

Основные легирующие добавки

Бронза – это цветной сплав на основе меди, определяющей большую часть его характеристик. Производить и использовать бронзу для изделий различного назначения человек начал еще с древних времен, о чем свидетельствуют результаты археологических раскопок. Изначально использовалась бронза, состав которой был обогащен оловом. К сплавам данного типа относится, в частности, так называемая колокольная бронза (из нее на протяжении многих веков отливали колокола).

Кроме бронз, содержащих в своем составе олово, сегодня активно используются и сплавы меди, в которых данного химического элемента нет. Вместо олова в качестве основной легирующей добавки в таких медных сплавах применяются:

1. бериллий, который придает бронзе повышенную прочность;
2. кремний и цинк – элементы, благодаря которым поверхность бронзового изделия становится очень устойчивой к истиранию и улучшается текучесть бронзы, что особенно важно для выполнения литейных операций;
3. свинец, придающий бронзе устойчивость к коррозии;
4. алюминий, наделяющий бронзу достойными антифрикционными свойствами и высокой устойчивостью к коррозии.

На вопрос же о том, какой металл обязательно присутствует в любой бронзе, можно ответить однозначно: это медь.

Марка сплава	Массовая доля основных компонентов, %										Массовая доля примесей, не более, %														
	Sn	Zn	Pb	Ni	P	Al	Fe	Mn	Cu	Sb	Fe	Al	Si	P	Ni	S	As	Mg	Bi	Pb	Zn	Sn	Mn	Всего примесей	
Сплавы на основе меди, олова, цинка, свинца																									
Бр05Ц6С5	4,1-6,0	4,5-6,5	4,1-6,0	-	-	-	-	-	Ост.	0,5	0	0,1	0,1	0,1	1	0,1	0,2	0	-	-	-	-	-	-	1,3
Бр03Ц6С5	2,0-4,0	3,0-8,0	3,0-6,0	-	-	-	-	-	Ост.	0,5	0	0,1	0,1	0,1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,3
Бр03Ц13С4	2,1-3,5	9,0-16,0	3,0-6,0	-	-	-	-	-	Ост.	0,5	0	0	0	0,1	2	0,1	0,2	0	-	-	-	-	-	-	1,3
Бр04Ц8С5	3,1-5,5	6,5-9,0	4,0-7,0	-	-	-	-	-	Ост.	0,5	0	0,1	0,1	0,1	2	0,1	0,2	0	-	-	-	-	-	-	1,3
Бр03Ц8С4Н1	2,6-4,0	7,0-10,0	3,0-6,0	0,5-2,0	-	-	-	-	Ост.	0,5	0	0	0	0,1	-	0,1	0,2	0	-	-	-	-	-	-	1,3
Бр06Ц6С2х	5,0-7,0	5,0-7,0	1,0-4,0	-	-	-	-	-	Ост.	0,5	1	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Сплавы на основе меди, олова, фосфора																									
Бр010Ф1	9,1-10,5	-	-	-	0,7-1,2	-	-	-	Ост.	0,3	0	0,1	0	-	1	0,1	-	0	0,01	1	1	-	-	-	1,4
Сплавы на основе меди, алюминия, железа																									
БрА10ЖЗр	-	-	-	-	-	8,5-10,5	2,0-4,0	-	Ост.	0,1	-	-	0,2	0,1	1	-	0,1	-	-	0	1	0	0,5	-	1,7
БрА10ЖЗ	-	-	-	-	-	8,5-10,5	2,0-4,0	-	Ост.	0,1	-	-	0,2	0,1	1	-	0,1	-	-	0	1	0	0,5	-	2,4
БрА10ЖЗМц2	-	-	-	-	-	9,0-11,0	2,0-4,0	1,3-3,0	Ост.	0,1	-	-	0,2	0	1	-	0	-	-	0	1	0	-	-	1,7

Химический состав различных марок бронзы

Кроме деления по химическому составу, существует классификация [бронзовых сплавов](#) по технологии обработки:

- деформируемые (используемые для производства изделий, которые обрабатывают методом пластической деформации);
 - литейные (изделия из них производят методом литья).
- Современная промышленность выпускает множество марок бронзы, отличающихся своим химическим составом и, соответственно, характеристиками и областью применения. Многие опытные мастера даже по цвету бронзы могут определить, к какому типу она относится. Однако далеко не все это умеют. Самым верным и наиболее простым способом получения информации о том, что содержится в составе бронзы определенной марки и к какому типу она относится, является расшифровка маркировки, которая включает в себя как буквенные, так и цифровые обозначения.



Струны для гитары: слева из обычной оловянной бронзы (20% олова), справа из фосфорной (7,7% олова, 0,3% фосфора)

Все марки бронзовых сплавов, выпускаемые современными предприятиями в строгом соответствии с требованиями нормативных документов (ГОСТов), перечислены в специальных таблицах, из которых можно получить информацию не только о химическом составе сплава определенной марки, но и о сферах его применения и характеристиках. Впрочем, даже не пользуясь такими таблицами, можно определить тип сплава и его химический состав, если знать, по какому принципу формируется его обозначение.

Понять, что перед вами бронза, сплав меди, можно по первым буквам «Бр», присутствующим в маркировке. После них ставятся буквы, по которым можно узнать, какие еще металлы, кроме меди, содержатся в химическом составе данного сплава. Нормативным документом установлены следующие правила обозначения химических элементов, присутствующих в составе бронзы:

А – алюминий;	Н – никель;	О – олово;
Б – бериллий;	Мц – марганец;	Ф – фосфор;
К – кремний;	С – свинец;	Ц – цинк.
Ж – железо;		

Марка	Способ литья	Временное сопротивление	Относительное удлинение после разрыва	Твердость по Бринеллю	Применяемость
		σ_b , МПа (кгс/мм ²)	δ_5 , %	НВ, МПа (кгс/мм ²)	
Не менее					
БрОЗЦ12С5	к	206(21)	5	588(60)	Арматура общего назначения
	п	176,2(18)	8	588(60)	
БрОЗЦ7С5Н1	к	206(21)	5	588(60)	Детали, работающие в масле, паре и в пресной воде
	п	176,2(18)	8	588(60)	
БрО4Ц7С5	к	176,2(18)	4	588(63)	Арматура, антифрикционные детали
	п	147(15)	6	588(60)	
БрО4Ц4С17	к	147(15)	12	588(60)	Антифрикционные детали
	п	147(15)	5	588(60)	
БрО5Ц5С5	к	176,2(18)	4	588(60)	Арматура, антифрикционные детали, вкладыши подшипников
	п	147(15)	6	588(60)	
БрО5С25	к	137,2(14)	6	588(60)	Биметаллические подшипники скольжения
	п	147(15)	5	441(45)	
БрО6Ц6С3	к	176,2(18)	4	588(60)	Арматура, антифрикционные детали, вкладыши подшипников
	п	147(15)	6	688(60)	
БрО8Ц4	к	196(20)	10	735(75)	Арматура, фасонные части трубопровода, насосы, работающие в морской воде
	п	196(20)	10	735(75)	
БрО10Ф1	к	245(25)	3	882(90)	Узлы трения арматуры, высоконагруженные детали шнековых приводов, нажимные и шпindelные гайки, венцы червячных шестерен
	п	215,5(22)	3	784(80)	
Бр010Ц2	к	225,5(23)	10	735(75)	Арматура, антифрикционные детали, вкладыши подшипников, детали трения и облицовки гребных валов
	п	215,5(22)	10	637(65)	
БрО10С10	к	196(20)	6	735(78)	Подшипники скольжения, работающие в условиях высоких удельных давлений
	п	176,2(18)	7	637(65)	

Механические свойства и применяемость оловянных бронз (к — литье в кокиль, п — литье в песчаную форму)

Что характерно, в маркировке бронзы любой марки не указывается количество меди, содержащейся в ее химическом составе. При этом цифры, присутствующие в обозначении, указывают на количественное содержание (в целых долях процента) остальных элементов. Соответственно, количество меди, содержащееся в бронзе определенной марки, высчитывается как разность между 100% всего состава и количеством добавок. Например, в бронзе марки Бр АЖ 9-4, содержится 9% железа и 4% алюминия, остальные 87% составляет медь.



Бронзовый металлопрокат выпускается в виде ленты, проволоки, труб, втулок, плит и прутков

Количество чистой меди, содержащейся в составе бронзы, оказывает влияние не только на технологические и эксплуатационные характеристики изделия, но и на цвет его поверхности. Так, изделия из наиболее распространенных марок бронзовых сплавов, в составе которых около 85% меди, отличаются золотистым цветом. Если количество меди уменьшить до 50%, то на выходе может получиться белая бронза, очень похожая по своему цвету на серебро. При желании может быть получена серая и даже черная бронза – такого результата можно добиться, если уменьшить количество меди в составе сплава до 35% и ниже.

Многие старые бронзовые изделия, поверхность которых имеет практически черный цвет, приобрели его не из-за использования для их производства сплава определенного состава, а в результате воздействия времени и различных внешних факторов (пожары, длительное нахождение в сырой земле и др.). В древности просто не могло существовать технологий производства бронзы, состав которой дополняют редкоземельные металлы, придающие ей насыщенный черный цвет.

Марки и сферы их применения

Естественно, что различные химические элементы в состав любой бронзы вводят не бесцельно, а для того, чтобы улучшить ее свойства. Так, содержание в бронзе такого металла, как олово, оказывает влияние на ее пластичность. Чем больше в составе бронзы содержится данного металла, тем более твердым и, соответственно, более хрупким становится сплав. Однако самое значительное влияние на твердость и прочность бронзы оказывает такой химический элемент, как бериллий. Некоторые марки бронзовых сплавов, содержащие в своем химическом составе бериллий, превосходят по своим прочностным характеристикам высококачественные стали. Если подвергнуть [бериллиевую бронзу](#) процедуре закалки, то она наряду с высокой прочностью приобретает упругость, что позволяет изготавливать из такого материала пружины, рессоры и мембраны различного назначения.

Марка	Предел содерж. элементов	Элемент																Сумма прочих элементов		
		Cu	Ag	Al	Be	Cd	Cr	Fe	Mg	Mn	Ni	P	Pb	Si	Sn	Te	Ti		Zn	
БрБ2	мин.	ост.	—	—	1,8	—	—	—	—	—	0,2	—	—	—	—	—	—	—	—	
	макс.	—	—	0,2	2,1	—	—	0,15	—	—	0,5	—	0,05	0,15	—	—	—	—	—	0,5
БрБНТ1,9	мин.	ост.	—	—	1,85	—	—	—	—	—	0,2	—	—	—	—	—	0,10	—	—	—
	макс.	—	—	0,2	2,1	—	—	0,15	—	—	0,4	—	0,05	0,15	—	—	0,25	—	—	0,5
БрБНТ1,9Мг	мин.	ост.	—	—	1,85	—	—	—	0,07	—	0,2	—	—	—	—	—	0,10	—	—	—
	макс.	—	—	0,2	2,1	—	—	0,15	0,13	—	0,4	—	0,05	0,15	—	—	0,25	—	—	0,5

Марка бронзы	Характерные свойства	Виды полуфабрикатов
БрБ2, БрБНТ1,9	высокая прочность и износостойкость, высокие пружинные свойства, хорошие антифрикционные свойства, средняя электропроводность и теплопроводность, очень хорошая деформируемость в закаленном состоянии	полосы, ленты, прутки, трубы, проволоки

Свойства и применение бериллиевых бронз

Из бронзовых сплавов, химический состав которых обогащен алюминием, производят изделия, которые должны сочетать достаточно высокую прочность с исключительной коррозионной устойчивостью. Благодаря характеристикам бронзовых сплавов данного типа изделия из них успешно эксплуатируются в самых неблагоприятных условиях (повышенная влажность, воздействие морской воды и др.). В тех случаях, когда из бронзы необходимо изготовить изделие, которое в процессе эксплуатации будет подвергаться значительным ударным и фрикционным нагрузкам, лучше применять сплавы, содержащие в своем химическом составе свинец. Из такой бронзы, в частности, производятся подшипники, используемые в механизмах различного назначения.

Марка бронзы	Характерные свойства	Виды полуфабрикатов
БрАМц9-2	высокое сопротивление при знакопеременной нагрузке	полосы, ленты, прутки, проволоки, поковки
БрАЖ9-4	высокие механические свойства, хорошие антифрикционные свойства, коррозионностойкая	прутки, трубы, поковки
БрАЖМц10-3-1,5	плохо деформируется в холодном состоянии, деформируется в горячем состоянии, высокая прочность при повышенных температурах, коррозионностойкая, высокая эрозионная и кавитационная стойкости	прутки, трубы, проволоки, поковки
БрАЖН10-4-4	плохо деформируется в холодном состоянии, деформируется в горячем состоянии, высокая прочность при повышенных температурах, коррозионностойкая, высокая эрозионная и кавитационная стойкости	прутки, трубы, поковки

Особенности без оловянных алюминиевых бронз

Бронзы, в составе которых, кроме меди, содержится кремний и цинк, отличаются повышенной текучестью в расплавленном состоянии, поэтому их используют преимущественно для производства сложных деталей методом литья. Отличительным **свойством бронз** данного типа является и то, что при механическом воздействии на изделия, которые из них изготовлены, не образуются искры. Такое качество очень важно во многих случаях. Относительно новым видом бронз, которые были разработаны в связи с развитием нефтедобывающей промышленности, являются медные сплавы, состав которых обогащен

алюминием и никелем. Такие бронзы, отличающиеся исключительной коррозионной устойчивостью, часто называют морскими, потому что изделия из них способны сохранять все свои первоначальные характеристики даже после длительной эксплуатации в соленой морской воде. Получить такие сплавы, которые активно используются для производства элементов нефтяных платформ, устанавливаемых на морских и океанских шельфах, удалось благодаря развитию металлургической промышленности.

Большая часть марок бронзовых сплавов не магнитится, что дает возможность успешно использовать их для производства изделий электротехнического назначения.