

ИЗВѢСТІЯ

Томскаго Технологическаго Института Императора Николая II.

т. XXV. 1912. № 1.

О бронзахъ вообще и о колокольныхъ въ частности.

Бронза одинъ изъ тѣхъ металловъ, примѣненіе котораго для различныхъ цѣлей жизненнаго обихода относится къ глубокой древности. Такъ, если мы на основаніи тѣхъ остатковъ древней культуры, которые дошли до насъ, будемъ судить о времени начала примѣненія бронзы въ древнемъ Египтѣ, Ассиріи и Вавилоніи, то должны прійти къ заключенію, что древніе народы указанныхъ странъ примѣняли бронзу въ эпоху за много тысячелѣтій до Р. Х.

Въ нѣкоторыхъ пирамидахъ, происхожденіе которыхъ современными археологами относится къ временамъ фараона Menkaure (Mencheres), жившаго за 3633 г. до Р. Х., основанія этихъ пирамидъ изготовлены изъ тесанаго гранита, а для изготовленія подобнаго основанія необходимъ твердый рѣзущій инструментъ. Далѣе, во многихъ древнихъ пирамидахъ были найдены деревянныя издѣлія и статуэтки удивительно изящной и тонкой работы. Затѣмъ въ 1897—1896 г.г. Quibell'емъ въ El-Kab'ѣ была найдена чаша изъ діорита съ надписью Snefru¹⁾, относящейся къ 3766 г. до Р. Х. Для изготовленія такихъ изящныхъ издѣлій изъ дерева, а тѣмъ болѣе изъ весьма твердаго діорита, необходимъ соотвѣтствующій твердый инструментъ, и матеріаломъ для такого инструмента, какъ это ясно видно изъ переводовъ сохранившихся надписей того періода египетской культуры, была бронза. Во многихъ папирусахъ древняго Египта упоминается о бронзѣ какъ весьма распространенномъ матеріалѣ того періода. Такъ въ прекрасно сохранившемся папирусѣ Harris'a²⁾, находящемся въ Британскомъ музеѣ, имѣется обращеніе Ramses'a II, на 32 году правленія, т. е. за 1288 лѣтъ до Р. Х., къ своимъ чиновникамъ и народу, въ которомъ Ramses говоритъ:

„Я сдѣлалъ ему сосуды изъ хорошаго золота, остальные изъ серебра и бронзы не сосчитать“.

„Его двери и его столбы изъ золота, оправлены въ бронзу“ и т. д. Такимъ образомъ, на основаніи существующаго у насъ матеріала,

¹⁾ В. Скиндеръ. Бронза и ея исторія съ древнѣйшихъ временъ. Стр. 8. 1908 г. С.-Петербургъ.

²⁾ Скиндеръ. Бронза. Стр. 12. С.-Петербургъ. 1908 г.

мы можемъ съ увѣренностью заключить, что за много тысячелѣтій до Р. Х. бронза въ Египтѣ была весьма распространеннымъ металломъ

Обращаясь теперь къ древней культурѣ Ассиріи и Вавилоніи и разсматривая ее по отношенію примѣненія бронзы, мы на основаніи сохранившихся остатковъ этой культуры приходимъ къ заключенію, что и здѣсь бронза была весьма древнимъ металломъ по примѣненію. Многіе памятники письменности свидѣтельствуютъ о томъ, что бронза примѣнялась въ Ассиріи и Вавилоніи за много тысячелѣтій до Р. Х.

Нѣкоторыя бронзовыя находки, какъ на примѣръ двѣ бронзовыхъ фигуры, найденныя Sarzlc'омъ³⁾ при раскопкѣ въ Fellah'ѣ имѣютъ надписи, относящіяся къ 2900 г. до Р. Х. Въ Louvre'скомъ музеѣ въ Парижѣ находится бронзовая коневоора⁴⁾, изготовленіе которой по надписи имѣющейся на ней надо отнести къ періоду за 2000 л. до Р. Х. Затѣмъ при раскопкахъ произведенныхъ Layard'омъ въ древней Ниневіи были найдены 28 разновѣсовъ, изъ которыхъ 15 были изъ бронзы. Словомъ имѣющіеся остатки древнѣйшей культуры Египта, Ассиріи и Вавилоніи съ несомнѣнностью убѣждаютъ насъ въ томъ, что бронза въ этихъ странахъ въ эпоху ихъ древнѣйшаго развитія примѣнялась весьма широко.

Древняя культура только что разсмотрѣнныхъ странъ быстро и широко распространилась по Малой Азіи и черезъ Средиземное море во времена могущества древняго народа хитовъ быстро распространилась по всему Эгейскому морю. вмѣстѣ съ своей культурой хиты передали Греціи и способъ широкаго пользованія бронзой. Сильное вліяніе древней Греціи на древнихъ римлянъ фактъ общеизвѣстный, и римляне въ глубочайшей древности пользовались бронзой для изготовленія всевозможныхъ издѣлій. Затѣмъ римляне въ теченіи 200 лѣтъ, съ 151 г. до Р. Х., употребляли „тяжелую мѣдь“ какъ монету въ видѣ слитковъ.

Такимъ образомъ на основаніи фактовъ изъ предыдущаго, составляющихъ крайне незначительную долю того матеріала, которымъ обладаетъ современный культурный міръ, мы съ несомнѣнностью можемъ заключить, что въ раннюю эпоху очаговъ древней культуры бронза въ ея разновидностяхъ имѣла очень широкое распространеніе, а затѣмъ изъ этихъ древнихъ очаговъ культуры постепенно распространилось въ силу вліянія и сношеній широкое примѣненіе бронзы въ другихъ центрахъ культуры Западной Европы и Южной части Азіи. По сохранившимся остаткамъ древнѣйшей культуры Китая можно съ увѣрен-

³⁾ De'souv. en Chaldée. 1884. № 1 и 2.

⁴⁾ Скиндеръ. Бронза. Стр. 14. 1908 г. С.П.Бургъ.

ностью сказать, что во времена за 2000 л. до Р. Х. китайцамъ были извѣстны олово и мѣдь, и мѣдь служила монетой. Имѣются также указанія и на то, что китайцы впервые познакомились съ бронзой въ Тибетѣ⁵).

Интересно теперь прослѣдить какой металлъ впервые появился въ древнемъ культурномъ мѣрѣ бронза или сначала ея составныя части, — мѣдь и олово и послѣ изъ нихъ бронза различныхъ качествъ.

Руды мѣди встрѣчаются во многихъ мѣстахъ земного шара, и во многихъ мѣстахъ земного шара находилось и имѣется мѣсторожденіе самородной мѣди (въ Корнваллисѣ, Китаѣ, Японіи, Сибири, Сѣверной Америкѣ, Швеціи, Уралѣ, Австраліи и др. мѣстахъ). Еще не такъ давно въ Сѣверной Америкѣ, на Верхнемъ Озерѣ, въ штатѣ Мичиганѣ, былъ найденъ самородъ мѣди вѣсомъ около 16800 пудовъ. Самородная мѣдь, вслѣдствіе мѣстныхъ естественныхъ условій, легко можетъ получаться изъ рудъ, если только мѣстныя условія благопріятствуютъ возстановленію мѣдныхъ рудъ; съ другой стороны самородная мѣдь легко превращается въ ея руды, при условіи свободнаго окисленія воздухомъ, обогащенія сѣрой и соединенія съ углекислотой воздуха. Цвѣтъ самородной мѣди привлекъ вниманіе первобытнаго человѣка и, испытавъ ея механическія качества послѣ соотвѣтствующей обработки въ огнѣ, онъ очень охотно началъ примѣнять ее для изготовленія различныхъ издѣлій, на что ясно указываютъ анализы различныхъ предметовъ имѣющихся въ нашемъ распоряженіи отъ древняго міра⁶).

Область.	Мѣстонахожденіе.	Эпоха.	Предметъ.	Cu.	Fe+Co +Ni.	S+As+ +Sb.
Австрія.	Steiermark	Ран. жел. вѣка	Бляха	99,80	0,20	— " —
"	Pinzgau	(Кусочекъ мѣди)	Мѣди. слезки	99,58	0,42	" " —
Швейцарія	Tchugg	—	Regulus	98,02	1,54	0,44
Ирландія	—	Бронзовая	Наконечникъ копья	99,71	—	0,28
Римскія монеты	Glaudins	41—54 по Р. Х.	—	100,00	—	—
Тамань	Nero	54—68 по Р. Х.	—	100,00	—	—
б. Близнецы	Мѣсте сожженія глетанки.	—	Слав. куски бронзы	100,00	Сл. Fe	Сл. Sb.

Только что приведенные анализы издѣлій ясно показываютъ, что въ распоряженіи древняго человѣка имѣлась чистая самородная мѣдь съ ея постоянными спутниками, которые и въ данное время встрѣчаются въ рафинированной красной мѣди, какъ-то: желѣзо, кобальтъ, никкель, сѣра, сурьма и мышьякъ. Самородная мѣдь путемъ возстановленія въ силу естественныхъ условій можетъ получаться изъ ея

⁶) Скиндеръ. Бронза. 1908 г. С.П.Бургъ.

⁵) Скиндеръ. Бронза. Стр. 55. 1908 г.

кислородныхъ и сѣрнистыхъ рудъ и всегда встрѣчается тамъ, гдѣ имѣются по близости указанныя руды; слѣдовательно, первобытный человѣкъ, вырабатывая самородную мѣдь, натолкнулся на ея руды, тѣмъ болѣе, что одна изъ тѣхъ рудъ довольно часто встрѣчающаяся въ природѣ—халькопиритъ ($\text{Cu}_2 \text{S Fe}_2 \text{S}_3$) имѣетъ золотисто-желтый цвѣтъ, вполне напоминающій по цвѣту древнему человѣку мѣдь. Изъ такой руды путемъ свободного первоначального окисленія ея на огнѣ, а затѣмъ восстановленія окисловъ мѣди и желѣза древеснымъ углемъ и продуктами горѣнія въ присутствіи извести изъ известняковъ, среди которыхъ былъ построенъ открытый очагъ,—получается металлическая мѣдь съ должнымъ содержаніемъ желѣза. Дѣйствительно содержаніе желѣза въ мѣдныхъ издѣліяхъ древняго міра нерѣдко достигаетъ 9⁰/₀⁷).

Такимъ образомъ съ достовѣрностью можно утверждать, что въ древній періодъ культуры человѣчества человѣкъ сначала имѣлъ самородную мѣдь, затѣмъ выучился получать чистую мѣдь изъ рудъ ея, пользуясь услугами простого открытаго горна, и это тѣмъ вѣроятнѣе, что очаги первой Европейской культуры человѣчества Египетъ, Ассирія, Вавилонія, Греція, Римъ и т. д.,—имѣли у себя большія залежи мѣди, которыя и по настоящее время славятся своимъ богатствомъ (Сирія, Армения, Кипръ, берега Аравійскаго залива, Сѣверная Италия и Швейцарія, Испанія, Корнваллисъ и др.).

Другимъ собратомъ бронзы для ея образованія является олово. Олово въ самородномъ состояніи было найдено Damour'омъ во французской Guayana и Forbes'омъ въ Bolivia⁸), и больше такихъ самородковъ неизвѣстно, но тѣмъ не менѣе Скиндеръ⁸) насчитываетъ около восьми археологическихъ находокъ, изготовленныхъ изъ олова. Такъ какъ самородное олово на земной поверхности представляетъ большую рѣдкость, а оловянная издѣлія и бронза съ различнымъ содержаніемъ олова въ періодъ древней культуры имѣли широкое распространеніе, то слѣдуетъ предположить, что въ указанный періодъ времени человѣкъ уже умѣлъ получить олово изъ его рудъ. Наиболѣе распространенной оловянной рудой въ прежнія древнія времена и въ настоящее время является оловянный камень (Sn O_2), богатые залежи котораго и въ настоящее время имѣются въ Англіи, Австраліи, полуостровѣ Малаккѣ, Финляндіи, Богеміи, Галиціи, Нерчинскомъ округѣ, Алжирѣ и др. Другой весьма рѣдкой оловянной рудой является оловянный колчеданъ ($(\text{Cu}_2, \text{Fe}, \text{Zn})_2 \text{Sn S}_4$), залежи которой рѣдко встрѣчаются въ оловянныхъ жилахъ Корнваллиса и Богеміи.

⁷) Скиндеръ. Бронза. Стр. 59. 1908 г.

⁸) " " " 25. " "

Наиболѣе древними по эксплуатаціи и выработкѣ олова являются британскія залежи. Такъ Diodorus⁹⁾ за 30 л. Р. X. говоритъ о нихъ: „На мысу Британіи, который называется Belerion'омъ (Cornwale), люди приготавливаютъ олово, они добываютъ оловянную руду изъ каменистой земли, сплавляютъ и очищаютъ ее“. Затѣмъ тамъ же имѣется указаніе и на то, что это олово доставляется въ Галлію и въ Испанію (Марсель). Древній Египетъ получалъ свое олово изъ Азіи¹⁰⁾. О важномъ оловянномъ центрѣ древняго міра повѣтствуетъ Plinius¹¹⁾ „Олово драгоцѣннѣе свинца. Греки называютъ олово kassiteros и рассказываютъ, что его на судахъ доставляютъ съ Атлантическаго моря, и что суда построены изъ плетня и обтянуты кожей. Теперь знаютъ, что его находятъ въ Lusitani'и (Португаліи) и въ Galāci'и (Gallici'и въ Испаніи) въ песчаной, темнаго цвѣта землѣ на поверхности почвы, и что эту землю узнаютъ по ея тяжести. Рабочіе промываютъ песокъ и то, что осаждается внизъ, сплавляютъ въ печкѣ“. Такимъ образомъ въ послѣдней исторической датѣ имѣются даже указанія на способъ полученія олова изъ оловяннаго камня—путемъ возстановленія при помощи простого очага.

Такимъ образомъ, на основаніи предыдущаго, можно заключить, что въ эпоху древней культуры человѣкъ умѣлъ добывать мѣдь и олово, широко пользовался ими и отличалъ ихъ отъ бронзы, на что ясно указываютъ многія надписи на предметахъ древняго Египта, Ассиріи и Вавилоніи¹²⁾.

Весьма интересно для насъ въ смыслѣ подтвержденія положенія о томъ, что чистая мѣдь и олово были извѣстны человѣку въ глубокой древности дошедшее до насъ древне-сумерійское заклинаніе огня¹³⁾. Оно гласитъ такъ:

„Огонь герой въ странѣ благородной.
 Храбрый, сынъ водной глубины, въ странѣ благородной.
 Огонь, твое яркое свѣтящееся пламя
 Дѣлаетъ свѣтъ въ долинѣ мрака.
 Всякому, кто назоветъ имя, опредѣляетъ онъ судьбу.
 Мѣди и олова плавитель ты еси.
 Золота и серебра звонъ есть ты.
 Богини Ninkasi товарищъ есть ты“ и т. д.

⁹⁾ Скиндеръ. Бронза. Стр. 54. 1908 г.

¹⁰⁾ „ „ „ 40. „ „

¹¹⁾ Historia naturalis 34, 16, 47.

¹²⁾ Скиндеръ. Бронза. Стр. 85. 1908 г.

¹³⁾ F. Hommel. Die vorsemitischen Kulturen 277. 409. Скиндеръ. Бронза Стр. 86.

Въ данное время насъ интересуетъ вопросъ, что впервые было открыто на земной поверхности—бронза или ея составныя части мѣди и олово. Предположеніе, что бронза впервые была добыта человѣкомъ путемъ простаго возстановленія и плавленія смѣшанной руды мѣди и олова не подтверждается данными послѣдняго періода, пока на земной поверхности только въ одномъ мѣстѣ въ Корнваллисѣ найдены смѣшанныя руды изъ мѣди и олова, изъ которыхъ можно получить бронзу съ содержаніемъ олова около 28⁹/₁₀ Sn, между тѣмъ какъ бронза археологическихъ раскопокъ крайне разнообразна по своему составу. Болѣе вѣроятно предположеніе, что первобытный человѣкъ сначала въ своемъ распоряженіи имѣлъ чистую мѣдь и олово, а послѣ изъ этихъ двухъ элементовъ въ различномъ составѣ древній человѣкъ получилъ бронзу; на первыхъ порахъ ему ярко бросилось въ глаза характерное измѣненіе въ цвѣтахъ окраски мѣди отъ прибавленія къ ней олова,—отъ ярко золотистаго до свѣтло сѣраго; но начиная употреблять подобную бронзу для различныхъ издѣлій, первобытный человѣкъ продѣлывалъ съ ней различныя (обычныя для мѣди) манипуляціи въ огнѣ и невольно убѣдился въ положительныхъ преимуществахъ бронзы передъ чистой мѣдью. Чистая мѣдь въ силу того, что она при плавленіи сильно поглощаетъ CO, H и SO₂, не можетъ давать плотныхъ отливокъ, но бронза наоборотъ—обладаетъ прекрасными литейными свойствами и гораздо тверже мѣди. Не ускользнуло отъ наблюдательности первобытнаго человѣка и то, что бронза обладаетъ болѣе низкой температурой плавленія по сравненію съ мѣдью, и вообще эта температура плавленія постепенно уменьшается по мѣрѣ увеличенія содержанія олова въ мѣди. Обработывая бронзу въ огнѣ и случайно подвергнувъ ее при сильномъ нагрѣвѣ быстрому охлажденію въ водѣ, первобытный человѣкъ уловилъ и еще новое и весьма цѣнное свойство бронзы,—получать отпускъ и затѣмъ въ обратномъ смыслѣ по отношенію къ стали. Бронза при быстромъ охлажденіи становится темнѣе по цвѣту, звонче, но способна обрабатываться молоткомъ. Пользуясь послѣднимъ свойствомъ бронзы первобытный человѣкъ началъ смѣло готовить изъ нея различныя, весьма тонкія, украшенія домашняго обихода. Многія археологическія находки древняго міра были несомнѣнно обработаны молоткомъ, а между тѣмъ онѣ содержатъ весьма значительное содержаніе олова, при которомъ бронза при обычныхъ условіяхъ обработки отличается значительною хрупкостью и не можетъ такъ обрабатываться. Такъ Скиндеръ¹⁴⁾ приводитъ нижеслѣ-

¹⁴⁾ Скиндеръ. Бронза. Стр. 88. 1908 г.

двүщій анализъ археологическихъ клинковъ мечей, проволоки, жести, которые съ несомнѣнностью подтверждаютъ только что сказанное:

Мѣсто находки.	Cu.	Sn.	Zn.	Pb.	Fe.	Sb.	As.	Ni.	S.	
			К л и н к и м е ч е й.							
Германія.	Rein	79,19	15,55	Сл.	5,13	0,13	Сл.	—	Сл.	—
	Chur	82,68	15,37	1,02	Сл.	0,83	—	—	0,10	—
	Hallstädter See	83,74	11,38	2,75	0,43	Сл.	0,78	Сл.	0,92	Сл.
	Tarnow	84,16	15,84	—	—	—	—	—	—	—
	Schönhof	85,00	15,00	—	—	—	—	—	—	—
	Hannover	83,74	15,11	—	Сл.	Сл.	Сл.	—	1,15	Сл.
	Lüneburg	71,47	28,30	—	—	Сл.	Сл.	Сл.	0,23	—
Лондонъ	89,69	9,58	—	—	0,33	—	—	Сл.	—	
			П р о в о л о к а.							
Прибалтійскія губерніи	85,75	4,78	7,50	1,50	—	—	—	—	—	
Holstein	84,61	12,13	Сл.	2,71	0,12	Сл.	—	0,43	Сл.	
Zerbst	90,39	7,40	1,71	Сл.	0,10	—	—	0,41	—	
			Ж е с т ь.							
Египеть										
(изъ гробницы)	75,24	13,15	—	11,40	Сл.	—	—	0,21	—	
Hallstadt	87,39	11,05	—	0,61	0,19	—	—	0,63n	0,13Ag	
Nenenburger										
See	92,94	6,71	—	0,16	0,04	—	—	0,15	—	
Керчь	66,80	21,70	—	11,36	0,09	—	—	—	—	

Такимъ образомъ на основаніи предыдущаго можно утверждать, что первобытный человѣкъ сначала въ своемъ распоряженіи имѣлъ мѣдь и олово, послѣ изъ нихъ получилъ бронзу, замѣтилъ ея хорошія отличительныя литейныя свойства (по сравненію съ мѣдью) и началъ примѣнять ее для всевозможныхъ отливокъ и издѣлій домашняго обихода, примѣняя для этого каменные тигли, затѣмъ горшки и гесчаныя формы, на что имѣется указаніе сохранившееся до насъ въ археологическихъ надписяхъ отъ древнихъ египтянъ и сумерійцевъ¹⁵⁾. Попутно отъ первобытнаго человѣка не ускользнуло и весьма цѣнное свойство бронзы—способность обрабатываться молоткомъ послѣ сильнаго нагрѣва и быстрого охлажденія, и онъ воспользовался этимъ свойствомъ бронзы и началъ готовить изъ нея изящныя, тонкія украшенія домашняго обихода, которыя нерѣдко имѣютъ на своей поверхности яркія слѣды обработки молоткомъ. Мѣдь съ оловомъ соединяется въ довольно широкихъ предѣлахъ и даетъ бронзѣ различныя механическія свойства и весьма различную окраску. Температура плавленія бронзы по мѣрѣ увеличенія содержанія олова постепенно уменьшается и приближается къ температурѣ плавленія чистаго олова.

Такимъ образомъ при содержаніи олова 0,92⁰/₀ плавится при 1076,9⁰ С.

при 2,7⁰/₀ Sn — 1065,5⁰ С.

„ 5,69⁰/₀ „ — 1044,6⁰ „

„ 10,78⁰/₀ „ — 1000,4⁰ „

15) Кинбергъ. Бронза Стр. 94.

при 18,43 ⁰ / ₀ Sn	—	909,6 ⁰ С.
„ 26,24 ⁰ / ₀ „	—	788,8 ⁰ „
„ 30,12 ⁰ / ₀ „	—	757,7 ⁰ „
„ 33,66 ⁰ / ₀ „	—	738,8 ⁰ „
„ 35,91 ⁰ / ₀ „	—	734,3 ⁰ „
„ 37,50 ⁰ / ₀ „	—	730,8 ⁰ „
„ 39,70 ⁰ / ₀ „	—	724,5 ⁰ „
„ 42,27 ⁰ / ₀ „	—	714,9 ⁰ „
„ 45,03 ⁰ / ₀ „	—	702,8 ⁰ „
„ 54 47 ⁰ / ₀ „	—	655. и т. д.

По мѣрѣ увеличенія содержанія олова въ мѣди значительно измѣняются механическія свойства послѣдней. По изслѣдованіямъ Thurston'a¹⁶), крѣпость мѣди отъ прибавленія 4⁰/₀ олова увеличивается на 16⁰/₀, а отъ прибавленія же 18⁰/₀ олова—на 30⁰/₀. Если же количество олова въ бронзѣ будетъ возрастать, то крѣпость сплава значительно уменьшается. При содержаніи олова до 17⁰/₀ предѣлъ упругости бронзы составляетъ 50—60⁰/₀ коэф. крѣпости; съ увеличеніемъ содержанія олова предѣлъ упругости повышается и при 25⁰/₀ олова предѣлъ упругости и коэф. крѣпости бронзы равны. Твердость, по мѣрѣ увеличенія содержанія олова въ сплавѣ, сначала все возрастаетъ. Сплавъ съ 28⁰/₀ олова уже съ трудомъ берется напильникомъ. Но достигнувъ наивысшей твердости, сплавъ при дальнѣйшемъ повышеніи содержанія олова начинаетъ умягчаться, постепенно приближаясь по твердости къ чистому слову. Также и вязкость сплава сначала понижается, а затѣмъ увеличивается. Сплавъ съ 4,75⁰/₀ олова еще куется и плющится въ холодномъ состояніи; сплавъ же, содержащій выше 5⁰/₀ олова, куется только при нагрѣвѣ до краснаго каленія. Съ приближеніемъ содержанія олова къ 15⁰/₀ увеличивается твердость и хрупкость; такіе сплавы вовсе не куется ни въ холодномъ, ни въ нагрѣтомъ состояніи¹⁷). Удѣльный вѣсъ бронзы 8,95 въ среднемъ.

На сплавахъ бронзы легко можно прослѣдить красящую способность олова; сплавъ съ 10⁰/₀ олова, въ обработанномъ видѣ, имѣетъ красновато-желтую окраску, а съ 40⁰/₀ олова—бѣло-желтую, при 40⁰/₀ олова—почти бѣлую окраску.

Всѣ бронзы обладаютъ свойствомъ ликвиціи, а поэтому вездѣ, гдѣ требуется получить плотное литье, необходимо отливку производить въ быстро охлаждающія механическія формы. Бронзы окисляются меньше чистой мѣди, болѣе тверды, а нѣкоторыя изъ нихъ и болѣе крѣп-

¹⁶) R. H. Thurston. Report on a preliminary investigation of the properties of the copper tin alloys. Washington. 1879 г.

¹⁷) Кнабе. Литейное дѣло. Стр. 211. 1900 г.

ки и плотны, чѣмъ мѣдь. Желая бронзѣ сообщить известную вязкость, ее нужно нагрѣть и быстро охладить, при этомъ бронза получитъ и большую плотность. Къ бронзѣ въ тѣхъ случаяхъ, когда ее приходится обрабатывать рѣзцомъ, прибавляется незначительное количество свинца; бронза съ примѣсью свинца легче обрабатывается рѣзцомъ, стружки отдѣляются свободно и обработанная поверхность получаетъ лучший видъ. Но примѣсь свинца къ бронзѣ увеличиваетъ ея склонность къ ликвици, а поэтому должна быть незначительна. Съ цѣлью уменьшить явленіе ликвици, къ бронзѣ иногда прибавляютъ цинкъ; цинкъ придаетъ бронзѣ нѣжный золотистый оттѣнокъ, но увеличиваетъ ея хрупкость.

Составы бронзъ, встрѣчающихся на практикѣ, очень разнообразны. вслѣдствіе чего бронзы имѣютъ различное назначеніе и носятъ различныя названія.

Такъ орудійная бронза (пушечный металлъ) содержитъ отъ 89 до 91⁰/₀ мѣди и отъ 11 до 9⁰/₀ олова и имѣетъ желтоватый цвѣтъ. Коэф. крѣпости 20—27^{kg}/_{qmm}. Орудійная бронза, какъ показываетъ ея назначеніе, должна быть прочна и тверда; изъ опытовъ найдено, что такими качествами сплавъ обладаетъ только тогда, когда количество олова не превышаетъ 9—11⁰/₀ и когда нѣтъ другихъ примѣсей, какъ-то цинка или свинца; почему примѣшиваніе къ орудійной бронзѣ цинка или свинца, ради дешевизны самой бронзы или ради большей легкости обработки рѣзцомъ, надо тщательно избѣгать.

Въ слѣдующей таблицѣ приведенъ средній составъ орудійной бронзы различныхъ странъ, широко примѣнявшихъ бронзу для отливки пушекъ:

	Cu.	Sn.	Fe.
Прусскія орудія	90,90	9,10	—
Французскія орудія	90,00	10,00	—
Англійскія орудія	89,30	10,70	—
Русскія пушки 1819 г.	88,61	10,76	0,69

Колокольная бронза должна быть твердой и вязкой, чтобы издавать хорошій звукъ и вмѣстѣ съ тѣмъ не претерпѣвать измѣненій отъ ударовъ языка. Обыкновенный составъ колокольной бронзы колеблется около 20—23 частей олова на 80—77 частей мѣди. Случайныя примѣси, которыя очень часто встрѣчаются въ колокольной бронзѣ (сурьма, цинкъ, свинецъ и др.), безусловно вредны, ибо онѣ ухудшаютъ качество бронзы. Даже примѣсь серебра, которое обыкновенно прибавляется къ бронзѣ ради звучности колокола, ни только не вноситъ въ металлъ какихъ либо улучшающихъ качествъ, но, судя по опытамъ

завода Марси въ Лондонѣ, уменьшаетъ звучность сплава. Японцы въ колокольный сплавъ прибавляютъ немного цинка и желѣза; японскіе литые колокольчики, отличающіеся особою звучностью, приготовляются изъ сплава 10 ч. мѣди, 4 ч. олова, $\frac{1}{2}$ ч. цинка и $\frac{1}{2}$ ч. желѣза.

Въ наиболѣе распространенныхъ составахъ колокольныхъ бронзъ рѣдко встрѣчаются другія примѣси, бронзы состоятъ только изъ мѣди и олова. Въ слѣдующей таблицѣ приведенъ составъ подобныхъ колокольныхъ бронзъ довольно древняго періода по происхожденію.

Колоколь изъ Reichenhall	Cu	Sn	1260 г.
	76,00	24,00	
Колоколь изъ Ronen	76,00	22,30	XII ст.
Колоколь изъ Гонгъ-Гонга	78,00	22	—

Въ колокольныхъ бронзахъ въ чистомъ видѣ нерѣдко, какъ это видно изъ предыдущаго, въ качествѣ улучшающей примѣси прибавляется цинкъ и желѣзо. Желѣзо прибавляется къ бронзѣ въ видѣ желѣзо-цинковаго сплава.

Примѣненіе желѣзо-цинковаго сплава въ качествѣ элемента присаживаемаго къ бронзамъ съ цѣлью перевести въ послѣднія незначительное количество желѣза впервые было сдѣлано Дикомъ для полученія особаго „Дельта“ металла, названнаго такъ по его имени. По мнѣнію Дика цинкъ съ желѣзомъ при продолжительномъ нагрѣвѣ при температурахъ 700—800° С даетъ сплавъ около 8% Fe. Затѣмъ Bertier¹⁸⁾, изучая процессъ цинкованія листоваго желѣза по способу Lorel'я, замѣтилъ, что въ цинковой ваннѣ съ теченіемъ времени по мѣрѣ продолженія процесса на днѣ откладывается значительное количество кристалловъ цинковаго сплава съ желѣзомъ. Составъ такого сплава по анализу, сдѣланному Bertier оказался:

$$\begin{aligned} \text{Zn} &= 90,00\% \\ \text{Fe} &= 9,50\% \\ \text{Pb} &= 0,40\% \end{aligned}$$

F. C. Calvest и R. Jonson,¹⁹⁾ анализируя подобный сплавъ, получающійся въ видѣ осадка въ цинковой ваннѣ при производствѣ оцинкованнаго желѣза, нашли, что составъ такого желѣзо-цинковаго сплава колеблется около

$$\begin{aligned} \text{Fe} &= 6,79\% \\ \text{Zn} &= 93,21\% \end{aligned}$$

¹⁸⁾ P. Bertier „Sur deux alliages de zinc et de fer obtenus dans la fabrication du fer galvanise“. Ann. des Mines. T. XVII. 1840. p. 652.

¹⁹⁾ F. C. Calvest et. R. Jonson. Ann. de chimie et de physique. T. XLV. 1858. p. 454.

Далѣ Le Chatelier ²⁰⁾, приготавливая сплавъ указаннымъ выше способомъ, но обрабатывая его растворомъ хлористаго цинка, который удаляетъ избытокъ чистаго цинка, выдѣлилъ почти чистые кристаллы желѣзо-цинковаго сплава и анализомъ нашелъ, что составъ такого сплава соотвѣтствуетъ формулѣ $Fe Zn_{10}$, требующей 7,87% Fe, съ температурой плавленія около 750° C. Наконецъ въ 1906 г. Вологдинъ ²¹⁾ въ лабораторіи Le Chatelier снова изслѣдовалъ желѣзо-цинковый сплавъ и вполне подтвердилъ выше приведенныя данныя Le Chatelier

Съ цѣлью освѣтить вопросъ о вліяніи желѣза, какъ примѣси, на качество колокольныхъ бронзъ въ металлографической лабораторіи и механическихъ мастерскихъ Томскаго Технологическаго Института приготавливались нами чистыя колокольныя бронзы, а затѣмъ колокольныя бронзы съ примѣсью цинка и съ примѣсью цинка и желѣза. Желѣзо-цинковый сплавъ для подобной присадки готовился путемъ долгаго плавленія цинка въ смѣси съ мягкимъ желѣзомъ въ герметически закупоренныхъ тигляхъ при температурахъ 800—900° C. Процессъ плавленія длился 2—3 часа при указанной температурѣ, и по окончаніи его послѣ охлажденія частицы желѣзо-цинковаго сплава получались въ нижней части тигля и имѣли явно кристаллическое строеніе. Попытка выливать изъ тигля сплавъ послѣ плавленія для отдѣленія цинка и частицъ желѣзо-цинковаго сплава отъ оставшихся частицъ мягкаго желѣза успѣха не имѣла, а одинъ разъ сопровождалась сильнымъ разбрызгиваніемъ жидкаго металла.

Средній составъ полученнаго желѣзоцинковаго сплава былъ весьма близокъ къ указанному выше Le Chatelier. Для опытовъ постепенно готовились сначала чистыя колокольныя бронзы, затѣмъ бронзы, съ примѣсью цинка и наконецъ съ примѣсью цинка и желѣза. Составъ такимъ образомъ полученныхъ колокольныхъ бронзъ въ нѣскольکو округленныхъ цифрами былъ слѣдующій (округлены десятичные знаки).

°/о содержаніе.	Cu	Sn	Zn	Fe
1 плавка.	74,47	25,53	—	—
2 плавка.	78,8	21,2	—	—
3 плавка.	79,74	20,26	—	—
4 плавка.	66,7	26,7	6,6	—
5 плавка.	66,8	26,2	6,38	0,62
6 плавка.	73,1	20,1	6,12	0,68

²⁰⁾ Вѣстникъ О-ва Технологиовъ 1906. Стр 419.

²¹⁾ Le Chatelier. Notice sur les travaux scientifiques. 1897 p. 94.

Получить большее содержаніе желѣза въ колокольныхъ бронзахъ не удалось, а затѣмъ и полученные сплавы съ примѣсью желѣза не отличаются хорошими литейными свойствами; несмотря на всѣ принятыя мѣры предосторожности и неоднократное плавленіе съ большимъ трудомъ удавалось получить плотные хорошіе образцы. Бронзы, надо полагать, подъ вліяніемъ цинка и желѣза значительно сильнѣе поглощаютъ газы, вслѣдствіе чего отливки получались пузыристыми. Образцы 5 плавки получились настолько тверды, что ихъ не удалось обработать рѣзцомъ для механическихъ испытаній. Что касается внутренняго строенія полученныхъ бронзъ, то прилагаемая таб. I даетъ довольно ясное представленіе объ измѣненіи такого строенія подъ вліяніемъ химическаго состава, ибо условія охлажденія для всѣхъ бронзъ были приблизительно одинаковы (медленное охлажденіе въ сухихъ формахъ послѣ отливки).

Бронза 1-й плавки (фиг. 1) имѣетъ весьма неоднородное строеніе, — выдѣленіе частицъ болѣе богатыхъ по содержанію олова ярко замѣтно. Вслѣдствіе значительной ликваціи можно наблюдать направленіе осей кристаллизаціи. Выдѣленіе окисловъ мѣди въ видѣ черныхъ точекъ можно наблюдать по всему полю шлифа. Травленіе всѣхъ шлифовъ было произведено бромной водой.

Бронза 2-й плавки (фиг. 2) по строенію довольно близко напоминаетъ бронзу 1-й плавки, но явленія ликваціи въ ней замѣтны слабѣй. Подъ большимъ увеличеніемъ можно наблюдать, что выдѣлившіяся частицы сплава (бѣлыя пятна на фотографіи) имѣютъ сложное строеніе въ зависимости отъ содержанія олова.

3-й сплавъ (фиг. 3) оказался наиболѣе однороднымъ по строенію по сравненію съ предыдущимъ; у него имѣется мелкая связующая сѣтка, и крупныхъ выдѣлений зеренъ ликваціи не замѣтно.

4-й сплавъ (фиг. 4) былъ приготовленъ по рецепту весьма близкому къ ранѣе указанному для японскихъ бронзъ съ примѣсью желѣза и цинка, при чемъ доля желѣза была замѣнена цинкомъ. Сплавъ весьма твердъ, съ большимъ трудомъ поддается обработкѣ рѣзцомъ, дѣленіе на бронзу и латунь отчетливо замѣтно на шлифѣ, причемъ частицы латуни въ видѣ мелкихъ кружковъ выдѣляются среди частицъ бронзы, строеніе же частицъ самой бронзы весьма плотное со слабымъ дѣленіемъ на отдѣльныя доли.

Бронза 5-й плавки (фиг. 5) отличается отъ предыдущей только тѣмъ, что часть цинка замѣнена желѣзомъ, для чего къ бронзѣ прибавлялся желѣзо-цинковый сплавъ ранѣе указаннаго состава, и бронза долго выдерживалась при высокихъ температурахъ послѣ плавлен-

нія съ цѣлью удалить часть избыточнаго цинка присадки. Въ результатѣ получалась бронза весьма твердая и хрупкая, напоминающая строеніе бронзь съ незначительнымъ содержаніемъ фосфора. На общей плотной массѣ шлифа замѣтно выдѣленіе тонкихъ нѣжныхъ волоконъ и прожилокъ, очевидно, другого состава, чѣмъ основная масса поля шлифа. Кромѣ этого на полѣ шлифа ярко замѣтны плоскости спайности отдѣльныхъ большихъ кристалловъ, причемъ эти плоскости спайности представляютъ изъ себя щели, наполненныя веществомъ чернаго цвѣта.

Бронза 4-й, 5-й и 6-й плавки плавилась подѣ прикрытіемъ изъ слоя магnezіи и золы.

Бронза 6-й плавки (фиг. 6) по составу приближается къ бронзамъ 3-й плавки съ замѣною части мѣди цинкомъ и желѣзомъ. Основная масса шлифа имѣетъ слегка розоватый оттѣнокъ и небольшія вкрапленія вещества чернаго цвѣта. Выдѣлившіеся частицы бронзы (бѣлыя пятна на фотографіи) довольно равномерно разсѣяны по полю шлифа. По внѣшнему виду строеніе частицъ послѣдней бронзы напоминаетъ близко художественную бронзу, приготовленную по рецепту Elster'a.

Механическія испытанія только что разсмотрѣнныхъ бронзь дали слѣдующіе результаты: процентное удлинненіе для всѣхъ бронзь весьма близко къ 0, а коэффициентъ разрыва средній изъ четырехъ или пяти пробъ имѣлъ слѣдующія значенія:

1-я плавка18,17 kg/q. mm.
2-я плавка16,58 " "
3-я плавка21,36 " "
4-я плавка17,82 " "

5-я плавка не испытывалась, ибо вслѣдствіе значительной твердости и хрупкости нельзя было изготовить образцовъ.

6-я плавка	20,24 kg./q.mm
----------------------	----------------

Такимъ образомъ изъ чистыхъ колокольныхъ бронзь съ лучшими механическими свойствами оказалась бронза 3-й плавки. Бронзы, приготовленныя весьма близко къ рецепту японскихъ колокольныхъ бронзь, имѣли слабыя механическія свойства. Наконецъ, замѣна части мѣди въ 3-й плавкѣ цинкомъ и желѣзомъ не улучшила механическихъ свойствъ этой бронзы.

Затѣмъ бронза въ недалекомъ прошломъ имѣла большое распространеніе для приготовленія различныхъ зеркалъ и извѣстна подѣ названіемъ зеркальной бронзы. Бронза для этой цѣли должна быть твердой, обладать хорошей способностью къ полировкѣ и не тускнѣть со

временемъ. Такими качествами обладаетъ бронза съ примѣсью 30-33% олова. Были попытки прибавлять къ зеркальной бронзѣ мышьякъ и никкель, но не увѣнчались успѣхомъ, сплавъ быстро тускнѣетъ отъ налета пѣзъ кислородныхъ и сѣристыхъ соединеній этихъ металловъ. Средній химическій составъ зеркальной бронзы встрѣчающейся въ данное время приведенъ въ нижеслѣдующей таблицѣ:

	Cu	Sn	As
Зеркальный металлъ Edward'a	64,00	32,00	4,00%
Зеркальный металлъ Otto	68,50	31,50	—
Зеркало телескопа Mudge'a	68,52	31,18	—
Зеркало телескопа Ross'a	67,00	33,00	—

Наконецъ бронза вообще имѣетъ весьма широкое распространение для отливки художественныхъ издѣлій и для отливки всевозможныхъ машинныхъ подѣлокъ. Не останавливаясь на весьма широкомъ и разнообразномъ классѣ машинныхъ бронзъ, который довольно подробно изложенъ въ нашемъ курсѣ „Металлическіе сплавы“ изданіе 1910 г., скажемъ нѣсколько словъ о художественныхъ бронзахъ. Прелестныя качества бронзы, большое сопротивленіе атмосферному вліянію и механическому изнашиванію, а также способность легко заполнять тонкія изящныя формы отливки и легко обрабатываться рѣзцомъ были извѣстны еще въ глубокой древности. Такъ еще въ эпоху древнегреческой культуры для отливки памятниковъ и статуй употреблялась оловянная бронза, причемъ нерѣдко олово замѣнялось свинцомъ (свинецъ считался тогда низшимъ сортомъ олова). Ко времени римскихъ императоровъ въ составъ бронзы началъ входить третій металлъ —цинкъ²²⁾. Въ настоящее время въ художественную бронзу также вводятъ цинкъ и иногда даже въ большемъ количествѣ, чѣмъ олово. Примѣсь свинца и цинка къ художественной бронзѣ съ одной стороны даже желательна: первый дѣлаетъ бронзу болѣе мягкой и легче поддающейся обработкѣ рѣзцомъ, второй—уменьшаетъ ликвацію бронзы; но оба металла являются вредными примѣсями, если надо отлить предметъ, который долженъ подвергаться атмосферному вліянію. Въ послѣднемъ случаѣ требуется, чтобы золотистый или желтовато-красный цвѣтъ свѣжаго литья постепенно переходилъ бы въ нѣжный коричневый основной цвѣтъ съ зеленымъ налетомъ, состоящій изъ такъ называемой патины; а слой патины, какъ извѣстно, состоитъ изъ углекислыхъ соединеній мѣди. Слѣдовательно, съ указанной точки зрѣнія тѣмъ слой патины будетъ лучше и долговѣчнѣе, чѣмъ будетъ больше

²²⁾ Леденбургъ. Мех. Тех. Стр. 20. 1900 г.

мѣди въ бронзѣ; примѣсь же цинка и свинца въ бронзѣ сообщаетъ патинѣ слегка грязно-буроватый цвѣтъ, что крайне нежелательно.

Какъ особенно пригодный для отливки статуй, которыя должны стоять на открытомъ воздухѣ, Elster²³⁾ предлагаетъ такой сплавъ: $86\frac{2}{3}$ мѣди, $6\frac{2}{3}$ олова, $3\frac{1}{3}$ свинца и $3\frac{1}{3}$ цинка. Дѣйствительно, анализъ статуй прошлыхъ столѣтій, хорошо сохранившихся до настоящаго времени, вполне подтверждаетъ предлагаемый сплавъ Elster'a²⁴⁾.

Такимъ образомъ, кратко резюмируя выше изложенное, приходимъ къ слѣдующимъ заключеніямъ: 1). Бронза была извѣстна въ глубокой древности. Первобытный человѣкъ сначала имѣлъ въ своемъ распоряженіи чистую мѣдь и олово и послѣ путемъ опытнаго перемѣшиванія этихъ двухъ элементовъ получилъ различныя разновидности бронзъ, постепенно улучшилъ ихъ свойства и широко утилизировалъ ихъ для своихъ цѣлей.

2). Изъ чистыхъ колокольныхъ бронзъ наилучшими механическими свойствами отличается бронза съ содержаніемъ олова около 20⁰/о.

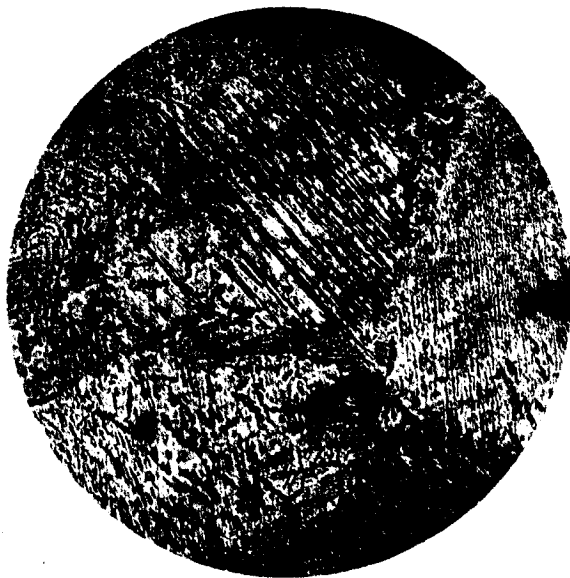
Бронзы, приготовленныя по рецепту весьма близкому для японскихъ колокольныхъ бронзъ, по сравненію съ обыкновенными колокольными бронзами, имѣютъ меньшій коэффициентъ разрыва, тверже послѣднихъ и, повидимому, значительно сильнѣе поглощаютъ газы при отливкахъ.

4). Примѣсь желѣза и цинка къ колокольнымъ бронзамъ лучшаго состава (около 20⁰/о олова) съ замѣною этими примѣсями части мѣди не улучшаетъ механическихъ и литейныхъ свойствъ бронзы.

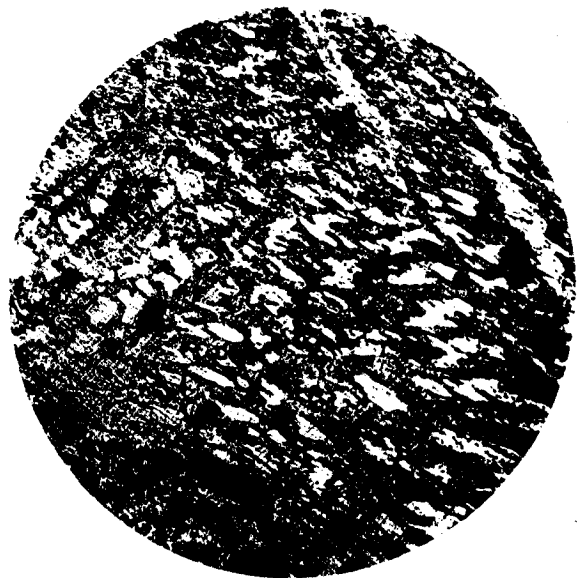
Относительно опытныхъ изслѣдованій въ послѣдней половинѣ, касающихся присадки желѣза и цинка къ бронзѣ, не мѣшаетъ говорить, что для окончательнаго рѣшенія по этому вопросу необходимо произвести еще болѣе обширныя изслѣдованія, чѣмъ это было возможно сдѣлать въ механическихъ мастерскихъ Института.

²³⁾. Dinglers Polytechnisches Journal. ²¹²|₁₅₇

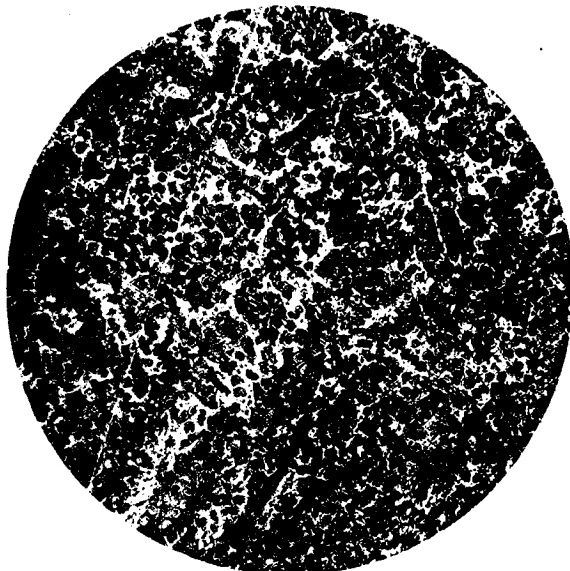
²⁴⁾. Ледебуръ. Мех. Тех. Стр. 21. 1900 г.



Фиг. 1. 1×100 .



Фиг. 2. 1×100 .



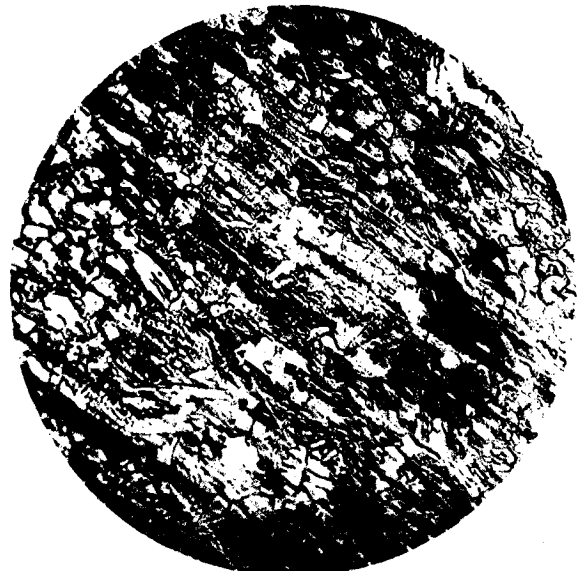
Фиг. 3. 1×100 .



Фиг. 4. 1×100 .



Фиг. 5. 1×100 .



Фиг. 6. 1×100 .