

Раздел 1. СВАРИВАЕМОСТЬ (ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ).

1.5 Бронзы.

Безоловянные бронзы

Бронзами называют сплавы на основе меди, легированные алюминием, оловом, марганцем, железом и другими элементами. Бронзы разделяют на две основные группы:

- безоловянные, которые не содержат олова в качестве легирующего элемента;
- оловянные, в которых основным легирующим элементом является олово.

Безоловянные бронзы в зависимости от основного легирующего элемента разделяют на алюминиевые, марганцовистые, кремниевые, хромистые, бериллиевые и др.

В зависимости от назначения и механических свойств бронзы разделяют на литейные и деформируемые (обрабатываемые давлением). В рамках требований ГОСТ 18175-73 (безоловянные бронзы) и ГОСТ 5017-74 (оловянные бронзы) принята система обозначения марок деформируемых бронз. Она состоит из букв «Бр» (бронза), за которыми следуют начальные буквы русских названий легирующих элементов, а затем в той же последовательности цифры, указывающие среднее массовое содержание этих элементов в процентах.

В отличие от деформируемых литейные бронзы (ГОСТ 493-79-безоловянные бронзы и ГОСТ 613-79 — оловянные бронзы) обозначают по другому. В маркировке цифры, указывающие среднее содержание легирующих элементов, идут сразу после буквенного условного обозначения каждого легирующего элемента (БрОЗЦ12С5). Если данная марка бронзы изготавливается как литейная и деформируемая, то в обозначении марки литейной бронзы букву «Л» ставят в конце. Например, деформируемую бронзу обозначают БрАМц9-2, а литейную — БрА9Мц2Л. Химический состав некоторых деформируемых и литейных бронз приведен в приложении.

Безоловянные бронзы нашли широкое применение в промышленности благодаря тому, что по многим свойствам (эрозионной стойкости, жаростойкости и др.) они превосходят оловянные.

Двойные алюминиевые бронзы, содержащие до 8 % алюминия (БрА5, БрА7), имеют однофазную структуру α -твердого раствора, а при более высоком содержании алюминия структура становится двухфазной — α - γ_2 , где γ_2 — твердый раствор, образующийся в результате распада Р-фазы при температуре 565 °С в условиях медленного охлаждения. При высоких

скоростях охлаждения, характерных для сварочного цикла, распад Р-фазы задерживается и в металле шва и ЗТВ возможно наличие нераспавшейся высокотемпературной фазы (р-фазы), которая оказывает влияние на механические свойства соединений.

Однофазные алюминиевые бронзы имеют высокую пластичность и хорошо обрабатываются давлением, поэтому их, как правило, применяют в качестве деформируемых. При содержании в бронзе более 14 % алюминия пластичность сплава резко снижается и практически такие бронзы не применяются. При содержании в бронзе 8-10 % алюминия ее тепло- (в 6 раз) и электропроводность (почти в 7 раз) существенно снижается по сравнению с медью. Снижение теплопроводности значительно улучшает их свариваемость.

Кроме алюминия, бронзы легируют железом, марганцем, никелем и другими элементами. Сплавы на основе системы Si-Al-Ni-Mn (7-10 % Al, 8-13 % Ni и 1,5-2 % Mn) являются дисперсионно упрочняемыми. Интервал старения таких бронз 430-440 °С. Поэтому сварку таких бронз и заварку дефектов отливок необходимо производить после закалки до старения, когда сплав имеет наибольшую пластичность.

Сплавы на основе системы Cu-Al-Ni~Mn-Fe (7-9 % Al, до 5,5 % Ni, 2-3 % Mn и 0,2-0,3 % Fe), легированные никелем значительно экономнее и при увеличении его содержания от 0 до 5 % количество р-фазы в структуре возрастает, а зерна α-фазы измельчаются. Оптимальные механические свойства при этом достигаются соотношением количества α-β-фаз, а также отпуском при температуре 600-700 °С, что снижает возможность охрупчивания сплава в околошовной зоне при сварке. К типичному представителю таких бронз можно отнести сплавы БрАНМцЖ8,5-4-4-1,5 и БрА8,5Н4Мц4Ж1,5.

Свариваемость безоловянных бронз. Безоловянные бронзы сваривают всеми способами сварки плавлением. При заварке дефектов литья этот способ является основным. Более низкая теплопроводность алюминиевых бронз по сравнению с медью улучшает ее свариваемость и позволяет выполнять сварку без подогрева толстолистовых конструкций (20-25 мм) многослойными швами. Наличие в составе этих бронз алюминия отрицательно влияет на их свариваемость, что вызвано образованием в расплавленном металле оксидов алюминия (Al_2O_3) с температурой плавления 2050 °С. Из этих оксидов образуется тугоплавкая пленка, препятствующая сплавлению основного и наплавленного металла. Оксиды зачастую не всплывают на поверхность сварочной ванны и остаются как неметаллические включения в металле шва.

При сварке сложнолегированных алюминиевых бронз Al_2O_3 образуется также в результате проходящих в сварочной ванне реакций восстановления алюминием оксидов меди, марганца, железа и других легирующих элементов, так как алюминий обладает более высоким сродством к кислороду по сравнению с этими элементами.

Пленка Al_2O_3 , покрывая сварочную ванну, в ряде случаев препятствует ее нормальной дегазации, что способствует образованию пор в наплавленном металле и в сварных швах. Основной составляющей газов, растворенных в расплавленном металле при сварке алюминиевых бронз, является водород (до 96 %). Включения оксидов алюминия (Al_2O_3) служат центрами кристаллизации в расплавленном металле, вокруг которых скапливается водород, образуя поры. Растворимость водорода снижается при увеличении концентрации алюминия, что является дополнительным фактором для увеличения склонности к образованию пористости при сварке и наплавке алюминиевых бронз.

Одним из значимых факторов, ухудшающих свариваемость медных сплавов, является их высокая склонность к образованию трещин. При легировании алюминиевых бронз марганцем, никелем и железом наблюдается увеличение стойкости против образования горячих трещин в сварных швах, имеющих двухфазную структуру. Легирование же однофазных бронз приводит к упрочнению α -твердого раствора, что снижает его стойкость против образования горячих трещин.

Необходимо также учитывать, что все алюминиевые бронзы (кроме марганцево-алюминиевых) имеют провал пластичности в температурном интервале 250-700 °С, что требует при сварке быстрого охлаждения, поэтому ее выполняют короткими валиками с перерывами на охлаждение ниже 200 °С. Трещины в сплавах не возникают, если относительное удлинение сплава в температурном интервале провала пластичности составляет не менее 10 %.

Оловянные бронзы

К оловянным бронзам относят сплавы меди с оловом и другими легирующими элементами (фосфором, цинком, никелем, свинцом и др.). Оловянные бронзы разделяют на деформируемые и литейные. В стандартных деформируемых бронзах содержание олова находится в пределах 3-8,5, а в литейных — 2-11 %. Оловянные бронзы имеют высокие литейные свойства и наименьший объем усадки по сравнению с алюминиевыми бронзами и латунями. С увеличением содержания олова в составе бронз возрастают их прочностные свойства и снижается пластичность и ударная вязкость.

Оловянные бронзы имеют высокие антифрикционные свойства и широко используются при изготовлении подшипников скольжения, в том числе с наплавками на сталь.

Свариваемость оловянных бронз. Дуговая сварка оловянных бронз, как правило, используется для заварки дефектов отливок, а также при изготовлении облицовок валов и наплавки подшипниковых пар. Их свариваемость изменяется в широких пределах и зависит от собственного химического состава и концентрации вредных примесей.

Увеличение содержания основного легирующего элемента — олова — ухудшает свариваемость оловянных бронз вследствие склонности к образованию трещин в околошовной зоне. Для получения сварных соединений без трещин необходимо ограничить содержание олова в бронзе до 9-10 % и свинца не более 0,05 % (по ГОСТ 613-79 9-11 % Sn, 2-4 % Zn, <0,5 % Pb). Элементы конструкции перед сваркой необходимо подвергнуть отжигу (3 ч при температуре 480-530 °С). Рекомендована также наплавка кромок бронзами БрОЦ4-3 или БрОНМц8-1-0,6, что исключает появление трещин даже при сварке в жестком контуре.

У оловянных бронз при наличии в них свинца резко ухудшается свариваемость и образуются трещины в металле шва и ЗТВ. Это происходит вследствие того, что свинец практически не растворим в металле и при кристаллизации выделяется как самостоятельная фаза, располагающаяся между дендритами. Однако введение свинца в состав бронз способствует существенному повышению их антифрикционных свойств. Свинец вводят в бронзы, из которых изготавливают подшипники, предназначенные для работы при высоких удельных давлениях. Исследования свариваемости бронзы марки Бр05Ц5С3 показали, что ее пластичность и прочность снижается при температуре свыше 250 °С, а при температуре 600 °С составляет всего около 0,5 % этих показателей. Предварительный отжиг не улучшает механических свойств этих бронз. Для снижения вероятности образования трещин в околошовной зоне при создании соединений оловянно-свинцовых бронз рекомендуется выполнять сварку на минимальных режимах короткими валиками (50-70 мм) с их быстрым охлаждением (например, обдувом воздухом) и последующей проковкой каждого валика при температуре ниже 250 °С. Снижение вероятности образования трещин может достигаться путем применения неоднородных с основным металлом сварочных материалов из бронз БрАМц9-2, БрКМц3-1 или оловянных, не содержащих свинца БрОНМц8-1-0,6, и др. Соблюдение перечисленных выше рекомендаций позволяет получить соединения без трещин бронз БрО3Ц5С5, Бр08Ц4С4 и БрО3Ц7С5Н1.

Существенное отрицательное влияние на свариваемость оловянных бронз оказывает висмут даже при очень малых его содержаниях (0,005 %).

К основным факторам, влияющим на образование трещин при сварке оловянных бронз, можно отнести:

- нагрев свыше температуры 300 °С, что резко снижает пластичность металла в околошовной зоне;
- расплавление избыточного олова, расположенного по границам кристаллов литых бронз, при перегреве нарушает связь между ними;
- широкий температурный интервал кристаллизации оловянных бронз, который определяет возможность ликвации олова, что способствует образованию химической неоднородности металла и соответственно различных механических свойств по сечению сварного соединения;
- сегрегация легкоплавких вредных примесей свинца (>0,05 %) и висмута (>0,005 %) по границам кристаллов.

Для оловянных бронз фосфор является сильным раскислителем. При сварке он образует легкоплавкую эвтектику Cu-Cu₃P с температурой плавления 714 °С. Литейные бронзы легируются фосфором до 1,0 %. В деформируемых бронзах содержание фосфора ограничено (не более 0,4 %). При содержании фосфора более 0,5 % бронзы не могут подвергаться горячей обработке давлением, вследствие того, что эвтектика расплавляется, нарушается связь между кристаллитами и бронза разрушается. При создании соединений оловянно-фосфорных бронз эвтектика Cu-Cu₃P так-же отрицательно влияет на их свариваемость. Под воздействием термомодеформационного цикла сварки в околошовной зоне могут образовываться трещины и разрушения.

Существует ряд приемов, обеспечивающих технологическую прочность (отсутствие трещин в швах и околошовной зоне) соединений высокооловянных бронз, к которым можно отнести:

- использование сварочных и присадочных материалов с более низким содержанием олова или проведение предварительной наплавки кромок этими материалами;
- отжиг заготовки перед сваркой;
- назначение предварительного подогрева до температуры не более 250 °С при толщине стенки более 10 мм;
- выполнение сварки (заварки дефектов отливки) на пониженных режимах с охлаждением каждого последующего валика (при многослойной сварке) до температуры 100-200 °С с последующей его проковкой;
- проведение отжига изделия после сварки.