Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института, том XXIX, вып. 3, 1954 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СВИНЦОВЫХ ЛАТУНЕЙ[1]

Доц. Н. Н. Иванов-Скобликов

В ряде случаев, когда изделие подвергается химическим или механическим воздействиям, материалом для его изготовления служит латунь с присадкой свинца.

Специальная присадка свинца к латуни производится при изготовлении: а) проволоки, пруткового и листового материала, высокая ковкость которых сочетается с хорошей способностью к холодной обработке — сверлению и фрезерованию и б) сплавов для литья, в целях хорошей обработки их режущими инструментами. В этом случае обычно получается ломкая и короткая стружка.

Настоящий очерк является результатом исследований крайних пределов содержания свинца в латунях по ОСТ'ам и некоторых применяемых в промышленности особых видов латуней, содержащих свинец.

Введение

Предшествующие исследования в этой области касались вначале группы сплавов, содержащих медь (59—65%) и свинец (0,03—5,0%). Оказалось, что коэффициент эквивалентности свинца по отношению к цинку определить практически трудно. Повидимому, он близок к единице [1].

Предполагалось вначале, что свинец растворяется в α и β-латунях до 0,9%, причем предел растворимости не зависит от состава α или β-твердых растворов [1].

При более высоком содержании свинец становится видным под микроскопом, окружает в свободном состоянии зерна α-твердого раствора и резко сказывается на понижении механических качеств латуни. Если содержание свинца не превышает 0,9%, его влияние на механические качества латуней сравнительно незначительно.

Высказывалось мнение [2] о том, что введение свинца в латуни высокой прочности значительно понижает удлинение. Кроме того, присутствие свинца сказывается на понижении сопротивления латуней удару. Указывалось, что повышение содержания свинца от 0,05 до 2,1% в α + β-латунях снижает все механические характеристики сплавов (временное сопротивление, твердость, удельную вязкость, удлинение и

[1] Работа выполнена в ВАМИ и является частью более общей темы по подготовке материалов к стандартизации специальных латуней в СССР, проведенной под руководством профессора В. О. Гаген-Торна.

сжатие) [3]. Так, например, снижение временного сопротивления разрыву, удлинения и твердости в зависимости от повышения содержания свинца характеризовались данными, приведенными в диаграмме рис. 1.

Было установлено, что сплавы с 2,1% свинца в горячем состоянии обрабатывались несколько хуже сплавов с более низким содержанием свинца [3].

Излом сплавов сильно изменяется в зависимости от содержания свинца. Так, сплавы с 0,05—0,8% свинца характеризуются желтым шелковистым изломом, сплав с 1% свинца обладает уже желтовато-серым шелковистым изломом, тогда как сплав с 2,1% свинца имеет тот же шелковистый излом, но серо-желтого цвета.

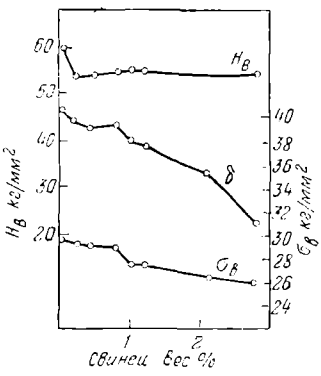


Рис. 1. Зависимость временного сопротивления, удлинения и твердости латуни от повышения содержания свинца [3]. H_B — твердость по Бринелю; δ — удлинение; σ_B — временное сопротивление разрыву

Содержание свинца до 0,8% микроскопически трудно установить. С повышением содержания свинца до 1% включения его видны в виде небольших точек. При повышении же содержания свинца до 2,1% на шлифе наблюдаются многочисленные точечные включения.

Временное сопротивление разрыву, удару и удлинение латуней с повышенным содержанием свинца падают, но резко улучшается способность к обработке резанием [4,5].

Встречались также указания на ограниченную растворимость свинца в том случае, когда α и β-латуни содержат до 0,5% свинца [6]. Свинец свыше 0,5% уже устанавливался микроскопически в виде нерастворимых глобулей, расположенных по границам зерен или внутри их.

Известны были интересные данные об испытании свинцовых латуней на удар при повышенных температурах на маятниковом копре при зажиме одного конца образца в тиски, помещенные в основании маятникового копра [6]. На рис. 2 приведены результаты этих исследований и для сравнения — данные для обыкновенной двойной латуни. Свинец в латуни очень слабо уменьшает сопротивление удару и заметно не сказывается на изменении пределов области хрупкости. Тем не менее, присутствуя как механическая примесь, он расширяет интервал хрупкости при всех температурах и для всех типов латуней. Так, небольшие количества свинца сказываются уже на хрупкости β-латуней. Присутствие свинца в α + β-латунях вызывает увеличение хрупкости при всех температурах, в α-латуни вызывает также понижение сопротивления на удар. Содержание свинца до 4% почти не оказывает влияния на крепость и вязкость латуней, кроме сплавов типа 57/43, удлинение которых заметно понижается от присутствия свинца в сплаве.

В дальнейших исследованиях затронуты были также латуни, содержащие от 52 до 80% меди и до 2,5% свинца [7]. Наличие свинца устанавливалось, начиная с 0,1% содержания его в латуни, откуда заключалось, что растворимость свинца в латуни не превышает 0,1%. Кроме того, отмечалось, что в латунях, отожженных при различных

температурах, а затем медленно охлажденных до обыкновенной температуры, устанавливать наличие свинца более удобно.

В литой α-латуни свинец сосредоточивается почти исключительно по границам α-зерен, затвердевших последними. В латуни с 61% меди и 2% свинца последний распределен в виде темных капелек по границам зерен. Отдельные единичные включения его, благодаря рекристаллизации, видны также внутри α-зерен. Таким образом, структура α-латуни существенно не изменяется от введения в нее свинца.

Влияние свинца резче сказывается на структуре β-латуни. Литая β-латунь, например, с 54% меди и 0,5% свинца, состоит обычно из больших полиэдрических зерен, внутри которых расположены точеч-

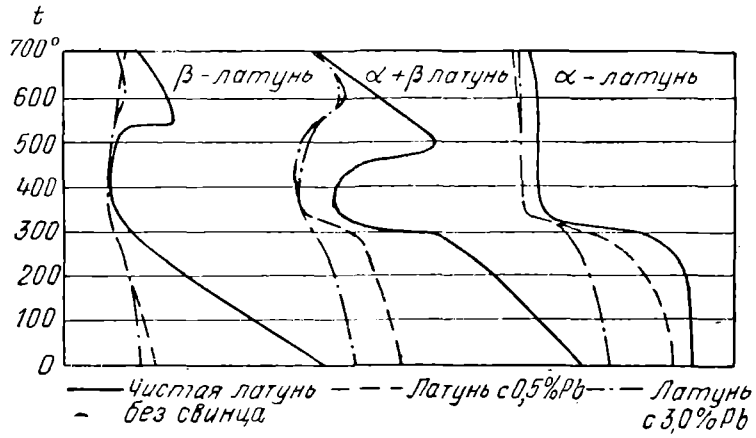


Рис. 2. Данные сравнительных испытаний простых и свинцовых латуней на удар при повышенных температурах [6]

ные выделения свинца. Литая β-латунь, содержащая свыше 0,5% свинца, уже заметно отличается по своему строению от такой же латуни с 0,5% свинца. Так, литая β-латунь, содержащая 1% свинца, обладает более тонким зерном, причем в некоторых местах можно наблюдать эвтектическую структуру.

С другой стороны, литая β-латунь с 54% меди и 2% свинца отличается от латуни с 1% свинца наличием значительных количеств тонкозернистых эвтектических образований. После специального отжига эти образования становятся незаметными, остаются лишь капельки свинца. Внутри же новых больших кристаллов появляется много тонких зернышек свинца.

Таким образом, отжиг β-латуней как бы способствует перемещению большого количества капелек свинца с границ β-зерен внутрь последних. В литой α+β-латуни, богатой медью и содержащей до 2,5% свинца, определение свинца даже при средних линейных увеличениях (порядка 300) становится затруднительным, так как неоднородная структура такой латуни отчасти маскирует тонкие свинцовые выделения. Однако при больших линейных увеличениях (порядка 900—1000) свинец становится видимым ясно. С понижением температуры β-кристаллы распадаются с выделением кристаллов α-твердого раствора, причем содержащая свинец основная масса β-зерен все более и более пронизывается иглами α-зерен.

На рис. 3 представлены частичные диаграммы состояния сплавов системы медь — цинк — свинец, содержащих от 52 до 65% меди, от 0 до 3% свинца и от 32 до 45% цинка при температурах 850 и 400° [7].

На рис. 4 представлена диаграмма состояния тройной системы медь — цинк — свинец при комнатной температуре [7]. Как видно из диаграммы, строение сплавов этой системы на всех участках, сравнительно с двойной системой медь — цинк, отличается лишь присутствием свинца.

Краткие общие выводы исследований по изучению тройной диаграммы состояния медь — цинк — свинец сводятся к следующим основным положениям.

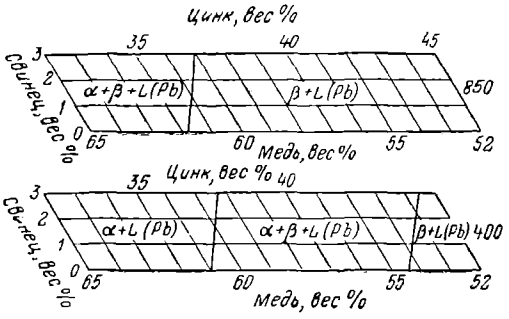


Рис. 3. Области тройной диаграммы состояния системы медь — цинк — свинец для сплавов, содержащих от 52 до 65% меди, от 0 до 3% свинца и от 32 до 45% цинка при температурах 850 и 400°

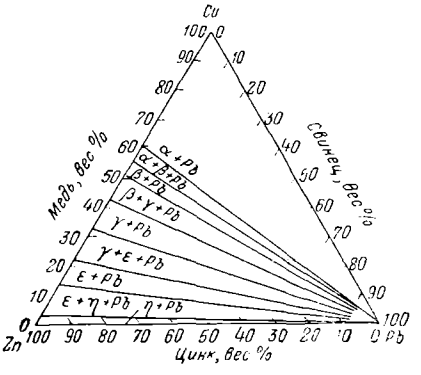


Рис. 4. Полная тройная диаграмма состояния системы медь — цинк — свинец при комнатной температуре

1. Затвердевание сплавов тройной системы медь — цинк — свинец совершается главным образом по типу двойных сплавов бинарной системы медь — свинец.

2. Богатые медью сплавы, содержащие выше 67% меди, разделяются на два слоя в интервале температур 890—954°

3. Структура сплавов системы медь — цинк — свинец по окончании расслаивания обусловливается практической нерастворимостью жидкого и твердого свинца ни в α, ни в β-кристаллах. Содержание свинца даже в количестве 0,1% после соответствующего отжига можно наблюдать во всех сплавах этой системы.

4. При сравнении двойных медно-цинковых и тройных медно-цинково-свинцовых сплавов с одним и тем же процентным содержанием меди видно, что пограничные линии структурных областей α с α+β и α+β с β лежат в тройной системе при более высоких температурах. Такое положение этих линий вызывается присутствием в сплавах свинца.

При сравнении двойных и тройных сплавов систем медь — цинк и медь — цинк — свинец, в которых сохраняется одно и то же отношение между медью и цинком, видно, что положение пограничных линий этих структурных областей сохраняется при тех же температурах. Изотермы пограничных линий представляют собой прямые линии, проходящие через точку состояния свинца.

1. Приготовление сплавов

Основными исходными материалами для приготовления исследуемых сплавов были: 1) катодная медь чистоты 99,98%, содержавшая 0,002—0,003% сурьмы и следы олова при полном отсутствии свинца; 2) электролитический цинк со следами железа; 3) свинец, содержавший 0,002% сурьмы, следы мышьяка и олова (содержание серы химанализом не обнаружено). Состав и структура изготовленных для исследования сплавов характеризуются табл. 1.

Таблица 1

Химический состав экспериментальных свинцовых латуней

Номер сплава	Состав сплава по шихте, вес, %			Химический состав сплава по данным анализа, вес, %		Структура сплава
	медь	цинк	свинец	медь	свинец	
			α-сплавы			
1	63,0	35,0	2,0	63,32	1,77	α
2	65,5	34,5	—	65,16	—	α
3	67,0	30,0	3,0	67,05	2,99	α
4	74,0	23,5	2,5	73,80	2,60	α
			α + β-сплавы			
5	59,0	41,0	—	58,74	—	α + β
6	59,0	38,5	2,5	59,26	2,61	α + β
7	59,0	39,5	1,5	59,76	1,64	α + β

2. Технологические испытания

Загибные испытания. Предварительные загибные испытания, задачей которых было выявление примерных интервалов обрабатываемости, позволили установить следующее (рис. 5, 6 и табл. 2).

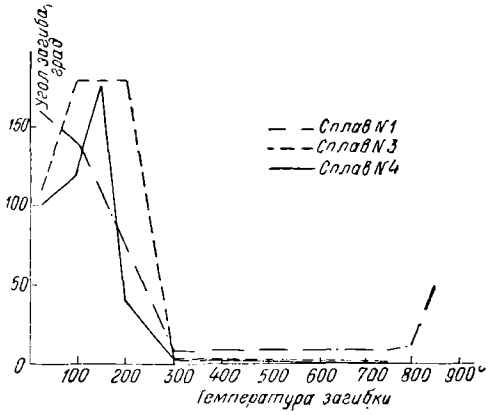


Рис. 5. Зависимость максимальных углов загиба свинцовых α-латуней от температуры

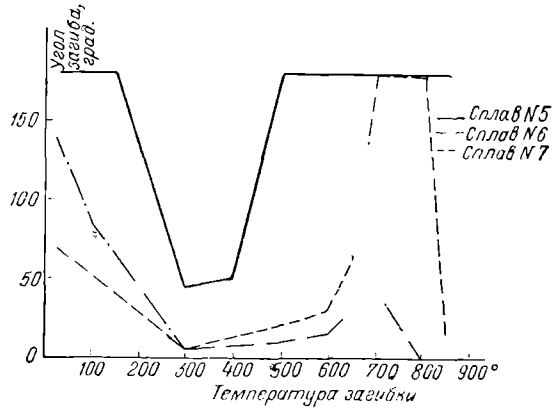


Рис. 6. Зависимость максимальных углов загиба свинцовых α + β-латуней от температуры

Для α-латуней наилучшая пластичность оказалась при 150°, выше 300° все сплавы обладают очень малой пластичностью.

Таблица 2

Результаты загибных испытаний литых свинцовых латуней при различных температурах

Номер сплава	Химический состав сплава, вес %		Угол загиба образца (град.) при температуре, град.													
	медь	свинец	20	100	150	200	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900
α-свинцовые латуни																
1	63,32	1,77	160	140	—		8	—	—	—	—		8	10	50	P[1]
2	65,16		180	—	180	—	80	30					8	180	180	P
3	67,05	2,99	110	180	180	180	3			—			0			
4	73,80	2,60	100	120	180	40	3	—				—	0		—	
α + β-свинцовые латуни																
5	58,74		180		180	—	45	50	180	—	—	180		180	180	P
6	59,26	2,61	140	85	—		5		10	15	30	45	—	0	—	
7	59,76	1,64	70			—	5	—	20	30	60	180	—	180	15	P

[1] Буквой P обозначены образцы, рассыпавшиеся на куски при взятии их в печи щипцами.

Для α + β-латуней общее очертание кривых, характеризующих загибку, очень сходно с аналогичными кривыми для двойных латуней, не содержащих свинца. Тем не менее, с увеличением содержания свинца пластичность сплавов падает как в области нормальной температуры, так и при повышении температуры до 800° При этом только кривая сплава с 1,5% свинца совпадает с кривой двойной α + β-латуни. Зерна загибных образцов у большинства исследованных сплавов после различных температур нагрева оказались мелкими.

Испытания на загиб показали, что обработку лучше всего производить при нормальной температуре.

Испытание резанием на снятие стружки. Испытание резанием производилось над литыми крешерами диаметром 13,5 и длиной 20 *мм*. Испытания велись на токарном станке при 20 *об/мин*, скорости подачи резца 47 *мм/мин*. и глубине резания 0,5 *мм*.

Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристика стружки при испытании резанием свинцовых латуней

Номер сплава	Химический состав сплава, вес. %		Характеристика стружки
	медь	свинец	
		α-свинцовые латуни	
1	63,32	1,77	Сыпучая
2	65,16	—	Витая или связанновитая
3	67,05	2,99	Сыпучая
4	73,80	2,60	Грубосыпучая или сыпучая Мелковитая
		α + β-свинцовые латуни	
5	58,74	—	Связанновитая или тонковитая
6	59,26	2,61	Сыпучая или мелкосыпучая
7	59,76	1,64	То же

На основании проведенных испытаний можно сделать ряд практических выводов.

При сравнении результатов испытаний сплава № 6 (меди — 59,26% и свинца — 2,61%) и № 7 (меди — 59,76% и свинца — 1,64%) видно, что стружка в обоих случаях получается одинаковой. Следовательно, нет особых оснований доводить содержание свинца в полуфабрикатах выше 1,5%.

При сравнении результатов испытаний сплава № 1 (меди — 63,32% и свинца — 1,77%), № 3 (меди — 67,05 и свинца — 2,99%) и № 4 (меди — 73,80% и свинца 2,60%) видно, что в первых двух сплавах стружка получается сыпучая и имеет некоторую разницу в цвете. Сплав же № 4 дает грубосыпучую (сыпучую, мелковитую) стружку. Таким образом, испытания резанием показывают, что нет никаких

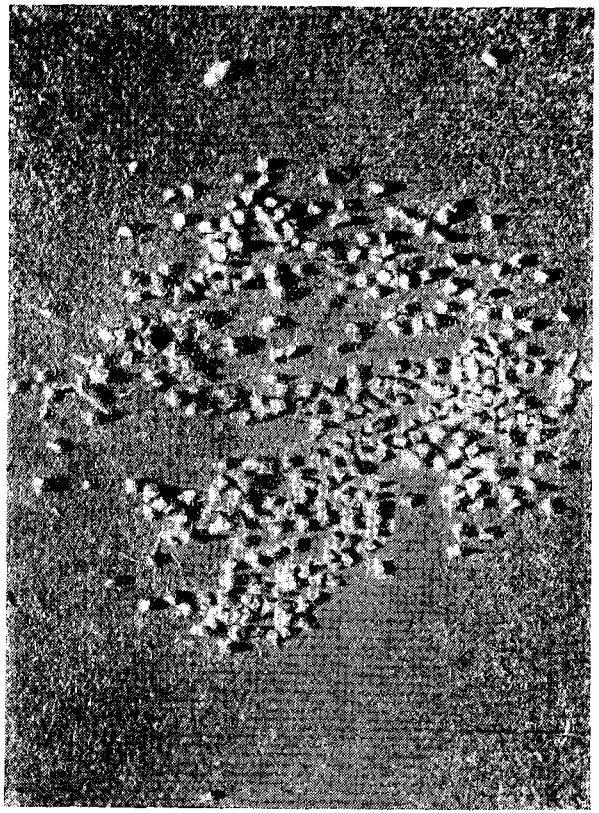


Рис. 7. Сыпучая (или мелкосыпучая) стружка, полученная при обработке резанием свинцовой латуни с 59,26% меди и 2,61% свинца

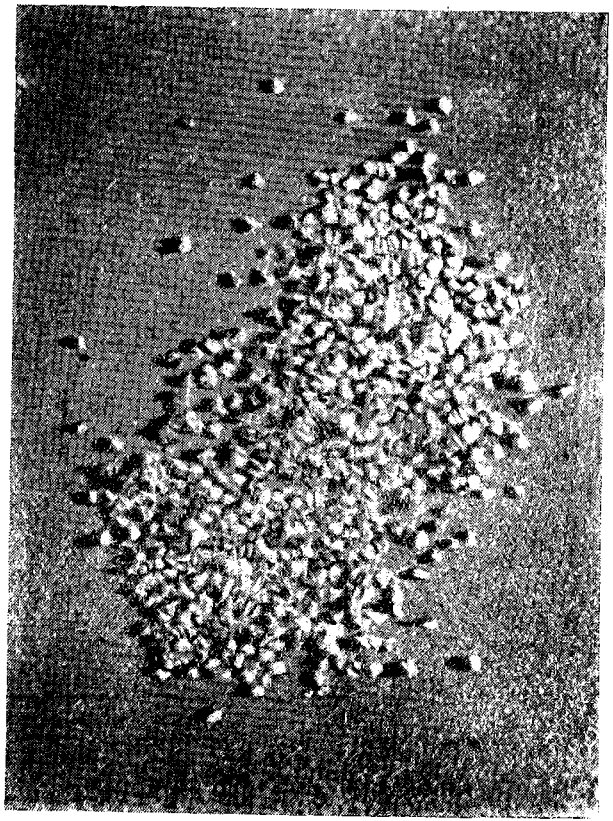


Рис. 8. Сыпучая (или мелкосыпучая) стружка, полученная при обработке резанием свинцовой латуни с 59,76% меди и 1,64% свинца

оснований применять высокомедистые сплавы (73,8% меди), когда лучшие результаты дают сплавы более бедные медью (63,3—67%). На рис. 7, 8 и 9 представлен вид стружки, полученной при обработке резанием образцов $\alpha + \beta$-латуней без свинца и со свинцом.

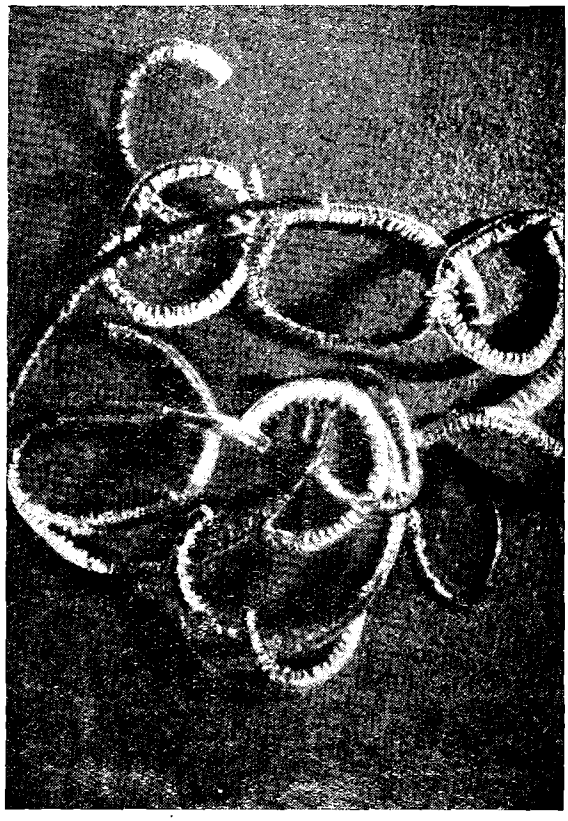


Рис. 9. Связанновитая (или тонковитая) стружка, полученная при обработке резанием латуни с 58,74% меди (без свинца)

3. Механические испытания

Все сплавы, подвергшиеся испытаниям, отливались в виде лабораторных слитков (165 × 80 × 32 *мм*). Отливка велась в чугунные изложницы. После шабровки поверхности слитки поступали в прокатку в заводских условиях. При прокатке рванин не образовалось.

Прокатанные на полосы (по схеме табл. 4) свинцовые латуни были подвергнуты испытаниям на твердость и разрыв в непосредственно катанном виде и отожженном при различных температурах. Отожженные сплавы были также испытаны на продавливаемость по Эриксену.

Механические характеристики сплавов приведены в табл. 5, 6 и 7, диаграммы рис. 10, 11 и 12 иллюстрируют графически изменение этих характеристик.

Твердость $\alpha + \beta$-латуней в нагартованном виде несколько возрастает (до 1,5% свинца). С дальнейшим увеличением содержания

Таблица 4

Схема прокатки свинцовых латуней[1]

Номер сплава	Первая прокатка	Вторая прокатка	Третья прокатка	Четвертая прокатка	Пятая прокатка	Шестая прокатка	Седьмая прокатка
			α-свинцовые латуни				
1	с 31 на 18 *мм* в 25 проходов	с 18 на 15 *мм* в 10 проходов	с 15 на 9,9 *мм* в 6 проходов	с 9,9 на 5,8 *мм* в 6 проходов	с 5,8 на 2,85 *мм* в 5 проходов	с 2,85 на 1,5 *мм* в 5 проходов	с 1,5 на 1 *мм* в 4 прохода
2	с 31 на 12 *мм* в 25 проходов	с 12 на 10 *мм* в 6 проходов	с 10 на 4 *мм* в 8 проходов	с 4 на 1,5 *мм* в 10 проходов	с 1,5 на 1,0 *мм* в 4 прохода	—	
3	с 31 на 19 *мм* в 25 проходов	с 19 на 15 *мм* в 10 проходов	с 15 на 10 *мм* в 6 проходов	с 10 на 6,1 *мм* в 6 проходов	с 6,1 на 2,85 *мм* в 6 проходов	с 2,85 на 1,5 *мм* в 5 проходов	с 1,5 на 1,0 *мм* в 4 прохода
4	с 31 на 17 *мм* в 25 проходов	с 17 на 15 *мм* в 10 проходов	с 15 на 10 *мм* в 7 проходов	с 10 на 6 *мм* в 6 проходов	с 6,0 на 2,85 *мм* в 6 проходов	с 2,85 на 1,5 *мм* в 5 проходов	с 1,5 на 1,0 *мм* в 4 прохода
			α + β-свинцовые латуни				
5	с 31 на 14 *мм* в 25 проходов	с 14 на 10 *мм* в 6 проходов	с 10 на 4 *мм* в 8 проходов	с 4 на 1,5 *мм* в 10 проходов	с 1,5 на 1 *мм* в 4 прохода	—	
6	с 31 на 22 *мм* в 25 проходов	с 22 на 15 *мм* в 16 проходов	с 15 на 10 *мм* в 6 проходов	с 10 на 5,95 *мм* в 6 проходов	с 5,95 на 2,85 *мм* в 6 проходов	с 2,85 на 1,5 *мм* в 5 проходов	с 1,5 на 1,0 *мм* в 4 прохода
7	с 31 на 21 *мм* в 25 проходов	с 21 на 15 *мм* в 16 проходов	с 15 на 9,9 *мм* в 6 проходов	с 9,9 на 6,1 *мм* в 6 проходов	с 6,1 на 2,85 *мм* в 6 проходов	с 2,85 на 1,5 *мм* в 5 проходов	с 1,5 на 1,0 *мм* в 4 прохода

[1] Все сплавы прокатывались при нормальной температуре. После каждой прокатки и отжига (при 700° в течение 3 час.) материал травился в 6-процентном растворе серной кислоты (при нормальной температуре) в течение 15 мин., затем промывался в теплой воде (30°) и сушился на воздухе на стеллажах.

Таблица

Испытание на твердость по Бринелю катанных свинцовых латуней

Номер сплава	Химический состав сплава, вес.%		Твердость 5/250/30, *кг/мм²*			Твердость 10/500/30, *кг/мм²*				
	медь	свинец	после прокатки	после отжига, катанки при 600° 1 час	после выпрямления, отжига и шлифовки	после прокатки	отжиг 1 час при 500°	отжиг 1 час при 600°	отжиг 1 час при 700°	отжиг 1 час при 800°
1	63,32	1,77	130,8	56,8	68,1	137,4	54,1	50,3	47,5	47,8
2	65,16		161,0	47,1	57,8	52,4	50,6	48,3	41,5	42,2
3	65,05	2,99	122,6	62,4	69,5	121,0	58,2	49,8	46,5	40,9
4	73,80	2,60	111,2	55,3	78,8	145,8	56,8	53,4	50,6	45,4
5	58,74	—	163,0	85,0	83,0	80,2	72,0	69,5	73,0	67,2
6	59,26	2,61	148,0	73,2	68,8	137,4	65,9	62,1	65,5	59,4
7	59,76	1,64	144,0	71,7	73,2	134,8	62,5	60,1	63,8	54,8

Таблица 6

Результаты разрывных испытаний катанных и отожженных свинцовых α и α + β-латуней

Номер сплава	Химический состав сплава, вес. %		Механические характеристики сплавов															
			Наклепанные образцы		отжиг при 500° 1 час		отжиг при 550° 1 час		отжиг при 600° 1 час		отжиг при 650° 1 час		отжиг при 700° 1 час		отжиг при 750° 1 час		отжиг при 820° 1 час	
	медь	свинец	временное сопротивление, *кг/мм²*	относительное удлинение, %	временное сопротивление, *кг/мм²*	относительное удлинение, %	временное сопротивление, *кг/мм²*	относительное удлинение, %	временное сопротивление, *кг/мм²*	относительное удлинение, %	временное сопротивление, *кг/мм²*	относительное удлинение, %	временное сопротивление, *кг/мм²*	относительное удлинение, %	временное сопротивление, *кг/мм²*	относительное удлинение, %	временное сопротивление, *кг/мм²*	относительное удлинение, %
α-свинцовые латуни																		
1	63,32	1,77	44,6	18,9	32,1	62,2	32,0	66,7	30,6	63,2	29,7	59,9	29,4	57,9	29,4	63,6	29,3	66,4
2	65,16	—	43,5	18,7	32,1	68,9	31,7	67,7	29,9	70,5	28,6	68,45	27,6	61,9	27,1	65,3	27,0	64,8
3	67,05	2,99	47,8	13,8	32,5	69,5	32,5	61,1	31,0	62,7	30,4	64,0	29,6	60,2	29,4	60,5	29,03	65,3
4	73,80	2,60	51,3	12,1	32,4	60,9	32,0	62,8	30,5	64,7	29,4	62,5	28,7	60,0	28,5	65,8	28,9	68,7
α + β-свинцовые латуни																		

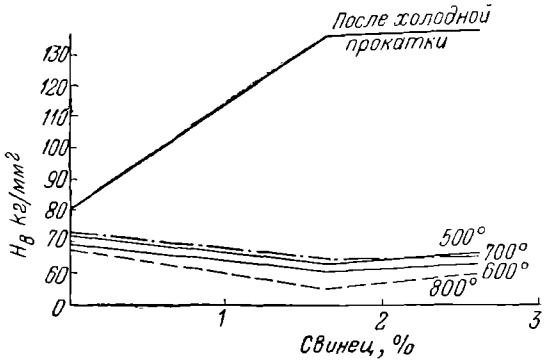


Рис. 10. Зависимость твердости свинцовых $\alpha + \beta$-латуней от содержания свинца и температуры отжига

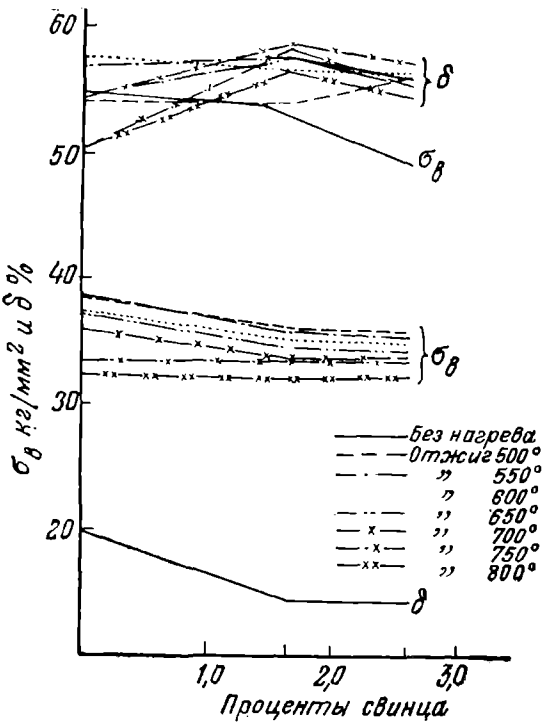


Рис. 11. Зависимость временного сопротивления разрыву и удлинения $\alpha + \beta$-свинцовых латуней от содержания свинца и температуры отжига

Таблица 7

Результаты испытаний свинцовых латуней (по Эриксену)

Номер сплава	Химический состав сплавов, вес. %		Средняя глубина колпачка, *мм*
	медь	свинец	
	α-свинцовые латуни		
1	63,32	1,77	12,9
2	65,16	—	13,32
3	67,05	2,99	13,03
4	73,80	2,60	12,35
	α + β-свинцовые латуни		
6	59,26	2,61	11,98
7	59,76	1,64	12,35

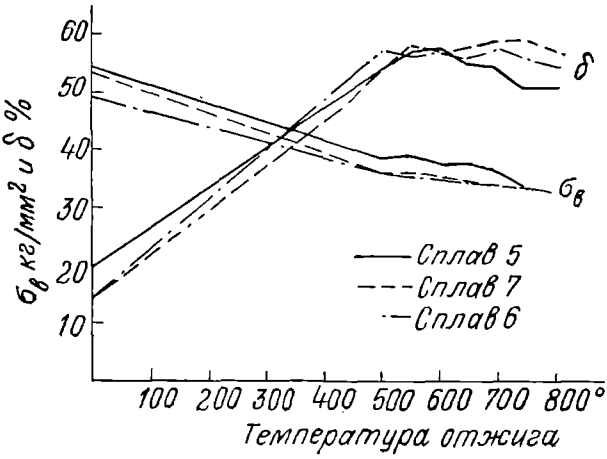


Рис. 12. Зависимость временного сопротивления разрыву и удлинения свинцовых α + β-латуней от температуры отжига

свинца (от 1,5 до 3%) нарастание твердости происходит очень медленно (рис. 10).

Временное сопротивление свинцовых латуней в нагартованном состоянии несколько падает с повышением содержания свинца.

С повышением температуры отжига разница в крепости сплавов, независимо от повышения содержания свинца, пропадает. Так например, для сплавов, отожженных при 750 и 820°, временное сопротивление сплавов, содержащих от 0 до 2% свинца, численно равноценно. Удлинение в нагартованных сплавах несколько снижается с повышением содержания свинца. В слабо отожженных сплавах (500°) с повышением содержания свинца наблюдается довольно небольшой подъем удлинения. При дальнейшем повышении температуры отжига, с увеличением содержания свинца (до 1,5%), удлинение несколько нарастает. Дальнейшее повышение количества свинца влечет за собой некоторое падение удлинения (рис. 11).

4. Металлографические исследования

Металлографические исследования имели целью выяснение растворимости свинца в сплавах типа α и α + β.

Для исследования были использованы сплавы: № 6 (α + β), содержащий 59,26% меди и 2,61% свинца, и № 4 (α), содержащий 73,80% меди и 2,60% свинца.

Микроструктура обоих литых сплавов представлена на рис. 13 и 14 (сплав № 4 — α-латунь) и на рис. 15 и 16 (сплав № 6 — α + β-латунь). Как видно на микроснимках, в образце α-латуни наблюдается довольно много включений свинца, тогда как в образце α + β-латуни — только отдельные точки включений свинца.

Литые образцы были прокатаны вхолодную на лабораторном прокатном стане по схеме:

1) прокатка с 13,5 на 8 *мм* в 8 проходов;
2) отжиг при 650° в течение 20 *мин.*;
3) прокатка с 8 на 5 *мм* в 5 проходов.

Микроструктура прокатанной вхолодную полосы сплава № 6 α + β-латуни приводится на рис. 17 и 18, а сплава № 4 α-латуни на рис. 19.

При таком же аналитическом содержании (2,60 — 2,61%) свинец виден на шлифах α-латуни в значительно большем количестве, чем на шлифах α + β-латуни. Кроме того, отмечено, что видимое количество свинца после прокатки и отжига заметно увеличилось (ср. рис. 16 и 18). Однако, как показывают микрофотографии, включений свинца в этом случае видно все же немного.

Отдельные куски полос обоих сплавов были подвергнуты специальной термообработке:

1) отжиг при 850° в течение часа, охлаждение вместе с печью;
2) закалка в растворе хлористого натрия со льдом после предварительного нагрева при 850° в течение часа.

В результате отжига как на образце № 6 (α + β-латунь, рис. 20), так и № 4 (α-латунь, рис. 21) появилось большое количество свинцовых включений. Но и здесь количество свинца на гилифах α + β-латуней значительно меньше, чем на гилифах α-латуней.

Закалка в случае α + β-латуни (рис. 22) дает типичную картину β-фазы с легкой оторочкой перистых α-кристаллов по границам зерен. Включения свинца пронизывают β-зерна; α-латунь (рис. 23) после закалки имеет ту же полиэдрическую структуру с довольно крупными включениями свинца. При сопоставлении рис. 22 и 23 обнаруживаются более крупные включения свинца только в α-латуни. Разница же в его количестве вряд ли может быть отмечена.

Таким образом, наблюдавшаяся несомненная разница в количестве структурно свободного свинца в обоих сплавах с увеличением операций механической и термической обработок все уменьшается и происходит все большее распадение имевшегося твердого раствора свинца в β-фазе.

Так как наиболее вероятным являлось предположение о том, что свинец, полностью растворяясь в жидком состоянии в латуни, не успевает выпасть из раствора во время охлаждения, то было решено поставить контрольный опыт. Был приготовлен новый сплав № 6 и после расплавления из одного и того же тигля сделаны следующие отливки: 1) первая и последняя четверти тигля были залиты в воду;

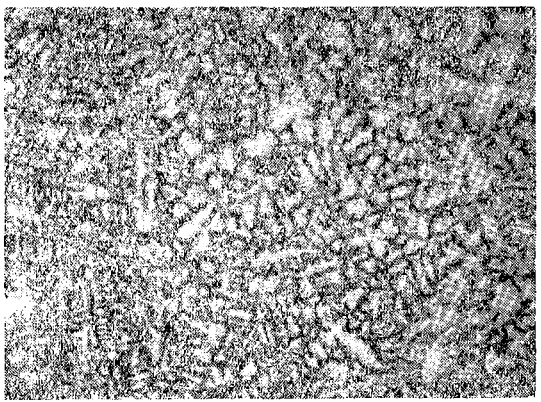


Рис. 13. Микроструктура литого сплава α-свинцовой латуни (медь 73,8%, свинец 2,6%). ×55

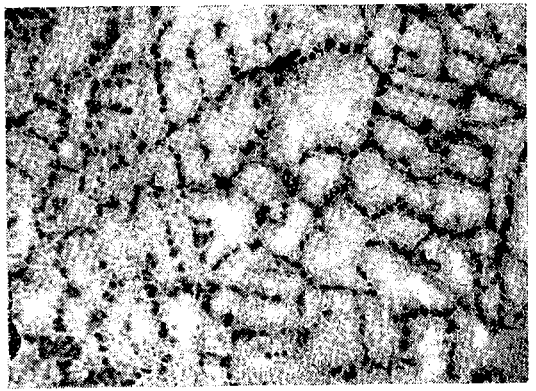


Рис. 14. Микроструктура литого сплава α-свинцовой латуни (медь 73,8% и свинец 2,6%). ×215

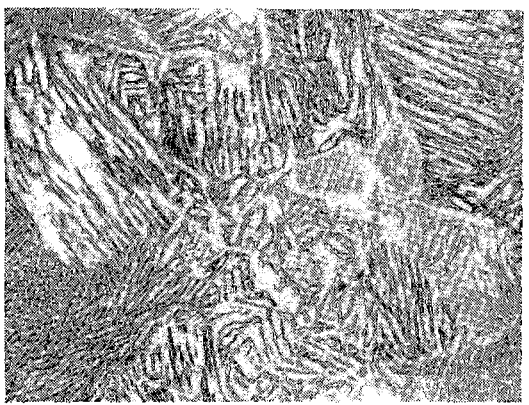


Рис. 15. Микроструктура литого сплава α + β-свинцовой латуни (медь 59,26%, свинец 2,61%). ×215

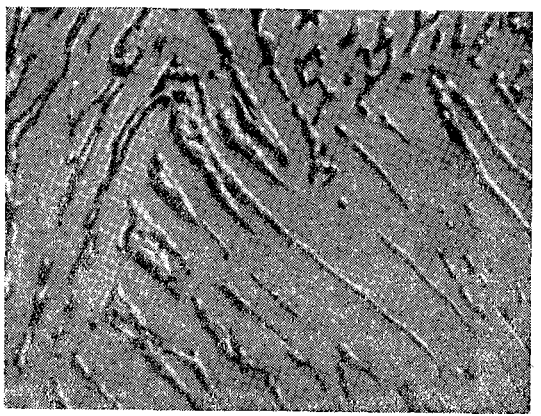


Рис. 16. Микроструктура литого сплава α + β-свинцовой латуни (медь 59,26%, свинец 2,61%). ×1780

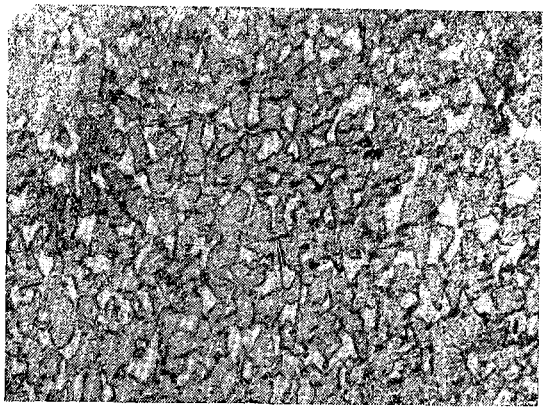


Рис. 17. Микроструктура прокатанной вхолодную полосы α + β-латуни (медь 59,26%, свинец 2,61%). × 215

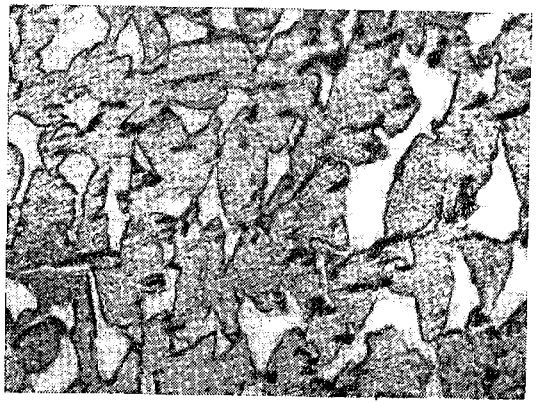


Рис. 18. Микроструктура прокатанной вхолодную полосы α + β-латуни (медь 59,26%, свинец 2,61%). × 510

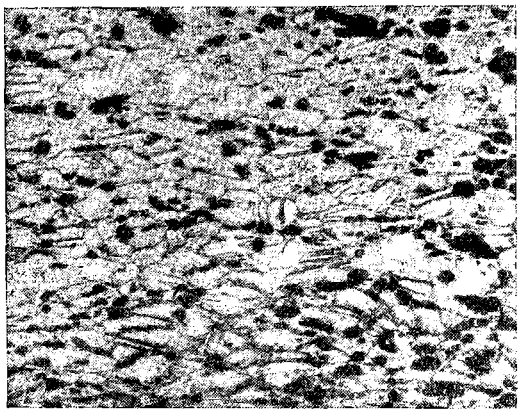


Рис. 19. Микроструктура прокатанной полосы сплава α-латуни (медь 73,8%, свинец 2,6%). × 215



Рис. 20. Микроструктура α + β-свинцовой латуни (медь 59,26%, свинец 2,61%) после прокатки и отжига при 850° в течение часа и охлаждения вместе с печью. × 215

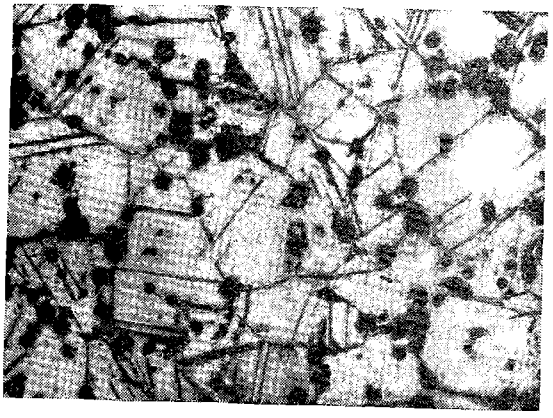


Рис. 21. Микроструктура α-свинцовой латуни (медь 73,8%, свинец 2,6%) после прокатки и отжига при 850° в течение часа и охлаждения вместе с печью. × 215

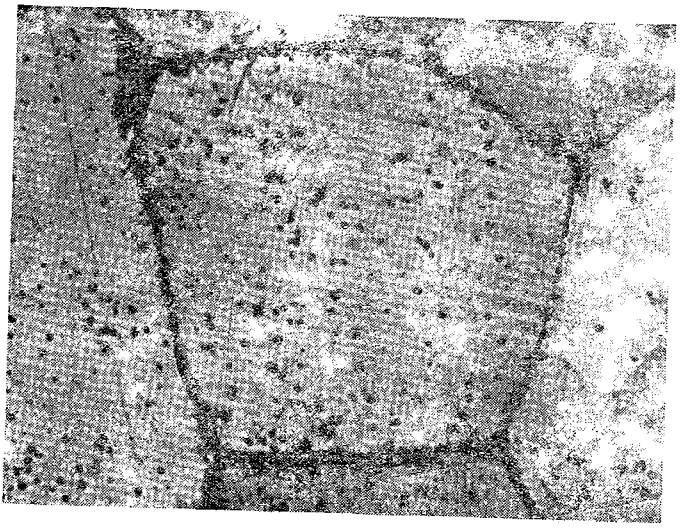


Рис. 22. Микроструктура α+β-свинцовой латуни (медь 59,26%, свинец 2,61%) после прокатки, последующего нагрева и закалки при 850° в растворе хлористого натрия со льдом. × 215

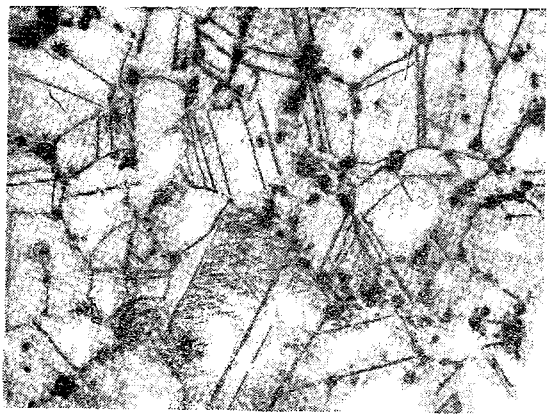


Рис. 23. Микроструктура α-свинцовой латуни (медь 73,8%, свинец 2,6%) после прокатки, последующего нагрева и закалки при 850° в растворе хлористого натрия со льдом. × 215

2) вторая и третья четверти тигля были залиты в землю. Затем от каждого из отлитых кусков изготовлены микрошлифы.

Просмотр этих шлифов под микроскопом показал, что шлифы, отлитые в воду, имеют очень незначительные количества свинцовистых включений (0,05—0,1%). Отливка же образцов в землю дала большее содержание свинца (0,20—0,25%).

Для большей убедительности сплав № 7 (1,64% свинца) был расплавлен и залит в воду. Ближайший просмотр полученных образцов под микроскопом (при линейном увеличении 500) обнаружил включения свинца в виде очень мелких точек. Общее число этих точек по сравнению со сплавом № 6 (2,61% свинца) меньше и сами точки мельче.

Таким образом, свинец, будучи полностью растворен в жидком сплаве, при быстром охлаждении сплавов $\alpha+\beta$-группы, повидимому, удерживается в твердом растворе. Такого явления не наблюдается у сплавов α-группы. Кроме того, по мере дальнейшей механической и термической обработок в $\alpha+\beta$-сплавах происходит постепенное выпадение свинца, а в α-сплавах — его укрупнение (коагуляция). В итоге конечное, видимое под микроскопом, содержание свинца выравнивается в обоих сплавах и разница сводится только к тому, что в α-сплавах включение свинца крупнее и, соответственно, малочисленнее, чем в сплавах $\alpha+\beta$.

Полученный экспериментальный материал наводит на мысль о том, что существуют какие-то условия, при которых растворимость свинца в β-фазе превышает даже 1,5% при температурах, близких к солидусу.

5. Коррозионные испытания

Для производства коррозионных испытаний путем травки на растрескивание были использованы отожженные при 600° пластинки, отрезанные от прокатанных полос (толщиной 1 *мм*). На пластинках путем штамповки конусом Эриксена (не доводя до разрушения) были получены одни и те же колпачки. Таким образом, на пластинках удавалось получить 3—5 колпачков. Пластинки с колпачками подвергались предварительной травке в водном растворе азотной кислоты (1 : 1), основательно промывались в проточной воде и помещались во влажную аммиачную атмосферу (в специальной камере), где находились в течение пяти суток.

По окончании травки на растрескивание полоски были вновь протравлены в растворе азотной кислоты той же концентрации, основательно промыты в проточной воде и высушены. В результате на одних колпачках появились трещины различной толщины и глубины, на других не удалось обнаружить даже и следа каких бы то ни было трещин.

Затем полоски дополнительно испытывались небольшим изгибом с целью более резкого выявления трещин или разрушения самих пластин. Большая часть пластин при легком двустороннем изгибе легко разламывалась на части, некоторые дали сравнительно мелкие трещины у основания колпачков и при изгибе не разламывались. И, наконец, небольшое число пластин не дало никаких трещин и не разламывалось даже при многократном изгибе.

Результаты коррозионных испытаний сплавов во влажной аммиачной атмосфере приведены в табл. 8.

Таблица 8

Результаты коррозионных испытаний сплавов на склонность к растрескиванию

Колпачки разламывались на куски			Колпачки дали легкие трещины			Колпачки не изменились		
номер сплава	содержание меди, вес. %	содержание свинца, вес. %	номер сплава	содержание меди, вес. %	содержание свинца, вес. %	номер сплава	содержание меди, вес. %	содержание свинца, вес. %
1	63,32	1,77	—			—		—
2	65,16	—				—	—	—
	—					3	67,05	2,99
—	—			—		4	73,80	2,60
5	58,74		—	—	—	—	—	—
—	—	—	6	59,26	2,61			
7	59,76	1,64	—	—	—			—

Таким образом, совершенно бесспорно, что α-латуни, содержащие 67—74% меди, прекрасно противостоят растрескиванию, если в них содержится от 2,5 до 3% свинца. Несколько хуже ведут себя сплавы типа Л60, содержащие 2,5% свинца. Очень плохо противостоят растрескиванию латуни типа 60—63% меди, содержащие 1,5—1,8% свинца.

Следовательно, наилучшими сплавами в отношении „самопроизвольного растрескивания" являются свинцовистые α-латуни.

Заключение

1. Исследовалась группа сплавов с содержанием меди от 59,3 до 73,8% и свинца от 0 до 3%.

2. С изменением содержания свинца примерно при одном и том же количестве меди в α+β-сплавах не наблюдается сколько-нибудь заметного изменения механических качеств по сравнению с нормальными двойными латунями.

Отдельные промышленные сплавы типа часовых латуней, отличающиеся друг от друга, главным образом, различным содержанием меди (63,32—73,8%), обладают совершенно одинаковыми механическими свойствами при колебаниях содержания свинца от 1,8 до 3%.

Средние механические характеристики этих сплавов следующие: временное сопротивление разрыву — 30,5—31 *кг/мм*^{2}; относительное удлинение — 63%; твердость по Бринелю — 50—53 *кг/мм*^{2}.

Таким образом, нет никаких оснований на практике (в частности в часовом деле) применять высокомедистые сплавы (73—74% меди), когда несомненно лучшие результаты при испытании резанием на снятие стружки дают сплавы более бедные медью (63—67%). Механические характеристики и штампуемость по Эриксену у этой группы латуней, как показала настоящая работа, не уступают сплавам более богатым медью.

3. При переходе из жидкого состояния в твердое, даже при не очень быстром охлаждении (например, отливка в землю), свинец по-видимому, удерживается в твердом растворе в β-фазе, и только в результате последующих деформаций и отжига происходит его выпадение.

Обратный переход свинца в раствор, очевидно, настолько затруднителен, что часового нагрева при 850° при последующем быстром охлаждении в водном растворе поваренной соли со льдом для этого перехода недостаточно.

Может быть этим обстоятельством и объясняются отмечающиеся, но далеко не всегда наблюдаемые, различия в распределении свинца в $\alpha + \beta$-латуни: свинец одинаково нерастворим, как в α, так и в β-твердом растворах, и вся разница в том, что он располагается внутри β-зерен и по границам α-зерен.

4. Наилучшими сплавами в отношении „самопроизвольного растрескивания" являются свинцовистые α-латуни.

Повышение содержания свинца в сплавах типа $\alpha + \beta$ (в частности в латуни ЛС-59) несколько повышают стойкость по саморастрескиванию этого типа латуней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Guillet Z. Revue de Metallurgie, 1905, № 2, 1906, № 3.
2. Ellis O. Trans and Bull. Amer. Foundr. Assoc., 1928, № 36.
3. Hanser K. Zeitschr. f. Metallkunde, 1924, № 16.
4. Johnson F. Iourn. Inst. Metals, 1912, № 7.
5. Parravano, Mazetti, Morretti. Gazetta chimica Italiana, 1914, № 2.
6. Bunting. Iourn. Inst. Metals, 1925, № 33.
7. Baner D. u. Hansen M. Zeitschr. f. Metallkunde, 1929, № 5 u. № 6.

Поступило
28 XI 1952 г.