)			30				
			250				88(9)	49(5)				32				
			300				69(7)	39(4)				40				
МА14 (ВМ65-I)	Прут-ки	Горячепрочесован-ные	20	42000			274(28)	176(18)			122,5 (12,5)	73,5 (7,5)	12	0,8		
			20	43000	16000	0,34	324(33)	274(28)			122,5* (12,5)	73,5 (7,5)	9	24	0,9	
			20	43000			314(32)	265(27)			108* (11)	73,5 (7,5)	10	25	0,7	
			150				206(21)						28			
	Листа		200										55			
			250								25,5 (2,5)		60			
			300										65			

Марка сплава	Вид полу- фабриката	Режим тер- мообработ- ки	Температура испытания, °С	Механические свойства										σ _н , % КСМ СМ ²				
				Модуль упругости, ГПа	Модуль сдвига, ГПа	Коэф- фициент Пуассона	σ _в	σ _{0,2}	σ ₁₀₀ *	σ _{0,2/100} **	σ ₋₁ *	σ ₋₁ ^н	σ _н , % КСМ СМ ²					
															МПа (кгс/мм ²)			
МА14	Лист Там- пони ком 50-80кг	Т1	20	43000				314(32)	255(26)							14	0,7- 1,2	
МА18 (ВМ15)	Листок ди- аметром 20 мм	Без т/о	20	48000	15000			274(29)	216(22)							16	2,5 Путьрующее растеже- ние плоских образцов	
								167(17)								66		
								127(13)							59			
МА11	Лист	Т6	20	43000				304(31)	245(25)							12	0,8	
																118 (12)		73,5 (7,5)
																68(7)		49(5)
МА11	Лист	Т6	20	42500				255(26)	127(13)							10	0,35- 0,4	
								196(20)	108(11)							64,7 (6,5)		18
								274(28)	137(14)							78 (8)		49 (5)
МА11	Лист	Т6	20	43000	16000	0,3		216(22)	118(12)	127(13)						10	0,35- 0,4	
								181 (16,5)	98(10)							19,6 (2)		14
																69 (7)		18

Марка сплава	Вид полуфабриката	Режим термообработки	Температура испытания, °С	Модуль упругости Е, МПа	Модуль сдвига G, МПа	Коэффициент Пуассона ν	Механические свойства							ψ , %	Анн., клас. СМ ²	
							σ_B	$\sigma_{0,2}$	σ_{100}	σ_{100}^{*}	σ_{-1}^{*}	σ_{-1}	σ_{-1}^{*}			
																МПа (кгс/мм ²)
МА11	Листки	Т6	300	43000	16000	0,31	137(14)	83,3(8,15)								
							83,3(8,5)	255(26)	167(17)	118(12)	108(11)	83,3(8,5)	69(7)	28		
МА12	Листок до 200 мм диаметр	Т6	250	43000	34000		256(26)	137(14)								
							137(14)	108(11)	78(8)	49(5)	78(8)	49(5)	10			
МА19 (ВМД)	Листок до 200 мм диаметр	Т6	20	42000	42000		333(34)	314(32)								
							382(39)	343(35)	68(7)	49(5)	68(7)	49(5)	8			
МА19 (ВМД)	Листок до 200 мм диаметр	Т6	20	42000	42000		98(10)	98(10)								
							343(35)	343(35)	88(9)	69(7)	88(9)	69(7)	10			

Примечания: 1. σ_{100} - предел прочности за 100 часов. 2. σ_{100}^{*} - предел прочности при остаточной деформации 0,2%. 3. σ_{-1} - предел выносливости при числе циклов $N=2 \times 10^7$. 4. σ_{-1}^{*} - предел выносливости при консольном изгибе вращающегося образца на базе $N=2 \times 10^7$ циклов. 5. σ_{-1}^{*} - предел выносливости при радиальном изгибе вращающегося образца на базе $N=2 \times 10^7$ циклов. 6. σ_{-1}^{*} - предел выносливости при радиальном изгибе вращающегося образца на базе $N=2 \times 10^7$ циклов. 7. σ_{-1}^{*} - предел выносливости при радиальном изгибе вращающегося образца на базе $N=2 \times 10^7$ циклов. 8. σ_{-1}^{*} - предел выносливости при радиальном изгибе вращающегося образца на базе $N=2 \times 10^7$ циклов. 9. σ_{-1}^{*} - предел выносливости при радиальном изгибе вращающегося образца на базе $N=2 \times 10^7$ циклов. 10. σ_{-1}^{*} - предел выносливости при радиальном изгибе вращающегося образца на базе $N=2 \times 10^7$ циклов.

Т а б л и ц а 2.1

Марка сплава	Основные компоненты, %						Прочие компоненты	Примеси, % не более				Прочие примеси
	Al	Mg	Zn	Fe	Zr	Cu		Ni	Fe	Be		
МЛ3	2,5-3,5	0,15-0,5	0,5-1,5	-	-	-	-	0,1	0,06	0,002	0,25	
МЛ4	5,0-7,0	0,15-0,5	2,0-3,5	-	-	-	-	0,1	0,06	0,002	0,25	
МЛ4ЛЧ	5,0-7,0	0,15-0,5	2,0-3,5	-	-	-	-	0,04	0,007	0,002	0,08	
МЛ5	7,5-9,0	0,15-0,5	0,2-0,8	-	-	-	-	0,1	0,06	0,002	0,25	
МЛ5ЛЧ	7,5-9,0	0,15-0,5	0,2-0,8	-	-	-	-	0,04	0,007	0,002	0,08	
МЛ5ОН	7,5-9,0	0,15-0,5	0,2-0,8	-	-	-	-	0,25	0,08	0,002	0,35	
МЛ6	9,0-10,2	0,1-0,5	0,6-1,2	-	-	-	-	0,1	0,06	0,002	0,25	
МЛ8	-	-	5,5-6,6	0,7-1,1	0,4-1,0	0,7-1,1	Сd = 0,2-0,8	0,03	0,01	0,001	0,05	
МЛ9	-	-	-	0,4-1,0	0,4-1,0	0,7-1,1	Sn = 0,2-0,8	0,03	0,01	0,001	0,20	
МЛ10	-	-	0,1-0,7	0,4-1,0	0,4-1,0	0,7-1,1	Nd = 1,9-2,6	0,03	0,01	0,001	0,05	
МЛ11	-	-	0,2-0,7	0,4-1,0	0,4-1,0	0,7-1,1	Nd = 2,2-2,8	0,03	0,02	0,001	0,05	
МЛ12	-	-	4,0-5,0	0,6-1,1	0,6-1,1	0,7-1,1	P3M = 2,5-4,0	0,03	0,01	0,001	0,05	
МЛ15	-	-	4,0-5,0	0,7-1,1	0,7-1,1	0,7-1,1	-	0,03	0,01	-	0,05	
МЛ19 (ВМЛ7)	-	-	0,1-0,6	0,4-1,0	0,4-1,0	0,7-1,1	La = 0,6-1,2	0,03	0,01	0,001	0,06	
МЛ7-1	5,0-6,5	0,3-0,6	0,3-0,7	-	-	-	Nd = 1,6-2,3	0,03	0,01	-	0,7	
МЛ7 (ВМЛ5)	-	-	7,8-9,2	0,7-1,1	0,7-1,1	0,7-1,1	Sn = 1,4-2,2	0,03	0,01	-	0,31	
МЛ18 (ВМЛ6)	-	-	7,0-8,0	0,7-1,1	0,7-1,1	0,7-1,1	Ca = 0,2-0,5 Cd = 0,2-1,2 Nd = 0,03-0,3	0,03	0,01	0,001	0,37	

Т а б л и ц а 2.2

Марка сплава	Пределные температуры, °С, деталей, работающих в условиях нагрева, до		Область применения
	длитель-но	кратко-временно	
МЛЗ	150		Средненагруженные детали простой конфигурации с повышенными требованиями герметичности и сопротивления воздействию ударных нагрузок: детали арматуры и корпусов насосов, педали простой конфигурации
МЛ4 МЛ4пч	150	250	Детали несложной конфигурации, подвергающиеся статическим и динамическим нагрузкам и работающие в условиях высокой коррозионной активности: корпуса приборов и инструментов, штурвалы и другие детали управления летательных аппаратов
МЛ5 МЛ5п4	150	250	Нагруженные и довольно сложные детали самолетов, двигателей, приборов и других конструкций; тормозные барабаны, колодки, штурвалы, качалки, педали, кронштейны, фермы, рамы и т.д. Сплавы могут работать в условиях повышенной влажности, ударных и вибрационных нагрузок
МЛ6	150	250	Целесообразно применять для изготовления высоко- и средненагруженных деталей, требующих повышенного предела текучести: различные корпуса, детали приборов, аппаратуры

Марка сплава	Пределные температуры, °С, деталей, работающих в условиях нагрева, до		Область применения
	длитель-но	кратко-временно	
МЛ8	150	200	Высоконагруженные детали, работающие при ударных нагрузках и часто заменяющие алюминиевые сплавы (АЛ9, АЛ4, АЛ7, АК4, АК6): кронштейны, фермы, детали управления, барабаны колес, реборды, детали приборов и агрегатов
МЛП2	200	250-300	Высоконагруженные детали самолетов с повышенной прочностью и герметичностью, стойкие к динамическим нагрузкам и требующие усталостной прочности: корпусные детали, барабаны, реборды, авиационные колеса и т.д.
МЛП5	200	350	Нагруженные детали сложной конфигурации с повышенной прочностью и герметичностью: детали двигателей, приборов и агрегатов
МЛП0	250	350	Высоконагруженные детали повышенной прочности и жаропрочности, высокой герметичности и стабильности размеров: детали двигателей, приборов, агрегатов, работающие при t до 300°С
МЛП1	250-300	350-400	Средненагруженные детали повышенной герметичности, нагревающиеся при эксплуатации до 250°С, а при комнатной температуре не испытывающие высоких нагрузок: корпуса помп, насосов, детали двигателей и агрегатов, приборов

Марка сплава	Пределные температуры, °С, деталей, работающих в условиях нагрева, до		Область применения
	длительно	кратковременно	
МЛ9 (ВМЛ2)	250-300	350-400	Высоконагруженные, разогревающиеся до 300°С в процессе эксплуатации детали повышенной жаропрочности, герметичности, с пониженной склонностью к образованию трещин: детали двигателей, приборов
МЛ9 (ВМЛ7)	300	400	
МЛ7-1	200		Отливки деталей двигателя средней нагруженности, с повышенными требованиями в отношении герметичности, разогревающиеся в процессе эксплуатации до 200°С. Детали сложной конфигурации отжигаются для снятия внутренних напряжений
МЛ7 (ВМЛ5)	150	200	Сложные фасонные (типа рам) и высоконагруженные детали самолетов, разогревающиеся в процессе эксплуатации до 150-200°С
МЛ8 (ВМЛ6)	150	200	Высоконагруженные литые детали летательных аппаратов. Сплав МЛ8 может использоваться взамен поковок и штамповок из алюминиевых сплавов, а также вместо отливок из высокопрочных алюминиевых сплавов
МЛ20 (ВМЛ9-1)	150	200	Нагруженные детали, разогревающиеся в процессе эксплуатации от 150 до 200°С и работающие во всех климатических условиях

Классификация и сравнительная оценка свойств магниевых литейных сплавов приведена в табл. 2.3 [1-5]. Основные виды способов литья и режимов термической обработки литейных магниевых сплавов даны в табл. 2.4 (ОСТ 90121-74 [1-7]).

Таблица 2.3

Группа сплавов и их прочность, МПа (кгс/мм ²)	Марка сплава и его плотность, г/см ³	Система сплава	Склонность к образованию микро-рыхлостей	Метод литья	Линейная усадка, %	Температура литья, °С	Температурный интервал кристаллизации, °С	Коррозионная стойкость	Термичность	Свариваемость	Температура воспламенения, °С
I. Сплав средней прочности $\sigma_B = 160-180$ (16-18)	МЛ7-1 $\rho = 1,76$	Mg-Al-Zn	Высокая	3	1,2-1,5	720-800	640-505	Удовлетворительная	Выше, чем	Удовлетворительно сваривается аргонодуговой и газовой сваркой	-
II. Высокопрочные сплавы $\sigma_B = 160-250$ (16-25)	МЛ-3 $\rho = 1,78$	Mg-Al-Zn	Низкая	3	1,4-1,6	700-800	628-651	Удовлетворительная (после оксидирования)	Хорошая	-	430
	МЛ4	Mg-Al-Zn	Высокая	3	1,2-1,4	700-800	610-400	Удовлетворительная	Пониженная	Аргонодуговая и газозавая сварка с предварительным подогревом, но хуже, чем у МЛ5	400

Группа сплавов и их прочностные свойства (кгс/мм ²)	Марка сплава и его плотность, г/см ³	Система сплава	Склонность к образованию микро-решлоты	Метод литья	Линейная усадка, %	Температура литья, °С	Температурный интервал кристаллизации, °С	Коррозионная стойкость	Температура	Свариваемость	Температура
П. Высокопрочные сплавы $\sigma_B = 160-250$ (16-25)	МЛ5 $\rho = 1,82$	Мг-Аг-Зп	Средняя	З	1,0-1,2	720-760	600-430	Удовлетворительно	Средняя	Удовлетворительно	430
			Средняя	З	1,0-1,2	720-760	600-430	Удовлетворительно	Средняя	Удовлетворительно	430
	МЛ5пч $\rho = 1,81$	Мг-Аг-Зп	Средняя	З, К, Д	1,0-1,2	720-780	600-430	Повышенная	Средняя	То же	430
			Средняя	В, Г	1,0-1,2	720-760	600-430	Склонность к образованию горячих трещин)	Средняя	То же	430
	МЛ6 $\rho = 1,81$	Мг-Аг-Зп	Средняя	З, К, Д	1,1-1,2	720-780	600-420	Удовлетворительно	Средняя	Аргондуговая сварка (хуже, чем МЛ5)	415
			Средняя	З, К, О	1,3-1,4	720-800	635-535	То же	Средняя	Удовлетворительно	500
	МЛ12 $\rho = 1,81$	Мг-Зп-Зп	Средняя	З, К, В, Г	1,3-1,4	720-800	644-550	То же	Повышенная	Аргондуговая сварка	500
			Средняя	З, К, В, Г	1,3-1,4	720-800	644-550	То же	Повышенная	Аргондуговая сварка	500

Продолжение табл. 2.3

Группа сплавов и их прочность, МПа (кгс/мм ²)	Марка сплава и его плотность, г/см ³	Система сплава	Склонность к образованию микро-рыхлоты	Менод литья	Линейная усадка, %	Температура литья, °С	Температурный интервал кристаллизации, °С	Коррозийная стойкость	Термическая обработка	Свариваемость	Температура расклевки, °С
П. Высокопрочные сплавы $\sigma_B = 160-250$ (16-25)	МЛ15 $\rho = 1,83$	Мg-Zn-Zr	Малая	З, К, В, Г	1, 2-1, 5	720-790	630-539	Повышенная	Повышенная	Удовлетворительная при аргонодуговой сварке	500
	МЛ18 (ВМЛ6) $\rho = 1,83$	Мg-Zn-Zr	Средняя	З, К, О	1, 2-1, 4	720-800	620-415	Пониженная	Повышенная	То же	-
	МЛ17 (ВМЛ5) $\rho = 1,89$	Мg-Zn-Zr-Nd	Средняя	З	1, 2-1, 4	720-800	625-460	Удовлетворительная, но ниже, чем у МЛ5	Повышенная	" "	-
	МЛ19 $\rho = 1,85$ Коррозионно-стойкий	Мg-Al-Zn-Mn-Fe	Средняя	З	1, 1-1, 3	780-800	590-394	Повышенная (выше, чем у МЛ5лч)	Повышенная	" "	-

Группа сплавов и их прочность, МПа (кгс/мм ²)	Марка сплава и его плотность, г/см ³	Система сплава	Склонность к образованию микро-рыхлости	Метод литья	Линейная усадка, %	Температура литья, °С	Температурный интервал кристаллизации, °С	Коррозионная стойкость	Термическая стойкость	Свариваемость	Температура воспитания	
Ш. Фаро-прочные сплавы	МЛ9 $\rho = 1,76$	Mg-Ni-Zn	Пониженная	3	I, 2- I, 4	720- 780	650-558	Удовлетворительная	Повышенная	Удовлетворительная при аргонодуговой сварке	650	
				К	680-780							
	МЛ10 $\rho = 1,78$	Mg-Ni-Zn-Zr	Низкая	3	I, 2- I, 5	720- 800	640-550	" "	" "	Хорошая при аргонодуговой сварке	550	
				К	680-780							
	МЛ11 $\rho = 1,8$	Mg-Zn-Zr-Ge	Низкая	3	I, 2- I, 5	720- 800	645-590	" "	" "	Повышенная по сравнению с МЛ10	Удовлетворительная при аргонодуговой сварке	580
				К	680-780							
	МЛ19 $\rho = 1,79$	Mg-Zn-Zr-Ni	Низкая	3	I, 25- I, 50	720- 810	650-558	" "	" "	Повышенная	Хорошая сваривается аргонодуговой сваркой	-
				К	680-780							

Примечания (к табл. 2.3):

1. Обрабатываемость резанием у сплава марки МЛЗ — хорошая, а у остальных высокопрочных и жаропрочных — отличная.

2. Условные обозначения способов литья: З — литье в песчаные формы, К — в кокиль, О — в оболочковые формы, Д — литье под давлением, Г — в гипсовые формы, В — по выплавляемым моделям. ЗМ, ОМ, КМ, ВМ, ДМ, ГМ — те же способы, но литейные сплавы модифицированы или путем введения перед их разливкой модификаторов — мел, магнезит, хлорное железо — в количестве 1% от массы сплавов, или путем перегрева, чтобы получить мелкозернистую структуру.

Режим термической обработки

Марка стали	Способ литья	Группа литья	Условное обозначение термообработки	Отжиг		Закалка			Старение								
				$t_{отж}$, °C	t , часы	Охлаждающая среда	I ступень нагрева		II ступень нагрева		t_2 , °C	t , часы	Охлаждающая среда				
							t_1 , °C	t_2 , °C	t_1 , °C	t_2 , часы							
МЛ3	3	3,0	T2	325	5	Воздух											
				350±5	2-3	Воздух											
МЛ4	3,0	3,0	T4	350±5	2-3	Воздух	380±5	8-16	Воздух								
							380±5	8-16	Воздух								
МЛ4пч	3,0	3,0, К	T2	350±5	2-3	Воздух	415±5	12-14	Воздух								
							380±5	3,0	420 ±5	21-29	Воздух						
МЛ5	3,0, В, Г	I	T4	350±5	2-3	Воздух	415±5	8-16	Воздух								
							415±5	12-14	Воздух								
МЛ5пч	3,0	II	T4	350±5	2-3	Воздух	415±5	8-16	Воздух								
							415±5	12-14	Воздух								
МЛ5он	3,0, В, Г	I	T6	350±5	2-3	Воздух	415±5	8-16	Воздух								
							415±5	12-14	Воздух								
МЛ6	3,0	II	T6	350±5	2-3	Воздух	360±5	3,0	420 ±5	21-29	Воздух						
							415±5	8-16	Воздух								
МЛ6	3,0	III	T6	350±5	2-3	Воздух	360±5	3,0	410 ±5	21-29	Воздух						
							415±5	8-16	Воздух								
МЛ6	3,0	III	T6	350±5	2-3	Воздух	360±5	3,0	410 ±5	21-29	Воздух						
							415±5	8-16	Воздух								

Режим термической обработки

Марка сплава	Способ литья	Группа литья	Условные обозначения наченые термообработки	Отжиг			Закалка				Старение			
				$t_{отж}$, °C	τ , часы	Охлаждающая среда	I ступень нагрева		II ступень нагрева		t_c , °C	τ , часы	Охлаждающая среда	
							t_c , °C	τ , часы	t_c , °C	τ , часы				
МЛ6			Т6			Охлаждающая среда	360+5	3,0	410+5	21-29	Воздух	190+5	4-8	Воздух
							360+5	3,0	410+5	21-29	Воздух	190+5	4-8	Воздух
МЛ8	З, О, К, В, Г		Т6			Охлаждающая среда	420+5	1-2	490+5	5,0	Обдувка ка сжатым воздухом	150+5 или 165+5	50 или 24	Воздух
							420+5	1-2	490+5	5,0	Горячая вода ($t = 80-95^\circ$)	150+5 или 165+5	50 или 24	Воздух
МЛ9	З, О, К, В, Г		Т6			Охлаждающая среда	540+5	8-12			Обдувка сжатым воздухом	200+5	6-12	Воздух
							540+5	8-12			Обдувка сжатым воздухом	205+5	12-18	Воздух
МЛ10	З, О, К, В, Г		Т6			Охлаждающая среда	545+5	4-8			Горячая вода ($t \geq 80^\circ$)	205+5	12-18	Воздух
							545+5	4-8			Горячая вода ($t \geq 80^\circ$)	205+5	12-18	Воздух

Режим термической обработки

Марка стали	Способ литья	Группа литья	Условие обозначения термообработки	Отжиг			Закалка				Старение							
				$t_{отж}$, °C	t , час	Охлаждающая среда	I ступень нагрева		II ступень нагрева		t , °C	t , час	t , час	Охлаждающая среда				
							t , °C	t , час	t , °C	t , час								
МЛ1	З, О, К, В, Г		T2	325±5	3-5	Воздух	570±5	4-6										
			T4															
			T6				570±5	4-6						200±5	12-16	Воздух		
МЛ12	З, О, К, В, Г		T1											300±5	2-6	Воздух		
МЛ15	З, О, К, В, Г		T1											300±5	2-6	Воздух		
МЛ17 (МЛ15)	З, К, Г, В		T6				435±5	4-20						155±5	24-50	Воздух		
			T6I				435±5	4-20	350±5	0-6					155±5	24-50	Воздух	

Режим термической обработки														
Марка сплава	Способ литья	Группа литья	Условные обозначение термообработки	Отжиг		Закалка				Старение				
				t, °C	t, часы	I ступень нагрева		II ступень нагрева		t, °C	t, часы	t, °C	t, часы	
						t, °C	t, часы	t, °C	t, часы					
МЛ8 (ВМЛ6)	З,О,К, В,Г		Т6			400±5	1-2				130±5	48	Охлаждающая среда	Воздух
						400±5	1-2	425±5	8,0	Обдувка сжатым воздухом	130±5	48	Воздух	
МЛ9 (ВМЛ7)	З,К		Т6			535±5	4-8				205±5	8,0	Воздух	Воздух
						400±5	1-2	425±5	8,0	Сжатый воздух	130±5	48	Воздух	
ВМЛ9	З,К,О		Т4			400±5	12-14							
						400±5	1-2	425±5	8,0	Горячая вода (t=80°)	200±5	8,0	Воздух	
МЛ7-1	3		Т6			400±5	12-14							
						325	5,0	Воздух	200±5	8,0	Воздух			

Примечания (к табл. 2.4):

1. Настоящий отраслевой стандарт ОСТ 90121-74 устанавливает режимы термической обработки магниевых литейных сплавов марок МЛ4, МЛ4пч, МЛ5ок, МЛ5, МЛ5пч, МЛ6, МЛ7-1, МЛ8, МЛ9, МЛ10, МЛ11, МЛ12, МЛ15, ВМЛ5, ВМЛ6, ВМЛ7, ВМЛ9.

2. При одно-, двух- и трехступенчатом нагреве сплава до температуры закалки первой ступени время подъема температуры не входит в общую длительность выдержки. При двух- и трехступенчатом нагреве время подъема температуры до верхнего предела температуры II и III ступени для сплавов МЛ5, МЛ5пч, МЛ5ок, МЛ6 входит в общую продолжительность выдержки, а для всех остальных сплавов - нет.

3. Отливки из сплавов МЛ5, МЛ5пч, МЛ5ок в зависимости от способа литья, габаритов и толщины делятся на три группы:

I. Отливки с толщиной стенок до 20 мм, с массивными частями в виде фланцев, бобышек и т.д. толщиной или диаметром до 40 мм, которые заложены путем установки на них холодильников. (Если массивные части не заложены, то отливки следует отнести ко II группе). Для мелких отливок I группы время выдержки при нагреве под закалку может быть принято 8 ч при $t = 415^{\circ}\text{C}$.

II. Отливки с толщиной стенок более 20 мм и массивными частями толщиной или диаметром более 40 мм. Время выдержки по режиму Т4 брать ближе к верхнему пределу.

III. Все отливки, полученные литьем в кокиль. Для тонкостенных отливок без массивных частей время выдержки при нагреве под закалку может быть уменьшено до 6 ч. Для кокильных отливок из МЛ5, имеющих песчаные стержни, длительность нагрева под закалку может соответствовать режимам I группы литья.

4. Для отливок из сплава МЛ8 допускаются применения трехступенчатого нагрева под закалку:

I ступень - $t = 400^{\circ}\text{C}$, $\tau = 0,5 \dots 1,0$ ч;

II ступень - $t = 440^{\circ}\text{C}$, $\tau = 0,5 \dots 1,0$ ч;

III ступень - $t = 490^{\circ}\text{C}$, $\tau = 5$ ч.

5. Для отливок из сплава ВМЛ5 с толщиной стенки более 20 мм и с массивными частями толщиной или диаметром более 40 мм продолжительность нагрева под закалку I ступени составляет 10...20 ч.

6. Режим термообработки Т61 заключается в закалке с охлажде -

нием в горячей воде и искусственном старении, что максимально повышает механические свойства.

Режимы Т1, Т2, Т4, Т6 аналогичны режимам т/о деформируемых сплавов.

Механические свойства термически обработанных фасонных отливок из магниевых литейных сплавов при комнатной температуре указаны в табл. 2.5 (ОСТ1 90248-77), фасонных отливок из магниевых сплавов повышенной прочности - в табл. 2.6 (ОСТ1 90200-75), а механические свойства при комнатной и повышенной температурах литейных магниевых сплавов - в табл. 2.7 [1-7]. Нормативно-техническая документация на отливки и полуфабрикаты из промышленных магниевых сплавов приведена в табл. 2.8.

Т а б л и ц а 2.5

Марка сплава	Способ литья	Вид термообработки	Механические свойства (не менее)			
			$\sigma_{\text{т}}$ МПа (кгс/мм ²)	$\delta, \%$	$\sigma_{0,2}$, МПа (кгс/мм ²)	
					при растяжении	при сжатии
МЛ4, МЛ4ПЧ	3,0	Без термообработки	98-И18(10-12)	1,0-1,5	-	-
		Т4	137-157(14-16)	2,0-2,5	-	-
		Т6	137-157(14-16)	0,5-1,0	-	-
	В,Г	Без термообработки	108(11,0)	1,0	-	-
		Т4	157(16,0)	2,5	-	-
		Т6	157(16,0)	1,0	-	-
МЛ5, МЛ5ПЧ	3,0	Без термообработки: при толщине стенки S менее 20 мм	И18(12,0)	1,0	-	-
		S стенки более 20 мм	108(11,0)	1,0	-	-
		Т2 при толщине стенки $S < 20$ мм	И18(12,0)	1,0	-	-

Марка сплава	Способ литья	Вид термо-обработки	Механические свойства (не менее)			
			$\sigma_{0,2}$ МПа (кгс/мм ²)	$\delta, \%$	$\sigma_{0,2}$, МПа (кгс/мм ²)	
					при растяжении	при сжатии
МЛ5, МЛ5Гч	3,0	T2 S стенки > 20 мм	108(11,0)	1,0	-	-
		T4 при толщине стенки $S < 20$ мм	172(17,5)	2,5	-	-
		S стенки > 20 мм	157(16,0)	2,5	-	-
	3,0	T6 при толщине стенки $S < 20$ мм	172(17,5)	1,0	-	-
		S стенки > 20 мм	157(16,0)	1,0	-	-
	К	T2	118(12,0)	1,0	-	-
		T4	172(17,5)	2,5	-	-
		T6	172(17,5)	1,0	-	-
	В,Г	Без т/о	108(11,0)	1,0	-	-
		T2	108(11,0)	1,0	-	-
		T4	172(16,0)	2,5	-	-
		T6	172(16,0)	1,0	-	-
	Д	Без т/о	147-172(15-17,5)	1-2	-	-
		T2	147-172(15-17,5)	1-2	-	-
МЛ7-Г	3,0, Г	T2	118(12,0)	3,0	-	-
МЛ8	3,0, К,В, Г	T6	235(24,0)	2,5	167(17)	127(13)
		T6I	255(26,0)	2,5		
МЛ9	3,0, К,В, Г	T6	176(18,0)	2,5	108(11)	108(11)
МЛ10	3,0, К,В, Г	T6	176(18,0)	2,5	118(12)	108(11)
		T6I	186(19,0)	2,5	127(13)	127(13)

Марка сплава		Вид термо-обработки	Механические свойства(не менее)			
			σ_{σ} , МПа(кгс/мм ²)	δ , %	$\sigma_{0,2}$ МПа (кгс/мм ²)	
					при рас-тяжении	при сжатии
МЛ11	З,О, К,В, Г	Т2	104(10,5)	1,5		
		Т4	118(12,0)	2,0	83,3(8,5)	83,3(8,5)
		Т6	118(12,0)	1,5	98(10)	98(10)
МЛ12	З,О, К,В, Г	Без т/о	167(17,0)	3,5	88(9)	
		Т1	186(19,0)	3,0	127(13)	127(13)
МЛ15	З,О, К,В, Г	Т1	176(18,0)	2,0	127(13)	127(13)
МЛ17	З,О, К,В, Г	Без т/о	191(19,5)	2,0	127(13)	-
		Т6Г	262(27,5)	2,0	186(19)	-
МЛ18	З,О, К,В, Г	Т6	284(29,0)	3,0	235(24)	225(23)
		Т6Г	294(30,0)	3,5	245(25)	235(24)
МЛ19	З,О, К,В, Г	Т6	176(18,0)	2,5	118(12)	-
МЛ20 (ВМЛ9-Г)		Т4	216(22,0)	5,0	78(8,0)	-

Таблица 2.6

Марка сплава	Способ литья	Состояние поставки	Класс прочности	Механические свойства (не менее)				$\sigma_{0.2}$, МПа		δ_5 , % ($l_0=5$)
				Временное сопротивление σ_{σ} , МПа		среднее	на одном из трех образцов	среднее	на одном из трех образцов	
				среднее	на одном из трех образцов					на одном из трех образцов
МЛ5, МЛ5Пч	З, К	Т4	1	235(24)	196(20)	-	-	6,0	3,0	
			2	216(22)	176(18)	-	-	5,0	2,5	
			3	196(20)	157(16)	-	-	4,0	2,0	
			4	по ОСТ1	90001-70					
МЛ8	З, К	Т61 Т61, Т6 Т6 Т6 Т61	1	284(29)	225(23)	196(20)	176(18)	6,0	3,0	
			2	274(28)	225(23)	186(20)	167(17)	4,0	2,5	
			3	255(26)	225(23)	176(18)	157(16)	3,0	2,0	
			4	235(24)	206(21)	167(17)	147(15)	2,5	1,5	
4	255(26)	216(22)	176(18)	157(16)	2,5	1,5				
МЛ9	З, К	Т6 Т6 Т6 Т6	1	225(23)	196(20)	118(12)	108(11)	4,5	3,0	
			2	206(21)	176(18)	108(11)	98(10)	4,0	3,0	
			3	191(19,5)	157(16)	108(11)	98(10)	3,5	2,5	
			4	176(18)	147(15)	108(11)	98(10)	2,5	2,0	

Марка сплава	Способ литья	Состояние поставки	Класс прочности	Механические свойства (не менее)					$\sigma_{0.2}$, МПа (кгс/мм ²)	δ , % ($\delta_0=5$)
				Временное сопротивление σ_B , МПа (кгс/мм ²)		на одном из трех образцов		среднее		
				среднее	на одном из трех образцов	среднее	на одном из трех образцов			
МЛ10	З,К	Т6I Т6I, Т6 Т6 Т6 Т6I	I 2 3 4 4	235(24)	196(20)	137(14)	132(13,5)	4,0	2,5	
				216(22)	186(19)	132(13,5)	123(12,5)	3,5	2,5	
				196(20)	167(17)	127(13)	118(12)	2,5	1,5	
				176(18)	147(15)	118(12)	98(10)	2,5	1,5	
МЛ12	З,К	ТI	I 2 3 4	245(25)	216(22)	147(15)	127(13)	6,0	3,0	
				225(23)	196(20)	137(14)	118(12)	5,0	2,5	
				206(21)	176(18)	127(13)	108(11)	4,0	2,0	
				186(19)	157(16)	127(13)	108(11)	3,0	1,5	
МЛ15	З,К	ТI ТI ТI ТI	I 2 3 4	216(22,5)	186(19)	142(14,5)	127(13)	3,0	2,5	
				206(21)	172(17,5)	137(14)	118(12)	2,5	2,0	
				191(19,5)	157(16)	132(13,5)	113(11,5)	2,0	1,5	
				176(18)	147(15)	127(13)	108(11)	2,0	1,5	

П р и м е ч а н и я (к табл. 2.6):

1. Настоящий отраслевой стандарт распространяется на фасонные отливки специального назначения из литейных магниевых сплавов марок МЛ5, МЛ5пч, МЛ8, МЛ9, МЛ10, МЛ12, МЛ15, имеющие выше, чем предусмотрено ОСТ1 90001-70, гарантированные свойства на вырезанных из определенных зон отливки образцах.

2. Различают три повышенных класса прочности.

3. По способу литья фасонные отливки подразделяются на отлитые в песчаные формы - З, и в кокиль - К.

4. По состоянию поставки фасонные отливки подразделяются:

а) состаренные из литого состояния (Т1): МЛ12Т1, МЛ15Т1;

б) закаленные (Т4): МЛ5Т4, МЛ5пчТ4;

в) закаленные в струе сжатого воздуха и состаренные (Т6): МЛ8Т6, МЛ9Т6, МЛ10Т6;

г) закаленные в воду и состаренные (Т61): МЛ8Т61, МЛ10Т61.

5. Химический состав должен удовлетворять ГОСТ 2856-79.

Механические свойства

Марка сплава	Вид термо-обработки, °С	Температура испытания, °С	Модуль упругости, МПа		Коефф. Пуассона	σ _б	σ _{0,2}	σ ₁₀₀ *	σ _{0,2/100} **	σ ₋₁ *	σ ₋₁ ^{***}	δ ₅ , %	ψ, %	σ _н , кгс/мм ²	НВ, кгс/мм ²			
			Г	С														
МЛБП	Т4	20	42000	16000	0,34	157(16)	93(9,5)			44(4,5)		3	4	100	65			
							83,3(8,5)			83,3*** (8,5)	69(7)	9	15	0,5				
						150	181,3(18,5)	59(6,0)	83,3(8,5)	24,5(2,5)	39(4)	24,5(2,5)	24,5(2,5)	24,5(2,5)	24,5(2,5)	12		
	Т6	20	25000			118(12)	49(5)	39(4)	24,5(2,5)				15					
								7,8(0,8)										
							150	152(15,5)	49(5)	49(5)	7,8(0,8)							
МЛЮ	Т6	20	42000	16000	0,3	250(25,5)	118(12)					4	4-6	0,3	75			
							181,3(18,5)											
						150	152(15,5)											
	Т6	20	39000	16500	0,33	235(24)	118(12)						10					
							176(18)	108(11)	108(11)	88(9)	88(9)	78(8)	6,0**	5	7,5	65		
						150	147(15)	103(10,5)	73,5(7,5)	34,3(3,5)	49(5)**	49(5)**	49(5)**	49(5)**	49(5)**	15		
Т6	300	35000			108(11)	83,3(8,5)	24,5(2,5)				25							
						83,3(8,5)	44,1(4,5)				35							

Марка сплава	Тип термо-обработки	Температура испытания, °С	Модуль упругости, Е		Коэфф. Пуассона	σ _{0,2}		σ ₁₀₀ [*]	σ _{0,2/100} ^{**}	σ ₋₁ ⁺	σ ₋₁	δ, %	ψ, %	σ _н , кгс/мм ²	НВ ₂																			
			МПа	МПа		σ _{0,2}	σ ₁₀₀																											
			МПа			МПа																												
МЛТ2	Без Т/О	20	44000	16500	0,33	216(22)	118(12)					12	8	0,5	60																			
																20	44000	16500	0,33	235(24)	137(14)	73,5	73,5	10	7	0,4	60							
																												150	157(16)	108(11)	78(8,0)	39(4,0)	10	8
																250	98(10)	59(6)	19,6	(2,0)	12	12												
																							300			44,1	(4,5)	12	12					
																Т6	20	44000			245(25)	157(16)										8	7	0,4
150	157(16)	98(10)	78(8)	39(4)	8	8																												
							200	200	122	(12,5)	73,5	44,1	24,5	(2,5)	10	10	12																	
250	250	83,3	(8,5)	49(5)															12	12														
							300	300	53,9	(5,5)	29(3)				15	15																		
МЛТ2 (БМЛ15)	Т61	20	42000	15500	0,35	304(31)											206(21)				88(9)	69(7)	5	8	0,3									
							150	172(17,5)	137(14)	98(10)	73,5	(7,5)	44,1	(4,5)	16	16																		
																										200	142(14,5)	108(11)	49(5)	27,4	(2,8)	12	12	

Марка сплава	Вид термо-обработки	Температура испытания, °С	Механические свойства										HB ₁₀ K170 MM2	
			Модуль упругости E, МПа	Модуль сдвига G, МПа	Коэфф. Пуассона μ	σ_B	$\sigma_{0,2}$	σ_{100}^*	$\sigma_{0,2/100}^{**}$	σ_{-1}^*	σ_{-1}^H	σ_s , %		ψ , %
МЛ19 (БМЛ7)	Т4	20	42000	16000	0,34	255(26)	165(17)			$N=2 \cdot 10^7$ 69(7)**	49(5) ⁹⁰	7	0,5	
		200	36500			265(27)	186(19)					5		
		250	36000			255(26)	157(16)					12		
		300	35000			225(23)	137(14)			53,9 (5,5)	39(4)	8		
БМЛ9	Т6	20	42000			206(21)	88(9)				88(9)**	69(7) ⁹⁰	8	0,8
		150				206(21)	69(7)	98(10)	29(3)	39(4)		16		
		200				132(13,5)	69(7)	49(5)	24,5 (2,5)			20		
		200				206(21)	118(12)				88(9)	59(6)	1	0,3
БМЛ9	Т6	150				176(18)	98(10)	83,3 (8,5)	29(3)	29(3)		8		
		200				147(15)	88(9)	44,1 (4,5)	24,5 (2,5)			14		

Примечания (к табл. 2.7):

1. σ_{-1}^* - предел выносливости при чистом изгибе гладкого вращающегося образца на базе $N = 2 \cdot 10^7$ циклов.
2. σ_{-1}^H - предел выносливости при чистом изгибе надрезанного образца. Радиус надреза $r_H = 0,75$ мм.
3. σ_{-1}^{**} - предел выносливости при консольном изгибе вращающегося образца на базе $N = 2 \cdot 10^7$ циклов. Радиус надреза $r_H = 0,75$ мм.
4. σ_{-1}^{***} - предел выносливости при знакопеременном изгибе вращающегося образца на базе $N = 5 \cdot 10^7$ циклов. Радиус надреза $r_H = 0,75$ мм.
5. σ_{100}^* - предел прочности за 100 ч.
6. $\sigma_{0,2/100}^{**}$ - предел ползучести за 100 ч при остаточной деформации 0,2%.
7. Отливки получены в песчаных формах.

Т а б л и ц а 2.8

Сплавы	Документация	Область распространения документации	Марки сплавов, указанные в документации
Чушковый магний	ГОСТ 804-72	Маркировка и химический состав чушкового магния, предназначенного для переплава в слитки и производства магниевых сплавов	Mг96, Mг95, Mг90
Сплавы магниевые литейные	ГОСТ 2856-79	Маркировка и химический состав литейных магниевых сплавов, предназначенных для изготовления фасонных отливок	МЛ3, МЛ4, МЛ5, МЛ4пч, МЛ5пч, МЛ5он, МЛ6, МЛ8, МЛ9, МЛ10, МЛ11, МЛ12, МЛ15, МЛ19
	ОСТ I 90168-75	Сплавы магниевые литейные: марки, технические условия и механические свойства	МЛ7-1, МЛ17(ВМЛ5) МЛ18(ВМЛ6) МЛ19(ВМЛ7) МЛ20(ВМЛ9-1)

Сплавы	Документа-ция	Область распространения документации	Марки сплавов, указанные в документации
Сплавы магниевые литейные	ОСТ 90248-77	Отливки фасонные из магниевых сплавов	МЛ4, МЛ4пч, МЛ5, МЛ5пч, МЛ7-1, МЛ8, МЛ9, МЛ10, МЛ11, МЛ12, МЛ15, МЛ17, МЛ18, МЛ19
	ОСТ I 90200-75	Отливки фасонные из магниевых сплавов повышенной прочности	МЛ5, МЛ5пч, МЛ8, МЛ9, МЛ10, МЛ12, МЛ15
	ОСТ I 90121-74	Магниевые литейные сплавы. Режимы термической обработки	МЛ4, МЛ4пч, МЛ5, МЛ5пч, МЛ5он, МЛ6, МЛ7-1, МЛ8, МЛ9, МЛ10, МЛ11, МЛ12, МЛ15, ВМЛ5, ВМЛ6, ВМЛ7, ВМЛ9
Сплавы магниевые деформируемые	ГОСТ 14957-76	Маркировка и химический состав деформируемых магниевых сплавов	МА1, МА2, МА2-1, МА2-1пч, МА5, МА8, МА8пч, МА11, МА12, МА14, МА15, МА17, МА18, МА19, МА20, МА21
	ОСТ I 90169-75	Маркировка и химический состав сплавов магниевых деформируемых	МА3, МА11, МА12, МА18, МА19(ВМЛ6), МА20(ВМЛ8)
	ГОСТ 21990-76	Плиты горячекатаные (толщиной от 12 до 50 мм, шириной от 500 до 1000 мм, длиной от 1000 до 3000 мм)	МА2-1, МА2-1пч, МА8
	ГОСТ 19441-74	Трубы, изготовленные методом горячего прессования (с наружным диаметром от 16 до 50 мм, длиной от 2 до 4 м, с толщиной стенки от 1,5 до 3 мм)	МА2-1, МА2-1пч, МА8

Сплавы	Документация	Область распространения документации	Марки сплавов, указанные в документации
Сплавы магнелиевые деформируемые	ГОСТ I9657-84	Профили сплошные и полые (площадь поперечного сечения - до 15 см ² , диаметр описанной окружности до 150 мм, длина - до 4,8 м).	МА1, МА2, МА2-1, МА2-1пч, МА8, МА12, МА14
	ГОСТ I9657-84, ОСТ I 92I23-88	Полосы (диаметр описанной окружности - до 500 мм; площадь поперечного сечения - до 130 см)	МА1, МА2, МА2-1, МА2-1пч, МА8, МА11, МА14, МА15
	ГОСТ 22635-77	Листы (толщиной от 0,6 до 10,5 мм; шириной от 500 до 1200 мм; длиной от 1000 до 4000 мм)	МА2-1, МА2-1пч, МА8, МА15
	ОСТ I 90010-70	Поковки (весом до 100 кг) и штамповки (весом до 250 кг), изготовленные горячей штамповкой и свободной ковкой	МА2, МА2-1пч, МА14(ВМ65-1)
	ГОСТ I835I-73	Прутки круглого сечения, изготовленные горячим прессованием (диаметром от 5 до 300 мм, длиной от 0,5 до 5,0 м)	МА1, МА2, МА2-1, МА2-1пч, МА5, МА8, МА14, МА15
	ОСТ I 90I75-75	Деформируемые магнелиевые сплавы. Режимы термической обработки	МА1, МА2-1, МА2-1пч, МА5, МА8, МА11, МА12, МА14, МА18, МА20

Библиографический список

1. Магниеые сплавы: Справочник. Т. I, 2. /Под ред. М.Б.Альтмана, В.И.Добаткина. М.: Металлургия, 1978.
2. Ковка и штамповка. Справочник. Т. I. /Под ред. д-ра техн. наук, проф. Е.И.Семенова. М.: Металлургия, 1985.
3. Ковка и штамповка цветных металлов: Справочник. М.: Машиностроение, 1972.
4. Мальцев М.В. Металлургия цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1970.
5. Захаров А.М. Промышленные сплавы цветных металлов. М.: Металлургия, 1980.
6. Захаров М.В., Захаров А.М. Жаропрочные сплавы. М.: Металлургия, 1972.
7. Колачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1981.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

I. Деформируемые магниевые сплавы	3
I.1. Применение магниевых сплавов в авиа- и двигателестроении	3
I.2. Маркировка и химический состав деформируемых магниевых сплавов	6
I.3. Классификация и сравнительная оценка свойств магниевых сплавов	10
I.4. Основные виды и режимы термической обработки магниевых сплавов	12
I.5. Основные физические и технологические свойства магниевых деформируемых сплавов	18
I.6. Механические свойства магниевых сплавов при обычных и повышенных температурах	18
2. Литейные магниевые сплавы.....	18
Библиографический список	55

МАГНИЕВЫЕ СПЛАВЫ

Составитель У в а р о в а Вера Сергеевна

Редактор Т.К.К р е т и н и н а

Техн. редактор Н.М.К а л е н ю к

Корректор Н.С.К у п р и я н о в а

Подписано в печать 8.02.91. Формат 60x84^I/₁₆

Бумага оберточная. Печать офсетная.

Усл.п.л.3,25.Усл.кр.-отт.3,28.Уч.-изд.л.3,0.

Тираж 400 экз. Заказ № 1507. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева.
443086 г. Куйбышев, ул. Московское шоссе, 34.

Типография им. В.П.Мяги Куйбышевского
полиграфического объединения.

443099 г. Куйбышев, ул. Венцека, 60.