

Н.С. Курнаков

**Твердость металлических
твердых растворов и
определенных химических
соединений**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 54
ББК 24
Н11

Н11 **Н.С. Курнаков**
Твердость металлических твердых растворов и определенных химических соединений / Н.С. Курнаков – М.: Книга по Требованию, 2023. – 41 с.

ISBN 978-5-458-58663-4

ISBN 978-5-458-58663-4

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2023

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

изведенны въ последнее время, даютъ слѣдующія величины для твердости при измѣненіи содѣржанія цинка отъ 0 до 45%, (табл. I и II).

Таблица I.

Таблица II.

Сплавы мѣди съ цинкомъ.

(Кальвертъ и Джонсонъ).

(А. Курдюмовъ).

Содерж. % Zn по вѣсу.	Твердость.		Содерж. % Zn по вѣсу.	Твердость по Бринелю.	
	Чугунъ = 1000.	Мѣдь = 51.		Литой ме- талл.	Отожжен- ный при 690°.
0	301,0	51	0	51	42
17,05	427,08	72	5,22	54	49
20,44	468,75	79	10,29	61	—
25,52	468,75	79	15,61	58	—
33,94	472,92	80	20,43	71	52
50,68	604,17	102	25,60	72	46
			30,36	71	51
			35,56	80	49
			40,62	118	74
			45,20	151	107

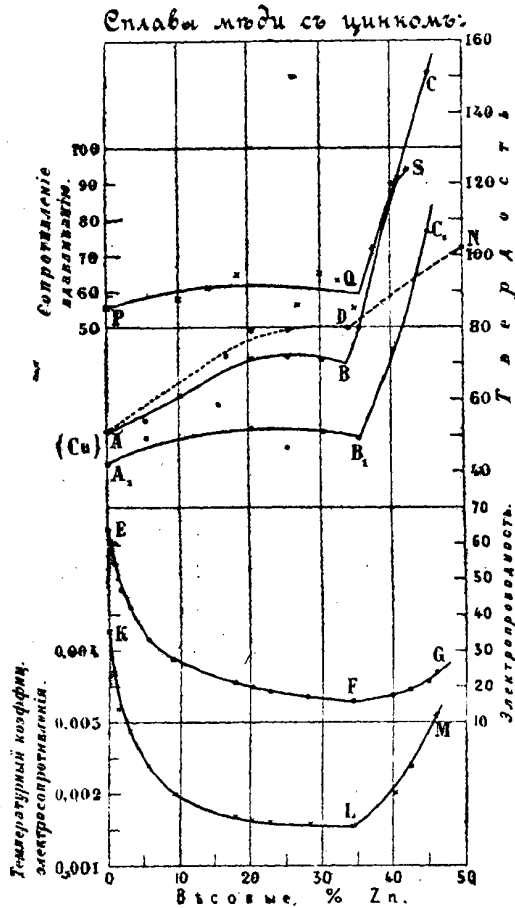
Числа Кальверта и Джонсона выражаютъ собою давленія въ килограммахъ, необходимыя для вдавливанія въ испытуемый матеріалъ закаленного конического стержня на опредѣленную глубину.

Данныя А. Курдюмова получены по методу Бринеля; онѣ представлены графически на фиг. 1, изъ которой видно, что кривая твердости *ABC* для литыхъ сплавовъ (0—45% *Zn*) состоитъ изъ двухъ вѣтвей *AB* и *BC*, пересекающихся въ точкѣ *B* около 34—35% *Zn*. По микрографическимъ даннымъ Шарпи ¹⁾ и Шеперда ²⁾ содержание 35—36% *Zn* от-

¹⁾ Charpy. Contribution à l'étude des alliages, p. 24.

²⁾ Shepherd. Journ. of Phys. Chemistry. 1904, 421.

вѣчаетъ предѣльной концентраціи твердаго раствора цинка въ мѣди, выделяющагося при застываніи жидкихъ сплавовъ съ 0—37% Zn.



Фиг. 1.

Для сравненія результатовъ, приведенныхъ въ таблицахъ I и II, нами перечислены данныя Кальверта и Джоисона, принявъ твердость литой мѣди = 51, т. е. величину, полученную А. Курдюмовымъ для того же металла по способу Бринеля. Эти числа помѣщены въ третьемъ столбцѣ таблицы I; на фиг. 1 они изображены пунктирной линіей AD,

довольно близко подходящей къ кривой Курдюмова для литого металла AB , что указывает на согласіе результатовъ, добытыхъ различными приемами испытаній.

Аналогичную форму съ ABC имѣетъ кривая $A_1B_1C_1$, полученная А. Курдюмовымъ для отоженныхъ при 690° , литыхъ сплавовъ. Она расположена ниже, чѣмъ ABC и имѣетъ болѣе плоскую форму, приближающуюся къ прямой линіи.

И здѣсь изломъ діаграммы въ точкѣ B_1 соответствуетъ предѣльной концентрации твердаго раствора $CuZn^{n-}$ при 35% вѣс. Zn .

Тождественный съ ABC видъ кривой найденъ Шарпи ¹⁾ для сопротивленія прониканію (*résistance à la pénétration*) латунныхъ сплавовъ, подвергнутыхъ полному отжигу при 700° (линія PQS , фиг. 1). Это и понятно, потому что названное сопротивленіе можетъ быть разсматриваемо какъ твердость, опредѣленная только инымъ путемъ — посредствомъ измѣренія при прониканіи стального ножа на опредѣленную глубину 2 мм. въ испытываемый объектъ).

Для сравненія на фиг. 1 вычерчены также діаграммы электропроводности EFG и температурнаго коэффициента KLM для удѣльнаго электросопротивленія мѣдноцинковыхъ сплавовъ по наблюденіямъ Гааза ²⁾. Какъ видно, увеличеніе твердости и уменьшеніе электропроводности идутъ параллельно съ увеличеніемъ содержанія цинка до предѣльной концентрации твердаго раствора $CuZn^{n-}$ (до $34-35\%$ Zn). Последняя величина сказывается особенно рѣзкимъ изломомъ въ точкѣ L кривой KLM температурнаго коэффициента.

3. *Мѣдь—олово*. По Робертсу-Остену и Стансфильду ³⁾, Гейкоку и Невиллю ⁴⁾ мѣдь способна давать съ оловомъ твердые растворы типа $CuSn^{n-}$, гдѣ $n = 0,053$ ($9,6\%$ вѣс. Sn).

¹⁾ Charpy. Contribution à l'étude des alliages, p. 18.

²⁾ Haas. Wiedemann's Annalen. 52, 673 (1894).

³⁾ Третій отчетъ комитету по изслѣд. сплавовъ. Proc. R. Society. Апрель 1895, стр. 238.

⁴⁾ Philos. Transactions of the R. Society. 202. (A), 346 (1903).

На таблицѣ III и фиг. 2 представлены измѣренія твердости системы Cu-Sn, произведенныя Кальвертомъ и Джонсономъ ¹⁾ по способу вдавливанія и Мартенсомъ ²⁾ — склерометрическимъ путемъ.

Таблица III.
Сплавы мѣди съ оловомъ.

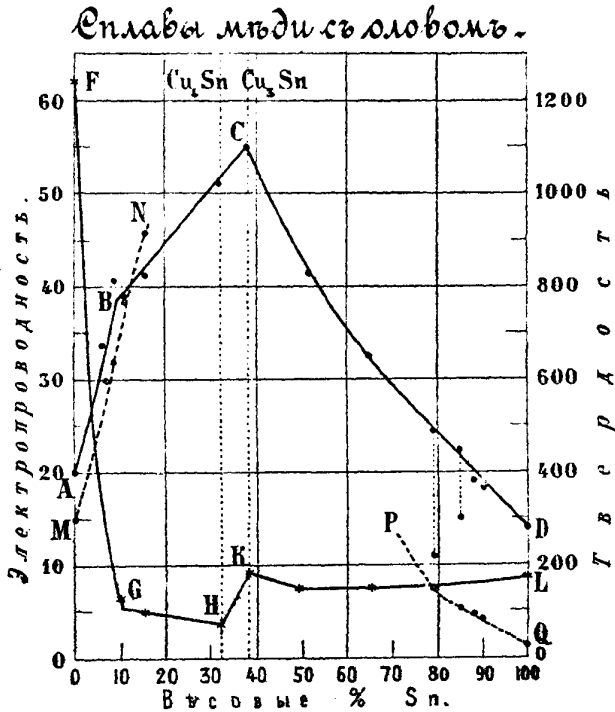
Отношенія атомовъ Cu : Sn	Содержаніе % Sn по вѣсу.	Т в е р д о с т ь.	
		Мартенс.	Кальвертъ и Джонсонъ; чугуны = 1000.
Cu	0,00	398	301,0
25 : 1	6,83	675	602,06
20 : 1	8,51	816	639,58
15 : 1	11,03	780	772,92
10 : 1	15,68	825	916,66
5 : 1	23,10	1000	твердъ и хрупокъ
4 : 1	31,73	1020	»
3 : 1	38,21	1100	»
2 : 1	51,82	830	»
1 : 1	65,02	652	»
1 : 2	78,79	{ 487 *) 218	135,42
1 : 3	84,79	{ 446 *) 300	104,17
1 : 4	88,14	378	95,81
1 : 5	90,27	364	83,33
Sn	100,00	282	27,0

Примѣчаніе. Двойныя числа, обозначенныя *), выражаютъ твердость двухъ различныхъ структурныхъ элементовъ сплава.

¹⁾ Philos. Magazine (4) 17, 114 (1859); Pogg. Ann. 108, 575 (1859).

²⁾ Mittheilungen aus den Kgl. techn. Versuchsanstalten. 8, 236 (1890).

Мартенсъ изстѣдовалъ склерометрически всю діаграмму твердости (кривая $ABCD$, фиг. 2), между тѣмъ какъ Кальвертъ и Джонсонъ, вслѣдствіе большой хрупкости сплавовъ съ 28—65% Sn, могли произвести измѣренія по методу вдавливанія только въ крайнихъ областяхъ 0—15,7% Sn (вѣтвь MN) и 78,8—100% Sn (вѣтвь PQ).



Фиг. 2.

Въ общемъ, направленіе обѣихъ этихъ линій MN и PQ оказывается согласнымъ съ соответствующими кривыми, вычерченными на основаніи данныхъ Мартенса (AB и CD).

Склерометрическая діаграмма сплавовъ 0—31,8% Sn состоитъ изъ двухъ возрастающихъ линій AB и BC , пересѣкающихся въ точкѣ B , около 8,5—9% вѣс. Sn. Первая изъ этихъ вѣтвей несомнѣнно принадлежитъ твердому раствору

$\text{CuSn}^{0-0,053}$, предѣльная концентрація котораго указывается точкой *B* и совпадаетъ съ величиною, полученной на основаніи термическихъ и микрографическихъ наблюдений.

Въ точкѣ *C*, отвѣчающей 38,21% олова, діаграмма твердости имѣетъ рѣзко выраженный максимумъ, который принадлежитъ трехмѣдному станниду Cu_3Sn (Trikupferstannid); какъ извѣстно, существованіе послѣдняго соединенія констатируется въ сплавахъ мѣди съ оловомъ самыми разнообразными путями.

Приведенная діаграмма находится въ полномъ согласіи съ кривой электропроводности мѣднооловянныхъ сплавовъ *FGHKL* ¹⁾, изображенной на фиг. 2 по даннымъ Лоджа и Робертсъ-Остена. Громадное пониженіе проводимости на вѣтви *FG* характеризуетъ образованіе твердаго раствора $\text{CuSn}^{0-0,053}$, предѣльная концентрація котораго указывается точкой излома *G* около 9—10% вѣс. Sn. Максимумъ *K* и здѣсь соотвѣтствуетъ соединенію Cu_3Sn . Электропроводность даетъ также указанія на существованіе четырехмѣднаго станнида Cu_4Sn , которому принадлежитъ минимумъ *H*. Послѣднее вещество не выражается замѣтнымъ образомъ на діаграммѣ твердости, вѣроятно вслѣдствіе малаго числа экспериментальныхъ данныхъ въ области концентрацій 20—40% Sn.

4. *Сплавы мѣди съ марганцемъ и никкелемъ*. Въ настоящее время можно считать доказаннымъ, что при затвердѣваніи сплавовъ мѣди съ марганцемъ ²⁾, никкелемъ ³⁾ и золотомъ ⁴⁾ выделяются непрерывные ряды твердыхъ растворовъ, относящихся къ типу $AB^{0-\infty}$.

¹⁾ Lodge. Philos. Magazine (5) 8, 554 (1879).—Roberts-Austen. Третій отчетъ комитету сплавовъ; Philos. Magazine (5) 8, 57, 551 (1879).—Guertler. Zeitschr. anorg. Chem. 51, 417 (1906).

²⁾ Lewis. Journ. Soc. Chem. Industry. 1902, 30 Іюня.—С. Жемчужный, Г. Уразовъ и А. Рыковскій. Журн. Р. Х. О. 39, 787 (1907); Zeitschr. anorg. Chem. 57, 253 (1908).—С. Вологдинъ. Revue de Métallurgie. 1907, p. 25.—Sahmen. Zeitschr. anorg. Chem. 57, 20 (1908).

³⁾ Н. Курнаковъ и С. Жемчужный. Извѣстія Спб. Политехническаго Института 1906. VII, 561; Zeitschr. anorg. Chemie 54, 151 (1907).—Guertler u. Tammann. Zeitschr. anorg. Chem 52, 25 (1907).

⁴⁾ Roberts-Austen and Kirke-Rose, Proceed. of the R. Soc. 67, 105 (1901).—Н. Курнаковъ и С. Жемчужный. Извѣстія Спб. Политехн. Института 6, 569 (1906); Zeitschr. anorg. Chem. 54, 158 (1907).

Для первыхъ двухъ системъ въ литературѣ имѣются опредѣленія твердости, произведенныя Гилье ¹⁾ и С. Вологдинымъ ²⁾ по методу Бринеля.

Полученные этими изслѣдователями результаты приведены на таблицахъ IV и V, а также представлены графически на фиг. 3.

Таблица IV.

Сплавы мѣди съ марганцемъ.

% Mn по вѣсу.	Твердость по Бринелю.	
	Гилье.	Вологдинъ.
0	—	50
1,6	—	68,4
2,94	83	—
4,40	95	—
4,80	—	78
6,56	101	—
11,8	—	72
14,12	—	75
18,5	—	82
20	—	121
22,25	—	155
30,3	—	130
33,6	—	124
35,6	—	131
40	—	146
49,1	—	187

Таблица V.

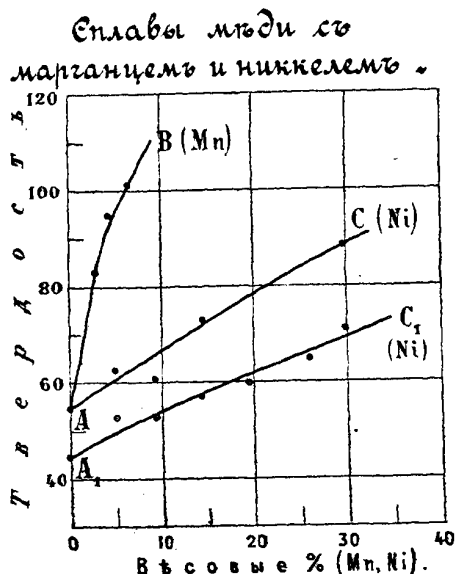
Сплавы мѣди съ никелемъ.
(Гилье).

% Ni по вѣсу.	Твердость по Бринелю.	
	Прокатанный.	Отожженный при 750°.
5,09	63	53
9,30	61	53
14,34	73	57
19,40	—	60
26,05	—	65
29,73	—	—
29,85	88	—

¹⁾ Guillet. Étude industrielle des alliages métalliques, p. 757, 1098.

²⁾ Wologdine. Revue de Métallurgie. 1907, p. 36.

На фигурѣ 3 линіи AB , AC и A_1C_1 указываютъ на увеличеніе твердости при возрастаніи концентрации изоморфныхъ смѣсей мѣди съ марганцемъ и никкелемъ (по наблюденіямъ Гилье).



Фиг. 3.

Оба автора изслѣдовали сплавы въ литомъ видѣ, но у Гилье образцы были подготовлены прокаткой и испытанія производились надъ матеріаломъ, подвергшимся механической обработкѣ или т. наз. наклепкѣ (*écrouissage*). Вслѣдствіе этого числа Гилье значительно выше соотвѣствующихъ величинъ, полученныхъ С. Вологдинымъ.

При отжиганіи твердость уменьшается, какъ это видно на нижней кривой A_1C_1 , относящейся къ сплавамъ мѣди съ никкелемъ.

Приведенныя данныя свидѣлствуютъ объ увеличеніи твердости мѣди отъ прибавленія до 30—50% другого металла (марганца или никкеля), но онѣ являются недостаточными для опредѣленія полной діаграммы твердости въ двойной системѣ, характеризующейся присутствіемъ непрерывнаго ряда твердыхъ растворовъ типа $AB^0-\infty$.

Въ качествѣ примѣра подобной системы мы выбрали сначала сплавы мѣди съ никкелемъ, для которыхъ способность смѣшиваться во всѣхъ пропорціяхъ при затвердѣваніи была доказана нами ¹⁾, а также Гюртлеромъ и Тамманомъ ²⁾. Затѣмъ мы ввели въ кругъ нашихъ изслѣдованій изоморфныя смѣшенія золота съ мѣдью и серебромъ.

Отдѣльныя указанія на увеличенія твердости (по шкалѣ Маса) при образованіи твердыхъ растворовъ мы встрѣчаемъ также въ работахъ Таммана ($Au-Fe$, $Pt-Fe$) ³⁾, Руэра ($Pd-Cu$, $Pd-Au$) ⁴⁾ и Дэринкеля ($Cu-Pt$, $Au-Pt$) ⁵⁾. Руэръ нашелъ, что твердость двойныхъ изоморфныхъ смѣсей мѣди (3,0) и золота (2,5) съ палладіемъ возрастаетъ вмѣстѣ съ увеличеніемъ содержанія послѣдняго металла до максимума—3,5 (ок. 30% вѣс. Au и ок. 50% вѣс. Cu) и затѣмъ понижается до 3—величины, свойственной чистому палладію.

Мѣдь и никкель. Измѣренія твердости были произведены посредствомъ склерометра работы Пеллэнъ (Pellin) въ Парижѣ, любезно предоставленнаго въ наше распоряженіе проф. А. А. Байковымъ. Пользуемся случаемъ выразить ему нашу искреннюю признательность.

Въ качествѣ объектовъ для опредѣленія твердости примѣнялись главнымъ образомъ препараты, служившіе для нашихъ прежнихъ изслѣдованій микроструктуры мѣднониккелевыхъ сплавовъ. Нѣкоторые образцы были приготовлены снова сплавленіемъ тѣхъ исходныхъ металловъ, которыми мы пользовались раньше.

Тщательно отполированная поверхность испытываемаго препарата укрѣплялась горизонтально на столикѣ склерометра, снабженномъ двумя микрометрическими винтами; послѣдніе позволяли передвигать объектъ въ горизонтальной плоскости въ двухъ взаимно перпендикулярныхъ направленіяхъ. Черты

¹⁾ Н. Курнаковъ и С. Жемчужный. Извѣстія Спб. Политехническаго Института, 6, 569 (1906). Zeitschr. anorg. Chem. 54, 149 (1907).

²⁾ Guertler u. Tammann. Zeitschr. anorg. Chem. 52, 25 (1907).

³⁾ Isaac u. Tammann. Zeitschr. anorg. Chem. 53, 297; 55, 69 (1907).

⁴⁾ Ruer. Zeitschr. anorg. Chem. 51, 230, 396 (1906).

⁵⁾ Doerincel. Zeitschr. anorg. Chem. 54, 338, 348 (1907).

проводились закаленнымъ стальнымъ штифтомъ, закрѣпляемымъ на концѣ одного изъ плечъ уравновѣшеннаго коромысла, которое устанавливалось передъ каждымъ опытомъ въ горизонтальномъ положеніи посредствомъ уровня.

Нижняя часть стального штифта была заточена на конусъ въ 45° . Посредствомъ осторожнаго вращенія кремальбернаго винта коромысло опускалось внизъ до соприкосновенія конического острія съ поверхностью препарата въ желаемомъ мѣстѣ; затѣмъ конецъ коромысла съ штифтомъ нагружался гирей въ 20 гр. и производилась черта медленнымъ передвиженіемъ столика посредствомъ одного изъ микрометрическихъ винтовъ.

Какъ показали Мартенсъ ¹⁾, для полученія надежныхъ результатовъ необходимо имѣть возможно большее количество чертъ для даннаго образца. Съ этой цѣлью послѣ проведенія первой черты столикъ склерометра передвигался вторымъ микрометрическимъ винтомъ на нѣкоторую постоянную величину $= 0,2 - 0,5$ мм., послѣ чего вращеніемъ перваго микрометрическаго винта дѣлалась вторая черта и т. д. Ширина полученныхъ такимъ путемъ въ различныхъ мѣстахъ препарата параллельныхъ чертъ подвергалась измѣренію, увеличивая ихъ посредствомъ микроскопа и фотографической камеры въ 440 разъ.

Послѣ проявленія и высушиванія ширина чертъ на негативѣ доходила до 7—8 мм. и обмѣрялась при помощи миллиметровой линейки, снабженной ноніусомъ, который позволялъ производить отчеты съ точностью до 0,025 мм.

На табл. VI приведены средніе результаты измѣреній ширины чертъ (R) при увеличеніи въ 440 разъ и нагрузкѣ на стальной штифтъ $= 20$ граммамъ. Обратная величина $\frac{1}{R}$, умноженная на 440, представляетъ твердость (H), отношенную къ миллиметру, какъ единицѣ сравненія ширины чертъ.

¹⁾ Mittheilungen aus den Kgl. technisch. Versuchsanstalten. 8, 215 (1890).