

А.П. Смирягин

**Промышленные цветные
металлы и сплавы**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 621
ББК 34.4
А11

A11 **А.П. Смирягин**
Промышленные цветные металлы и сплавы / А.П. Смирягин – М.: Книга по Требованию, 2021. – 560 с.

ISBN 978-5-458-24000-0

Приведены подробные сведения о физико-химических, механических и технологических свойствах важнейших промышленных цветных металлов и сплавов. Данна общая характеристика физических и коррозионных свойств каждой группы сплавов, влияния на них добавок и вредных примесей, а также указаны области применения этих сплавов.

ISBN 978-5-458-24000-0

© Издание на русском языке, оформление

«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,

«Книга по Требованию», 2021

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, кляксы, 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.

| | Стр. 289 |
|---|-------------|
| Литейные оловянные бронзы | 292 |
| Литейные оловянные бронзы ответственного назначения (нестандартные) | 292 |
| Бронза БрО10 | 294 |
| Бронза БрОФ10-1 | 295 |
| Бронза БрОЦ10-2 | 296 |
| Бронза БрОЦ8-4 | 298 |
| Бронза БрОС8-12 | 299 |
| Бронза БрОС5-25 | 300 |
| Бронза БрОЦС6-6-3 | 301 |
| Часть IV. Никелевые и медноникелевые сплавы | 302 |
| Влияние компонентов и примесей | 302 |
| Светлый отжиг никелевых и медноникелевых сплавов | 311 |
| Коррозионные свойства никеля | 312 |
| Конструкционные никелевые и медноникелевые сплавы | 315 |
| Никель технический НТ | 316 |
| Никель малолегированный НК0,2 для электровакуумной промышленности | 322 |
| Никель марганцевый НМц2,5 | 324 |
| Никель марганцевый НМц5 | 327 |
| Монель-металл НМЖМц28-2,5-1,5 | 330 |
| Мельхиор МНЖМц30-0,8-1 | 338 |
| Мельхиор МН19 | 349 |
| Нейзильбер МНЦ15-20 | 356 |
| Нейзильбер свинцовый МНЦС17-18-1,8 | 362 |
| Куниаль МНА13-3 (А) и МНА6-1,5 (Б) | 364 |
| Медноникелевый сплав МН5 | 370 |
| Термоэлектродные никелевые и медноникелевые сплавы | 377 |
| Сплав МН0,6 (ТП) | 377 |
| Сплав МН16 (ТБ) | 379 |
| Копель МНМц43-0,5 | 382 |
| Хромель НХ9,5 (1) и НХ9 (2) | 387 |
| Алюмель НМцАК2-2-1 | 392 |
| Сплавы сопротивления | 398 |
| Нихром Х20Н80 | 401 |
| Ферронихром Х15Н60 | 403 |
| Константан МНМц40-1,5 | 409 |
| Манганин МНМц3-12 | 414 |
| Магнитные сплавы | 420 |
| Часть V. Алюминий и его важнейшие сплавы | 421 |
| Влияние примесей и газов | 421 |
| Коррозионные свойства алюминия | 424 |
| Алюминий технический | 425 |
| Алюминиевые сплавы, обрабатываемые давлением | 431 |
| Алюминиевые сплавы литьевые | 442 |

| | Стр. |
|---|------|
| Часть VI. Магний и его важнейшие сплавы | 450 |
| Влияние примесей | 450 |
| Коррозионные свойства магния и его сплавов | 450 |
| Магний технический | 451 |
| Магниевые сплавы, обрабатываемые давлением | 452 |
| Магниевые сплавы литьевые | 455 |
| Магниевые сплавы в чушках | 458 |
| Часть VII. Олово и его важнейшие сплавы | 459 |
| Влияние примесей | 459 |
| Коррозионные свойства олова | 460 |
| Олово техническое | 461 |
| Сплавы на основе олова | 464 |
| Часть VIII. Свинец и его важнейшие сплавы | 465 |
| Влияние примесей | 465 |
| Коррозионные свойства свинца | 465 |
| Свинец технический | 466 |
| Свинцовые сплавы | 470 |
| Часть IX. Цинк и его важнейшие сплавы | 472 |
| Влияние примесей | 472 |
| Коррозионные свойства цинка | 473 |
| Цинк технический | 474 |
| Цинковые сплавы | 481 |
| Часть X. Титан и его сплавы | 482 |
| Влияние газов и примесей на физико-химические свойства титана | 483 |
| Коррозионные свойства титана | 487 |
| Сплавы на основе титана | 491 |
| Влияние добавок на свойства титана | 492 |
| Приложение | 497 |
| Физико-химические свойства чистых металлов | 497 |
| Кристаллическая структура металлов | 515 |
| Упругость паров важнейших элементов | 523 |
| Растворимость газов в металлах | 526 |
| Электродные потенциалы | 528 |
| Механические свойства чистых металлов | 530 |
| Свойства химических соединений | 535 |
| Температуры плавления солей и их смесей, применяемых в качестве флюсов | 548 |
| Эталоны для определения микроскопическим методом величины зерна в металлах и однофазных сплавах | 554 |
| Литература | 556 |

СВЕТЛОЙ ПАМЯТИ ДОРОГОГО УЧИТЕЛЯ,
ЗАСЛУЖЕННОГО ДЕЯТЕЛЯ НАУКИ
И ТЕХНИКИ, ПРОФЕССОРА
АНАТОЛИЯ МИХАИЛОВИЧА БОЧВАРА
АВТОР ПОСВЯЩАЕТ СВОЙ ТРУД

ПРЕДИСЛОВИЕ

В книге собраны сведения, необходимые для практической работы по изготовлению, обработке и применению важнейших цветных металлов и сплавов; приведены подробные данные о физико-химических, механических, технологических свойствах и применении указанных металлов и сплавов. Книга иллюстрирована диаграммами, показывающими изменение свойств сплавов в зависимости от степени деформации, температуры отжига и величины зерна, а также влияние высоких температур на свойства сплавов.

Для удобства пользования материалы о сплавах в книге расположены по принципу изменения основного компонента, как это принято в Государственных стандартах.

Второе издание книги вновь переработано и дополнено новейшими данными по физическим, механическим и химическим свойствам важнейших цветных металлов и сплавов, а также в нем уточнены и значительно дополнены диаграммы, характеризующие изменение свойств цветных металлов и сплавов. Книга дополнена разделами, касающимися весьма важных облагораживаемых сплавов: бериллиевых, хромовых, кремнистоникелевых бронз и др.

Полнее освещены вопросы, касающиеся влияния примесей, добавок, анизотропии свойств и коррозионной стойкости цветных металлов и сплавов. Учитывая пожелания многих читателей, расширен раздел о свойствах чистых металлов.

При составлении этой книги, кроме справочной литературы и ГОСТов, учтены опубликованные в советской и заграничной печати научно-исследовательские работы, а также работы автора за последние 30 лет.

ЧАСТЬ I

МЕДЬ ТЕХНИЧЕСКАЯ

Медь — химический элемент первой группы периодической системы Д. И. Менделеева с порядковым номером 29 и атомным весом 63,57 (физич. ат. вес 63,54). Известны стабильные изотопы меди с массами 63 и 65. Получены искусственные радиоактивные изотопы меди с массами: 58, 59, 60, 61, 62, 64, 66 и 67 и с периодами полураспада от 3 сек. до 60 час.

Техническая медь обладает высокой электропроводностью, теплопроводностью, коррозионной стойкостью; хорошо обрабатывается давлением как в горячем, так и холодном состоянии, что обусловливает широкое использование меди во всех областях промышленности как в чистом виде, так и в виде разнообразных сплавов

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ НА СВОЙСТВА МЕДИ

В этом разделе рассматривается влияние на свойства меди примесей как присутствующих в стандартных марках меди, так и примесей, которые могут попасть в медь, например, при использовании вторичных металлов или при раскислении.

Здесь же даны сведения о влиянии на медь некоторых элементов (селен, теллур), имеющих самостоятельное значение. Данные о влиянии олова, никеля и цинка подробно рассматриваются в разделах, посвященных латуням и бронзам.

Многие примеси, содержащиеся в меди, влияют на ее физические и технологические свойства. Присутствие в меди некоторых примесей даже в ничтожных количествах резко снижает ее электропроводность. Влияние примесей, обычно встречающихся в технической меди, а также добавок некоторых элементов на электропроводность и теплопроводность меди, показано на рис. 1, 2 и 3.

Алюминий в стандартных марках технической меди не встречается и попадает в нее лишь случайно при использовании вторичных металлов. На механические свойства меди и обработку давлением алюминий заметного влияния не оказывает, но зато повышает коррозионную устойчивость ее и, в частности, резко уменьшает окисляемость при нормальной и повышенной температурах

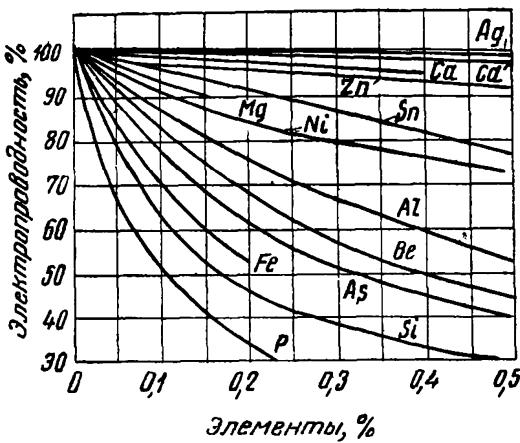


Рис 1 Влияние примесей на электропроводность меди

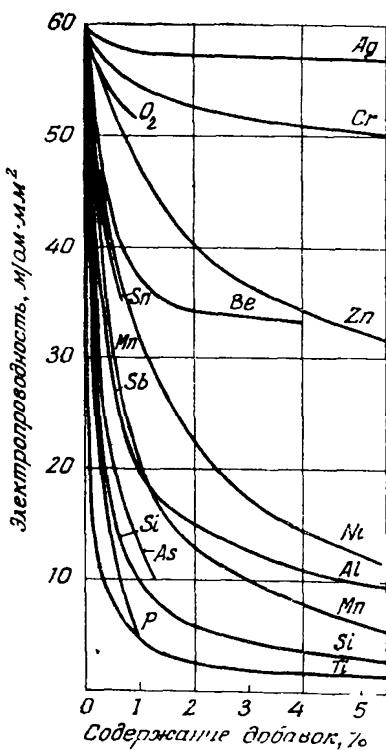


Рис. 2 Влияние добавок на электропроводность меди

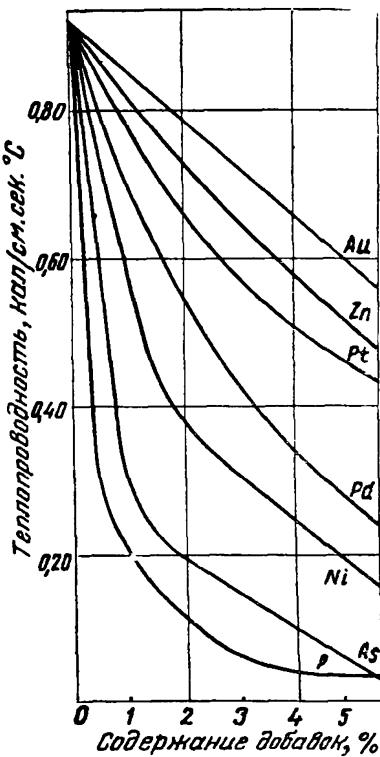


Рис. 3 Влияние добавок на теплопроводность меди

Отрицательное действие алюминий оказывает на медь при пайке и лужении, он также сильно понижает ее электропроводность и теплопроводность.

Бериллий в ряде случаев применяется как раскислитель. Его присутствие в незначительных количествах мало сказывается на электрических и других физических свойствах меди. Примеси бериллия повышают коррозионную стойкость меди при высоких температурах.

Висмут практически не растворим в меди в твердом состоянии. Диаграмма состояния Cu — Bi представлена на рис. 4. Под

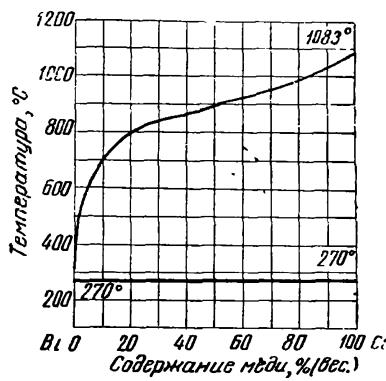


Рис. 4. Диаграмма состояния
меди — висмут

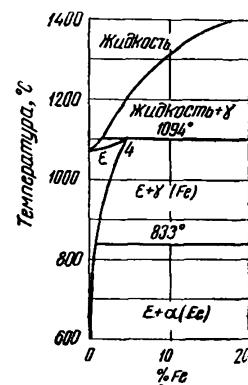


Рис. 5. Диаграмма со-
стояния меди — железо
(сторона меди)

влиянием небольших количеств висмута ($0,005\%$) медь легко разрушается при горячей обработке давлением. При повышенном содержании висмута медь делается хрупкой и в холодном состоянии, поэтому он является весьма вредной примесью. На электропроводность меди висмут заметного влияния не оказывает.

Железо незначительно растворимо в меди в твердом состоянии. При 1050° железо входит в твердый раствор до $3,5\%$, а при температуре 635° растворимость его снижается до $0,15\%$.

Диаграмма состояния Cu — Fe представлена на рис. 5. Железо измельчает структуру, задерживает рекристаллизацию, повышает прочность и снижает пластичность меди.

Электропроводность и теплопроводность меди под действием железа резко снижаются, также заметно понижается и коррозионная устойчивость. Если железо присутствует в меди как самостоятельная фаза, то медь приобретает магнитные свойства.

Кислород мало растворим в меди в твердом состоянии. На рис. 6 показаны границы α -твердого раствора в системе Cu — O.

При затвердевании меди кислород выделяется в виде эвтектики медь — закись меди, располагающейся по границам кристаллитов. Содержание кислорода в литой и деформированной меди с большой точностью определяется микроскопическим методом по эталонам (см. ГОСТ 635—52. Медь. Методы анализа), так как количество эвтектики пропорционально содержанию кислорода в меди.

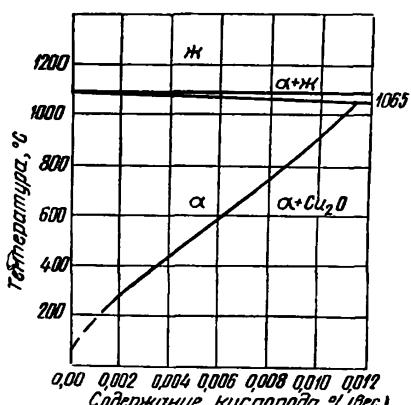


Рис. 6. Границы α-твердого раствора в системе медь — кислород. Сторона меди (А. П. Смирягин)

Составляющие, например сульфиды, фосфиды меди и др., в этих условиях не дают вышеуказанной цветной окраски.

Кислород является вредной примесью, так как при повышенном его содержании заметно понижается пластичность и коррозионные свойства меди, а также затрудняются процессы пайки, лужения и плакировки.

Влияние кислорода на механические и физические свойства холоднотянутой и отожженной меди приведено в табл. 1.

Еще в большей мере кислород отрицательно влияет на технологические свойства меди, в частности, медь, содержащая более 0,1% O, легко разрушается при горячей обработке давлением. Попытки парализовать вредное действие кислорода введением других элементов показали, что при определенном соотношении некоторых весьма вредных примесей, например сурьмы и мышьяка, значительно ослабляется их отрицательное действие, а также отрицательное действие кислорода.

В табл. 2 приведены данные, иллюстрирующие влияние кислорода на механические и физические свойства меди в присутствии мышьяка.

Из табл. 2 видно, что одновременное присутствие кислорода и мышьяка не оказывает на механических свойствах меди, но при этом весьма сильно снижается электропроводность.

Аналогичное влияние на механические свойства меди оказывают примеси кислорода и сурьмы, а также кислорода, сурьмы и мышьяка при совместном их присутствии (табл. 3).

При рассмотрении под микроскопом в рассеянном свете закись меди имеет голубоватую окраску.

В поляризованном свете закись меди при скрещивании никелей принимает рубиново-красную окраску, что является характерной особенностью для закиси меди, так как другие со-

Таблица 1

Влияние кислорода на свойства меди

| Материал | Содержание кислорода % | Предел прочности при растяжении $\text{kg}/\text{мм}^2$ | Относительное удлинение, % | Относительное сужение % | Предел усталости при 5×10^7 циклах $\text{kg}/\text{мм}^2$ | Электропроводность % | Плотность $\text{g}/\text{см}^3$ |
|---|------------------------|---|----------------------------|-------------------------|---|----------------------|----------------------------------|
| Медь, деформированная и отожженная при 700° , 30 мин | 0,016 | 22,7 | 54 | 77 | 7,7 | 100 | 8,91 |
| | 0,040 | 22,4 | 50 | 72 | 9,4 | 100 | 8,90 |
| | 0,060 | 22,7 | 56 | 70 | 9,1 | 100 | 8,9 |
| | 0,090 | 23,1 | 53 | 65 | 8,4 | 100 | 8,88 |
| | 0,170 | 24,1 | 49 | 57 | 7,7 | 99,0 | 8,84 |
| | 0,360 | 25,9 | 55 | 39 | 7,7 | 96,2 | 8,76 |
| Медь холодоизделия | 0,036 | 26,2 | 30 | 73 | 12,9 | 99,6 | |
| | 0,049 | 26,2 | 29 | 68 | 12,2 | 98,9 | |
| | 0,094 | 26,6 | 27 | 63 | 13,3 | 97,9 | |
| | 0,220 | 28,7 | 27 | 49 | 11,9 | 94,6 | |

Таблица 2

Влияние кислорода и мышьяка на свойства меди
(образцы после деформации отжигались при 700° в течение 30 мин.)

| O % | As % | Предел прочности при растяжении $\text{kg}/\text{мм}^2$ | Удлинение, % | Сужение % | Электропроводность, % | Плотность $\text{g}/\text{см}^3$ | Предел усталости при колебаниях 2×10^7 $\text{kg}/\text{мм}^2$ |
|-------|-------|---|--------------|-----------|-----------------------|----------------------------------|---|
| 0,016 | 0,053 | 22 | 57 | 72 | 85,5 | 8,91 | 9,8 |
| 0,005 | 0,093 | 22,4 | 57 | 70 | 76,9 | 8,89 | 10,1 |
| 0,003 | 0,36 | 22,7 | 60 | 79 | 45,3 | 8,92 | 9,5 |
| 0,009 | 0,60 | 23,4 | 55 | 62 | 33,7 | 8,85 | 10,1 |
| 0,013 | 0,86 | 23,8 | 56 | 66 | 25,6 | 8,86 | 10,5 |
| 0,006 | 1,04 | 23,8 | 59 | 79 | 22,5 | 8,91 | 10,8 |
| 0,11 | 0,09 | — | — | 58 | 73,9 | 8,87 | 10,8 |
| 0,039 | 0,09 | 22,7 | 62 | 70 | 75,3 | 8,9 | 9,5 |
| 0,04 | 0,24 | 23,1 | 57 | 71 | 55,1 | 8,89 | 10,8 |
| 0,06 | 0,25 | 22,7 | 58 | 67 | 54,8 | 8,88 | 10,5 |
| 0,07 | 0,30 | 23,1 | 55 | 66 | 49,9 | 8,88 | 10,5 |
| 0,058 | 0,34 | 23,4 | 56 | 64 | 46,4 | 8,88 | 10,2 |
| 0,071 | 0,44 | 23,1 | 59 | 67 | 40,8 | 8,88 | 10,8 |
| 0,034 | 0,45 | 23,8 | 62 | 72 | 37,9 | 8,90 | 11,2 |
| 0,05 | 0,93 | 24,8 | 61 | 72 | 24 | 8,9 | 10,8 |
| 0,005 | 1,40 | — | — | 67 | 19,2 | 8,87 | 10,8 |
| 0,006 | 2,02 | 25,5 | 59 | 64 | 14,5 | 8,86 | 11,9 |

Таблица 3

Влияние кислорода, сурьмы и мышьяка на свойства меди
(образцы отжигались при 700° в течение 30 мин.)

| O % | Sb % | As % | Предел прочности при рас- тяжении кг/мм ² | Относи- тельное удлинение % | Сужение, % | Электро- проводность % | Плот- ность, г/см ³ | Предел усталости при 2×10^7 колебаний кг/мм ² |
|--------|---------|---------|--|-----------------------------------|------------|---------------------------|-----------------------------------|--|
| 0,008 | 0,0035 | — | 22 | 63 | 75 | 100 | 8,91 | 8,4 |
| 0,013 | 0,021 | — | 22,4 | 63 | 74 | 97,4 | 8,91 | 9,1 |
| 0,005 | 0,046 | — | 22,4 | 60 | 72 | 94,8 | 8,9 | 9,1 |
| 0,015 | 0,092 | — | 23,4 | 49 | 73 | 94,1 | 8,92 | 9,1 |
| 0,016 | 0,22 | — | 23,1 | 67 | 77 | 75,6 | 8,92 | 10,8 |
| 0,014 | 0,47 | — | 23,4 | 58 | 66 | 56,4 | 8,92 | 12,2 |
| 0,014 | 0,05 | 0,05 | 22,4 | 60 | 73 | 82,5 | 8,9 | 10,5 |
| 0,018 | 0,32 | 0,045 | 22,4 | 59 | 71 | 48,9 | 8,89 | 10,5 |
| 0,019 | 0,51 | 0,048 | 23,1 | 58 | 73 | 38,8 | 8,89 | 11,2 |
| 0,018 | 0,05 | 0,25 | 23,8 | 59 | 77 | 65,9 | 8,91 | 11,2 |
| 0,017 | 0,32 | 0,24 | 23,5 | 59 | 75 | 46,2 | 8,9 | 11,2 |
| 0,013 | 0,55 | 0,24 | 23,8 | 64 | 76 | 32 | 8,91 | 12,2 |
| 0,018 | 0,06 | 0,49 | 24,5 | 60 | 76 | 56,8 | 8,89 | 11,9 |
| 0,017 | 0,53 | 0,50 | 25,2 | 62 | 76 | 39,9 | 8,9 | 12,2 |

Однако при наличии в меди примесей кислорода, мышьяка и сурьмы, ее электропроводность под влиянием суммы этих примесей резко снижается.

Данные о влиянии примесей кислорода и висмута, а также кислорода и железа при их совместном присутствии на механические и физические свойства меди приведены в табл. 4 и 5.

Таблица 4

Влияние кислорода и висмута на свойства меди

| Материал | O % | Bi % | Предел прочности при рас- тяжении кг/мм ² | Относи- тельное удлине- ние, % | Относи- тельное сужение % | Электропро- водность % | Плотность г/см ³ | Предел усталости при 2×10^7 колебаний кг/мм ² |
|--------------------------------------|--------|---------|--|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| Отожженный при 700°, 30 мин. | 0,015 | 0,002 | 22,4 | 66 | 68 | 100 | 8,9 | 9,4 |
| | 0,016 | 0,006 | 23,1 | 62 | 72 | 100 | 8,92 | 9,4 |
| | 0,011 | 0,016 | 23,4 | 60 | 74 | 100 | 8,91 | 9,4 |
| | 0,015 | 0,015 | 23,1 | 64 | 72 | 99,5 | 8,89 | 10,5 |
| Холоднотяну- тый (наклеп. 50%) | 0,015 | 0,002 | 36,7 | 17 | 62 | 99,9 | 8,92 | 13,3 |
| | 0,016 | 0,006 | 37,4 | 17 | 65 | 99,8 | 8,92 | 13,6 |
| | 0,011 | 0,016 | 36,4 | 17 | 60 | 100 | 8,92 | 13,6 |
| | 0,015 | 0,015 | 36,4 | 13 | 73 | 98,9 | 8,93 | 13,3 |