

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ»

**Ю.Н.Логинов**

# **МЕДЬ И ДЕФОРМИРУЕМЫЕ МЕДНЫЕ СПЛАВЫ**

Учебное пособие

Научный редактор доц., канд.техн.наук С.П.Буркин

Екатеринбург

2004

УДК 669.35/075  
ББК 34.3я73  
Л69

Рецензенты:

кафедра мехатроники Уральского государственного университета путей сообщения (зав.кафедрой – проф. д-р техн. наук Б.М.Готлиб);  
вед.науч.сотр. Института физики металлов УрО РАН, канд.техн.наук  
Б.И.Каменецкий

Автор: Ю.Н.Логинов

Л69 Медь и деформируемые медные сплавы: учебное пособие/  
Ю.Н.Логинов. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. 136 с.  
ISBN 5-321-00444-7

Приведены характеристики меди и сплавов на ее основе. Используются данные отечественных и зарубежных стандартов. Основное внимание уделено характеристикам металлов и сплавов, используемых в обработке металлов давлением.

Пособие предназначено для студентов очно-заочной формы обучения специальности 1106000 – Обработка металлов давлением

Библиогр.: 17 назв. Табл. 53. Рис.51. Прил. 11.

УДК 669.35/075  
ББК 34.3я73

ISBN 5-321-00444-7

© ГОУ ВПО «Уральский  
государственный технический  
университет – УПИ»

© Логинов Ю.Н., 2004

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ	6
1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ИСТОРИИ МЕТАЛЛУРГИИ МЕДИ	7
2. СИСТЕМЫ СТАНДАРТОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ МЕДИ И МЕДНЫХ СПЛАВОВ	9
3. ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ПРИНЯТЫЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ МЕДНЫХ СПЛАВОВ (НА ОСНОВЕ СТАНДАРТА ASTM B846)	16
4. МЕДЬ	25
5. ДЕФОРМИРУЕМЫЕ БРОНЗЫ	45
6. ДЕФОРМИРУЕМЫЕ ЛАТУНИ	66
7. МЕДНОНИКЕЛЕВЫЕ СПЛАВЫ	90
8. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ В СФЕРЕ ПРОИЗВОДСТВА ДЕФОРМИРОВАННЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ	100
9. ЦЕНЫ НА СЫРЬЕ И ПОЛУФАБРИКАТЫ ИЗ МЕДНЫХ СПЛАВОВ	106
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	111
ПРИЛОЖЕНИЯ	112
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. СООТВЕТСТВИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕРМИНОВ В ОБЛАСТИ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ	112
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРИ ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛОВ	
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ОБОЗНАЧЕНИЯ НЕКОТОРЫХ МАРОК МЕДИ И МЕДНЫХ СПЛАВОВ В СТАНДАРТАХ РАЗНЫХ СТРАН	
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. ОБОЗНАЧЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ДЕФОРМИРУЕМЫХ МЕДНЫХ СПЛАВОВ ПРИ ХОЛОДНОМ ОБЖАТИИ ПО СТАНДАРТУ ASTM	116
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. КОДЫ МАРКИРОВКИ СОСТОЯНИЯ ASTM B601 МЕДИ И МЕДНЫХ СПЛАВОВ	116
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. СООТВЕТСТВИЕ ЕВРОПЕЙСКОГО СТАНДАРТА СТАНДАРТУ ВЕЛИКОБРИТАНИИ НА ПОЛУФАБРИКАТЫ ИЗ МЕДИ И МЕДНЫХ СПЛАВОВ	120
ПРИЛОЖЕНИЕ 7. ОБОЗНАЧЕНИЯ СТАНДАРТОВ НА МЕДНЫЕ СПЛАВЫ И ПОЛУФАБРИКАТЫ ИЗ НИХ В РАЗЛИЧНЫХ СТРАНАХ МИРА	124
ПРИЛОЖЕНИЕ 8. ЗНАЧЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПАРАМЕТРА ЛОДЕ В РАЗЛИЧНЫХ ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ	125
ПРИЛОЖЕНИЕ 9. НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ РОССИИ НА ПОЛУФАБРИКАТЫ ИЗ ДЕФОРМИРУЕМЫХ МЕДНЫХ СПЛАВОВ	126
ПРИЛОЖЕНИЕ 10. ГЛОССАРИЙ АНГЛОЯЗЫЧНЫХ ТЕРМИНОВ (GLOSSARY OF TERMS), ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ МЕДНЫХ СПЛАВОВ	129
ПРИЛОЖЕНИЕ 11. АДРЕСА САЙТОВ РОССИЙСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ОБРАБОТКЕ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ	135

## ВВЕДЕНИЕ

Медь в основном используется в электротехнической промышленности, связи, строительстве и транспорте. Мировое потребление меди возросло в 2003г. на 6,4%, до 14,9 млн. т против 14,1 млн. т в 1999 г. Максимальный прирост потребления металла в абсолютных показателях достигнут в Европе и азиатских странах. Наибольшими темпами потребление меди увеличилось в Европе - на 15,9%, далее следуют азиатские страны – 14,4%.

Лидируют же в отрасли предприятия, подконтрольные чилийскому государственному концерну CODELCO. Ближайшим конкурентом CODELCO является американская компания Phelps Dodge. Последняя фирма после поглощения своего основного конкурента – компании Surgus Amax в 1998 г. – практически догнала чилийского производителя.

Россия является одним из основных производителей меди, при этом более 70% рафинированной меди поставляется отечественными предприятиями на экспорт. По этой причине медь, наряду с основными энергоносителями(нефтью и газом), алюминием, никелем и черными металлами, является одним из основных экспортных товаров Российской Федерации, занимая около 4 – 7 % в объеме поступающей экспортной выручки.

Основные месторождения медных руд в России расположены в Красноярском крае и на Урале. Кроме этого, значительные объемы руды российские предприятия получают из Казахстана и Монголии. Однако в отличие от северных месторождений залежи медных руд в этих регионах к настоящему времени существенно выработаны, что в совокупности с развитием этими государствами собственной производственной базы снижает привлекательность казахстанского и монгольского сырья для отечественных переработчиков.

Основные производства меди Российской Федерации, так же как и месторождения, сконцентрированы на Урале и в Заполярье. Более 70% общего производства приходится на предприятия вертикально-интегрированной ГМК “Норильский Никель”. В состав этого предприятия входят “Норильская горнометаллургическая компания”, “Североникель” и “Печенганикель”. Кроме этого, в структуру компании входят ряд добывающих и перерабатывающих предприятий. Оставшуюся часть выпуска обеспечивают предприятия Уральского региона, такие, как АО “Уралэлектромедь” или АО “Кыштымский медеэлектролитный завод».

Процессы консолидации не обошли и российские предприятия. За три прошедших года в России на рынке сформировалось три устойчивых вертикально-интегрированных группы. Крупнейшей из них является ГМК “Норильский Никель». В настоящее время компания активно ведет

экспансию на российском рынке переработки меди (уже приобретены Туимский завод ОЦМ, петербургский «Красный выборжец»), что позволяет назвать «Норильский Никель» диверсифицированным вертикально-интегрированным холдингом с полным циклом переработки меди. Кроме этого, предприятие является крупнейшим в мире производителем никеля и металлов платиновой группы.

Второй по величине медный холдинг России - ОАО «Уральская горно-металлургическая компания». Она была образована в конце 1999 г. путем объединения в вертикально-интегрированную компанию следующих предприятий: комбината «Уралэлектромедь», Гайского ГОК, Сафьяновской меди, томского завода «Сибкабель», «Кировоградской металлургической компании», Среднеуральского медеплавильного завода, АО «Святогор». В дополнение к этому УГМК получила в управление акции Кировского завода ОЦМ.

Получением деформированных полуфабрикатов из медных сплавов заняты заводы по обработке цветных металлов (ОЦМ). Они сконцентрированы, в основном, в Европейской части страны. Основные предприятия по производству деформированных полуфабрикатов из медных сплавов:

Завод «Красный выборжец», г. Санкт-Петербург;

Московский завод ОЦМ, г. Москва;

Кольчугинский завод ОЦМ, г.Кольчугино Владимирской обл.;

Уралэлектромедь, г.Верхняя Пышма Свердловской обл.;

Ревдинский завод ОЦМ, г.Ревда Свердловской обл.;

Каменск-Уральский завод ОЦМ, г.Каменск-Уральский Свердловской обл.;

Кировский завод ОЦМ, г.Киров;

Орский завод ОЦМ, г.Орск Оренбургской обл.;

Туимский завод ОЦМ, г.Туим, Хакасия.

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$\sigma_{\delta}$  - временное сопротивление, предел прочности;  
 $\sigma_s$  - сопротивление деформации;  
 $\sigma_{cp}$  - среднее сопротивление деформации;  
 $\sigma_T$  - физический предел текучести;  
 $\sigma_{0,2}$  - условный предел текучести;  
 $\varepsilon_{\%}$  - степень деформации, %;  
 $\varepsilon$  - логарифмическая степень деформации;  
 $\lambda$  - коэффициент вытяжки;  
 $\beta$  - коэффициент уширения;  
 $1/\eta$  - коэффициент высотной деформации;  
 $\Lambda$  - степень деформации сдвига;  
 $\Lambda_p$  - степень деформации сдвига до разрушения;  
 $\delta$  - относительное удлинение;  
 $\psi$  - относительное сужение шейки;  
 $\lambda_T$  - коэффициент теплопроводности;  
 $c_T$  - удельная теплоемкость;  
 $\rho$  - плотность;  
 $\rho_1$  - удельное электросопротивление;  
 $E$  - модуль упругости;  
 $HB$  - твердость по Бринеллю;  
 $HRC$  - твердость по Роквеллу, шкала С;  
 $HRB$  - твердость по Роквеллу, шкала В;  
 $HV$  - твердость по Виккерсу;  
 $K$  - модуль объемной упругости (коэффициент объемного сжатия);  
 $\sigma$  - среднее нормальное напряжение;  
 $\sigma/T$  - показатель напряженного состояния;  
ОЦК - объемно-центрированная кубическая (решетка);  
ГЦК - гранецентрированная кубическая (решетка).

# 1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ИСТОРИИ МЕТАЛЛУРГИИ МЕДИ

Семь металлов принято считать доисторическими. Золото, серебро, медь, железо, олово, свинец и ртуть были известны людям с древнейших времен. Роль меди в становлении человеческой культуры особенна. Каменный век сменился медным, медный – бронзовым. Не везде этот процесс происходил одновременно. Коренное население Америки переходило от каменного века к медному в 16 веке, т.е. всего 400 лет назад. В Древнем Египте медный век наступил в 4 тысячелетии до нашей эры. Доказано, что знаменитая пирамида Хеопса выложена из камней, вытесанных инструментом из меди.

Подобно золоту и серебру медь способна образовывать самородки. Видимо, из них около 10000 лет назад были изготовлены первые металлические орудия труда. Распространению меди способствовали такие ее свойства, как способность к свободной ковке и относительная простота выплавки из богатых руд.

Становление меди как инструментального материала в истории развития человечества описал древний поэт и философ Лукреций Кар :

*Прежде служили оружием руки могучие, когти,  
Зубы, камень, обломки ветвей от деревьев и пламя,  
После того была найдена медь...*

«Медный век» длился около тысячи лет – вдвое меньше, чем бронзовый. Характерно, что в Греции (рис.1.1) культура меди зародилась позже, чем в Египте, а бронзовый век наступил раньше. Руда, из которой выплавляли медь египтяне, не содержала олова. Грекам повезло больше. Они добывали «оловянный камень» там же, где медную руду. Открытие оловянной бронзы произошло, видимо, случайно. Приятно удивили древних людей большие показатели твердости и прочности бронзы по отношению к меди. Достигается относительная легкоплавкость продукта (добавка 15% олова уменьшает температуру



Рис.1.1. Медеплавильная печь. Рисунок на греческой вазе, 6 век до н.э.

плавления меди с 1083 до 960°C), что снижает требования к футеровке печей и уменьшает расход топлива для выплавки и литья слитков.

Искусство выплавки и обработки меди и бронзы от греков унаследовали римляне. Они получали медь из покоренных стран, в первую очередь из Галлии и Испании, продолжали начатую греками добычу медной руды на Крите и Кипре. Латинское название меди «сиргит» связывают с названием острова Кипр.

Существует мнение археологов, что в России медеплавильные производства созданы в 13 веке. Еще в 1213 г. недалеко от Архангельска найдено Цильменское месторождение медной руды. В 1479 г. в Москве уже существовала «пушечная изба» и делались бронзовые пушки разных калибров. В 16-17 в.в. Россия испытывала острую нужду в металлах, особенно в меди. Для «сыску медных руды» русские умельцы отправлялись на север, за Волгу, на Урал. При Петре I роль российской



Рис.1.2. Медеплавильные печи Полевского завода, Урал, 1760г.

металлургии резко возрастает.

Ломоносов пишет: «...до трудов Петровых почти все получаемы были от окрестных народов, так что и военное оружие иногда у самих неприятелей нужда заставляла перекупать через другие руки дорогою ценою». К концу царствования Петра I (1724г.) только на Урале

действовало 11 плавильных и 4 «переплавных» печей, выпускавших медь(рис.1.2). Началась добыча металлов на Алтае.

Петр I не раз высказывал мысль о замене серебряной разменной монеты медной. В 1700 г. в России появились медные деньги: «деньга» - ½ копейки, «полушка» - ¼ копейки, «полуполушка» - 1/8 копейки. В 1704 г. взамен серебряных копеек введены медные копейки.

Среди металлов по масштабам производства в наши дни медь уступает лишь железу и алюминию.



## 2. СИСТЕМЫ СТАНДАРТОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ МЕДИ И МЕДНЫХ СПЛАВОВ

В связи с продолжением интеграции промышленности России в мировую экономику заводы ОЦМ вынуждены выполнять заказы от иностранных потребителей в соответствии с зарубежными стандартами. Остановимся здесь на сравнении правил, действующих в области стандартизации цветных металлов и сплавов.

В мировой практике стандартизации металлов и сплавов действуют, в основном три системы стандартов, основанные на терминах, символах и номерах. В европейской системе была разработана нумерационная система, которая получила развитие, потому что могла быть легко понята с применением и без применения компьютерной техники, а также быть применена в любой стране, невзирая на национальные языки.

Одна из наиболее развитых и широко известных систем – это унифицированная нумерационная система (UNS – Unified Numbering System), разработанная Национальным бюро стандартов (National Bureau of standards) США. Этот факт предопределил появление стандартов ASTM (American Society for Testing and Materials), распространившихся вначале в странах Северной Америки.

Европейская нумерационная система стандартов для цветных металлов (ENS - European numbering system for nonferrous metals) включает требования, предъявляемые к материалам, которые производятся во всех европейских странах.

Международной организацией по стандартизации ISO (International Standards Organization) создана смешанная система обозначений, основанная на использовании символов элементов и номинального процентного содержания легирующих компонентов (стандарт ISO1190). Например, свинцовая латунь, содержащая 60% меди и 2% свинца, обозначается как CuZn38Pb2. Эта система понятна для потребителей, но не может быть использована для описания сложных сплавов, содержащих большое количество легирующих элементов. Такие обозначения плохо подвергаются сортировке в компьютерных программах. Стандарты ISO, однако, получили широкое распространение в Европе в течение последних нескольких десятков лет, и многие страны адаптировали свои стандарты под стандарты ISO.

Относительно недавно ISO опубликовала техническое сообщение №TR7003 «Международная нумерационная система для металлов», в котором предложена стройная система обозначений, легко распознаваемая компьютерами. Европейская нумерационная система стандартов для цветных металлов (European numbering system for nonferrous metals)

включает требования, предъявляемые к материалам, которые производятся во всех европейских странах.

В России действует национальная система стандартов ГОСТ(GOST), основанная на применении нормативных документов, утвержденных органами государственной стандартизации.

Унифицированная нумерационная система (The Unified Numbering System - UNS) представляет собой конструкторскую систему, принятую в странах Северной Америки – США и Канаде. Она разработана совместно двумя организациями: ASTM (American Society for Testing and Materials) и SAE (Society of Automotive Engineers). В области медных сплавов система поддерживается организацией CDA (Copper Development Association Inc.).

В соответствии со стандартом ASTM медные сплавы (Copper Alloys) делятся на *деформируемые (Wrought)* и *литейные (Cast)*.

*Деформируемые (Wrought) медные сплавы* подразделяются на следующие группы (рис.2.1).

- Медь различных марок – Coppers, с номерами стандартов C10100 - C15999; на самом деле в этот раздел включены и малолегированные медные сплавы с содержанием меди не менее 99,3%. Среди марок

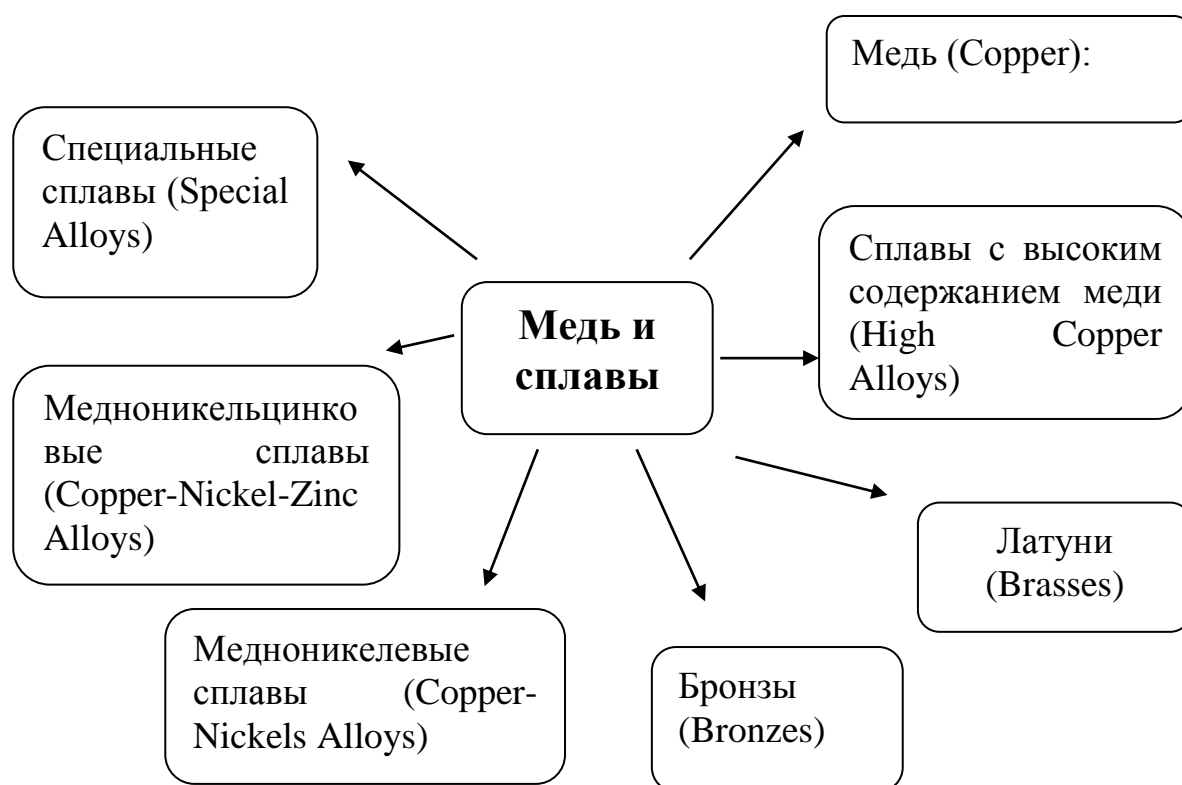


Рис.2.1. Классификация меди и ее сплавов по стандарту ASTM

технически чистой меди различают два сорта бескислородной меди (oxygen-free copper):

- бескислородная медь высокой электропроводности, производимая переплавом катодной меди (cathode copper или electrolytically refined copper) в атмосфере, не содержащей кислород, часто в атмосфере, содержащей водород; эта медь наилучшим образом подходит для электрических проводников, но имеет невысокие механические свойства;
- фосфорсодержащая бескислородная медь обладает высокой прочностью, но электропроводность ее ниже, чем у предыдущей марки.

- Медные сплавы с высоким содержанием меди - High Copper Alloys (C16000 - C19999); диапазон содержания меди в этих сплавах 99,3-96%. В эту группу попадают также сплавы меди с кадмием, бериллием, хромом, цирконием, которые по российской терминологии называются бронзами (соответственно, кадмиевой, бериллиевой, хромовой, циркониевой), в американской системе стандартов эти сплавы не являются бронзами.
- Латунни - Brasses(C21000 - C49999); различают три основных семейства латуней: медноцинковые сплавы (copper-zinc alloys), свинцовые латуни (copper-zinc-lead alloys - leaded brasses); оловянные латуни (copper-zinc-tin alloys - tin brasses). Эти сплавы меди с цинком могут содержать или не содержать другие легирующие элементы, например железо, алюминий, никель, кремний.
- Бронзы - Bronzes(C50000 - C69999). Семейства бронз: оловяннофосфористые бронзы - copper-tin-phosphorus alloys (phosphor bronzes); оловянные фосфористосвинцовые бронзы - copper-tin-lead-phosphorus alloys (leaded phosphor bronzes); алюминиевые бронзы - copper-aluminum alloys (aluminum bronzes); кремниевые бронзы - copper-silicon alloys (silicon bronzes).
- Медноникелевые сплавы («медные никели») - Copper Nickels(C70000 - C73499) содержат в качестве лигатуры никель с возможными добавками других элементов.
- Нейзильберы («Никелевое серебро») - Nickel Silvers(C73500 - C79999).
- Специальные сплавы (Special Alloys) – в их состав входят другие элементы, которые не попали в предыдущий перечень.  
*Литейные сплавы (Cast Alloys):*
- Медь различных марок - Coppers (C80000 - C81399).

- Медные сплавы с высоким содержанием меди - High Copper Alloys(C81400 - C83299), в отличие от деформируемых марок здесь содержание меди не менее 94%.
- Латунни - Brasses(C83300 - C89999). Литейные латунни подразделяют на следующие семейства: оловянные латунни, в том числе красные, полукрасные и желтые латунни - copper-tin-zinc alloys (red, semi-red and yellow brasses); марганцовистые бронзы, т.е. высокопрочные желтые латунни) - "manganese bronze" alloys (high strength yellow brasses); свинцовые марганцовистые бронзы или высокопрочные желтые латунни - leaded "manganese bronze" alloys (leaded high strength yellow brasses); кремнистые латунни - copper-zinc-silicon alloys (silicon brasses and bronzes); висмутовые и висмутселеновые медные сплавы - cast copper-bismuth and copper-bismuth-selenium alloys.
- Бронзы - Bronzes(C90000 - C95999). Включают семейства оловянных бронз - copper-tin alloys (tin bronzes); свинцовых и высокосвинцовых оловянных бронз - copper-tin-lead alloys (leaded and high leaded tin bronzes); никелевых оловянных бронз - copper-tin-nickel alloys (nickel-tin bronzes); и алюминиевых бронз - copper- aluminum alloys (aluminum bronzes).
- Медноникелевые сплавы («медные никели») - Copper Nickels(C96000 - C96999).
- Нейзильберы («Никелевое серебро») - Nickel Silvers(C97000 - C97999).
- Свинцовая медь - Leaded Coppers(C98000 - C98999); содержит свыше 20% свинца.
- Специальные медные сплавы - Special Alloys(C99000 - C99999); их химический состав не позволил включить их ни в одну предыдущую группу.

Таким образом, в рамках ASTM номера стандартов, начиная с C10000 и заканчивая C79999, выделены под деформируемые медные сплавы. Стандарты с номерами от C80000 до C99999 описывают литейные медные сплавы.

Изложенная система не лишена недостатков. Одни и те же составы сплавов могут попадать в разные группы материалов. Литейные сплавы могут обладать достаточным уровнем пластичности и поэтому могут быть отнесены к деформируемым. И наоборот, деформируемые сплавы могут быть использованы для получения заготовок и полуфабрикатов литьем. Аналогичные классификации существуют в других стандартах.

Соответствие номеров стандарта ASTM видам меди и группам деформируемых медных сплавов представлено в табл.2.1.

Таблица 2.1

Соответствие номеров стандарта ASTM для деформируемых сплавов (WROUGHT ALLOYS) видам меди и ее сплавов

Группа марок	Вид меди или сплава
C10100-C15500	Виды меди (Coppers): Cu
C16200-C19500	Сплавы с высоким содержанием меди, высокомедные сплавы (High-copper alloys): Cu + Cd, Be, Cr или Fe
C20500-C28200	Латуни (Brasses): Cu + Zn
C31400-C38600	Свинцовые латуни (Leaded brasses): Cu + Zn + Pb
C40500-C48500	Оловянные латуни (Tin brasses): Cu + Zn + Sn
C50100-C52400	Фосфористые бронзы (Phosphor bronzes): Cu + Sn + P
C53400-C54800	Свинцово-фосфористые бронзы (Leaded phosphor bronzes): Cu + Sn + Pb
C60600-C64200	Алюминиевые бронзы (Aluminum bronzes): Cu + Al
C64700-C66100	Кремнистые бронзы (Silicon bronzes Cu, Si
C66400-C69800	Специальные латуни (Special brasses): Cu + Zn + Mn, Si, Al и др.
C70100-C72500	Медноникелевые сплавы, «медные никели» или мельхиоры (Copper nickels): Cu + Ni
C73200-C79900	Медноникелевоцинковые сплавы, нейзильберы или «никелевое серебро» (Nickel silvers): Cu + Ni + Zn

Соответствие номеров стандарта ASTM видам меди и группам литейных медных сплавов представлено в табл.2.2.

Таблица 2.2

Соответствие номеров стандарта ASTM для литейных сплавов (CAST ALLOYS) видам меди и ее сплавов

Группа марок	Вид меди или сплава
1	2
C80100-C81100	Медь (Copper): Cu
C81300-C82800	Сплавы с высоким содержанием меди, высокомедные сплавы (High-copper alloys): Cu + Cr, Be, Co, Ni, Si
C83300-C83800	Красные латуни, свинцовые красные латуни (Red brasses, leaded red brasses): Cu + Zn, Sn, Pb

1	2
C84200-C84800	Полукрасные латуни, свинцовые полукрасные латуни (Semi-red brasses, leaded semi-red brasses): Cu + Zn, Sn, Pb
C85200-C85800	Желтые латуни, свинцовые желтые латуни (Yellow brasses, leaded yellow brasses): Cu + Zn, Sn, Pb
C86100-C86800	Марганцевые бронзы, свинцовые марганцевые бронзы (Manganese bronzes, leaded manganese bronzes): Cu + Pb + Mn, Al, Zn
C87200-C87900	Кремнистые бронзы и латуни (Silicon bronzes, brasses): Cu + Zn + Si
C90200-C91700	Оловянные бронзы (Tin bronzes): Cu + Sn
C92200-C92900	Свинцовооловянные бронзы (Leaded tin bronzes): Cu + Sn + Pb
C93200-C94500	Высокосвинцовые оловянные бронзы (High-leaded tin bronzes): Cu+Sn + Pb
C94700-C94900	Никелевооловянные бронзы (Nickel-tin bronzes): Cu + Sn + Ni
C95200-C95800	Алюминиевые бронзы (Aluminium bronzes): Cu + Al, Fe, Ni
C96200-C96600	Медь (Copper)

Некоторые термины, относящиеся к описанию марок медных сплавов, отражают цветность материала: термин «красные латуни» относится к описанию латуней, имеющих красноватый оттенок, что характерно для собственно меди. В этих латунях мало цинка, поэтому их цвет мало отличается от цвета меди. Желтые латуни содержат много цинка и, возможно, других компонентов. Цинк меняет цвет сплава на желтый.

Можно отметить, что такое описание сплавов по цветности относится в большей мере к литейным сортам латуней.

Добавки никеля в медь или ее сплавы приводят к вытеснению желтого цвета белым. Цвет нейзильберов похож на цвет серебра. Именно поэтому эта группа сплавов получила название в переводе с немецкого «новое серебро», а в переводе с английского «никелевое серебро».

## Вопросы для самоконтроля

1. Какие основные системы стандартов существуют в области обозначений марок меди и ее сплавов?
2. Каковы обозначения сплавов меди в стандарте ГОСТ?
3. Каковы обозначения сплавов меди в стандарте ASTM?
4. Каковы обозначения сплавов меди в стандарте ISO?
5. В чем отличия понятия «медь» в стандартах ГОСТ, ISO, ASTM?
6. Какова роль фосфора в составе медных сплавов и меди?
7. Какова роль кислорода в составе медных сплавов и меди?
8. Как группируются медные сплавы в стандарте ГОСТ?
9. Как группируются медные сплавы в стандарте ASTM?
10. В чем различия между сплавами с высоким содержанием меди и собственно медью в стандартах ГОСТ и ASTM?
11. Какие сплавы называются латунями?
12. Какие сплавы называют бронзами?
13. Какие сплавы отнесены к разряду желтых латуней?
14. Что такое специальные латуни?
15. Что такое нейзильберы?
16. Что такое мельхиоры?
17. Какова роль водорода в формировании лучших электротехнических свойств меди?
18. Почему медь, полученная в атмосфере, содержащей водород, обладает худшими пластическими свойствами?
19. Какие металлы изменяют цвет меди и ее сплавов?
20. Что такое красные латуни?
21. Какие марки материалов на основе меди отнесены к разряду деформируемых сплавов и почему?
22. Какие марки материалов на основе меди отнесены к разряду литейных сплавов и почему?
23. Каково влияние способа получения меди на ее потребительские и технологические свойства?
24. Какими способами добываются повышения чистоты меди и какие свойства при этом изменяются?

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ПРИНЯТЫЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ МЕДНЫХ СПЛАВОВ (НА ОСНОВЕ СТАНДАРТА ASTM B846)

Нижеприведенные термины (своеобразный толковый словарь) определяют терминологию применительно к процессам обработки медных сплавов, методов испытаний, входящих в юрисдикцию комитета В-5 ASTM по меди и медным сплавам.

Для удобства применения термины приведены на английском и русском языках(перевод автора).

Anneal (annealing) – отжиг, термическая обработка, предназначенная для изменения свойств и структуры продукта.

Base metal –заготовка под производство сварной трубы, штрипс, лист или полоса, из которой формуется труба.

Billet – круглая заготовка, используемая для прошивки(piercing) или прессования (extruding) труб или прутков. Диаметр поперечного сечения этой заготовки обычно от 76 до 406 мм и масса от 63 до 28200 кг.

Blank – мерная плоская заготовка, предназначенная для последующих операций холодной штамповки (forming), гибки (bending), вытяжки (cupping), волочения (drawing), горячей штамповки (hot pressing) и других.

Bus bar (или busbar) – шина, т.е. полоса, имеющая прямоугольное или квадратное поперечное сечение или полоса с двумя плоскопараллельными поверхностями со скругленными кромками.

Bus conductor stock – сортовая заготовка (bar), круглый пруток (rod) или профильная заготовка из высокопроводной меди, используемая для изготовления контактного провода.

Сake – сляб, заготовка, предназначенная для прокатки в толстый лист(plate), тонкий лист(sheet), штрипс(strip). Имеет прямоугольное поперечное сечение и массу от 63 до 28200 кг.

Casting – слиток, общий термин для обозначения заготовки, полученной литьем (pouring) расплавленного металла в изложницу(mold) и закристаллизованного в ней.

Casting, continuous – непрерывное литье, достигаемое разливкой расплавленного металла через водоохлаждаемый кристаллизатор(water-cooled mold) для получения длинной заготовки определенного поперечного сечения. При этом длина отливки не ограничена длиной кристаллизатора.

Casting, sand – литье в песчаную форму.

Casting, permanent mold – литье в металлические изложницы.



Cathode – катод, пластина из непереплавленного металла, полученная электролитическим осаждением металла, обычно предназначенная для переплава. Как правило, имеет форму квадрата со стороной 0,9 м и толщиной от 12,7 до 22,2 мм, массой до 136 кг. Катоды могут быть нарезаны на меньшие размеры.

Chemically refined copper – химически рафинированная медь – медь, восстановленная из водного раствора электролитическим способом. Обычно термин используется для химически рафинированной дразненной меди (tough pitch – продукт огневого рафинирования) и применяется для обозначения литых медных заготовок, предназначенных для горячей и холодной обработки, а также слитков, предназначенных для переплава.

Cold work – холодная обработка – операции по изменению поперечного сечения продукта и производства упрочненного деформацией (strain-hardened) продукта при температурах ниже температуры рекристаллизации.

Dents – риски – углубления в медной фольге (foil), которые незначительно уменьшают толщину продукта.

Deoxidized copper, low residual phosphorus – бескислородная медь с низким содержанием остаточного фосфора – медь, раскисленная фосфором до остаточного содержания фосфора 0,004...0,012%. Эта медь не чувствительна к водородной болезни (hydrogen embrittlement). В отожженном состоянии имеет минимальную электропроводность, равную 90%.

Dish (cross and transverse bow) – коробоватость, отклонение планшетности по ширине полосы в форме одиночной арки без учета заусенца.

Disk – круглая плоская заготовка, изготовленная из предварительно прокатанного листа.

Double layer flat – спираль, в которую свернут прокат или пруток, причем один слой располагается поверх другого (иногда употребляются термины “double layer pancake coil” или “double layer spirally wound coil”).

Drawn stress relieved (DSR) – низкотемпературный отжиг, термическая обработка холодотянутого продукта для улучшения пластичности без значительного влияния на прочность или микроструктуру.

Electrolytic copper – электролитическая медь, рафинированная электролитической обработкой электролизом раствора (electrowinning). Обычно этот термин относят к описанию химически рафинированной дразненной меди (tough pitch – продукт огневого рафинирования), в том числе для описания следующих вариантов полуфабриката: медных катодов, являющихся продуктом электролиза; слитков и полуфабрикатов,

изготовленных из них методами горячей и холодной обработки; слитков(чушек) для последующего переплава.

Embrittlement – охрупчивание, “водородная болезнь”, снижение пластичности металла, связанное с физическими и химическими факторами. В промышленности медных сплавов означает снижение пластичности вследствие реакции оксидов меди при повышенной температуре в восстановительной среде.

Ends – обрезь, отрезки прутков, полос и проволоки меньше номинальной длины, оставшиеся после резки полуфабриката на мерные длины.

Extrusion – прессование, выдавливание заготовки, имеющей большую длину по отношению к поперечным размерам, постоянного поперечного сечения через отверстие матрицы(die, orifice).

Fire-refined copper – медь, рафинированная печной(огневой) обработкой без обработки электролизом. Обычно этот термин относят к описанию рафинированной дразненной меди (tough pitch – продукт огневого рафинирования), в том числе для описания следующих вариантов полуфабриката: слитков и полуфабрикатов, изготовленных из них методами горячей и холодной обработки; слитков(чушек) для последующего переплава.

Flash – грат, наплыв металла вблизи сварного шва; в производстве труб различают два вида грата: внутренний(internal) и внешний(external).

Flat product – плоский полуфабрикат, прямоугольная в поперечном сечении полоса, имеющая большую длину по отношению к толщине; в зависимости от соотношения ширины и толщины различают толстые листы(plates), тонкие листы(sheets), штрипсы(узкие ленты - strips) и сортовые заготовки(bars). В это же понятие включают продукт, известный как плоская проволока - «плющенко» (flat wire).

Foil – фольга, тонкие лента, лист или штрипс, имеющие толщину менее 0,13 мм.

Herringbone – “селедочная кость”, “елочка”, т.е. серия волн, расположенных на плоском прокате под углом к направлению прокатки.

High-conductivity copper – высокопроводная медь, которая в отожженном состоянии имеет минимум электропроводности, равный 100% электропроводности меди по шкале IACS.

Hot working – горячая обработка, механические операции для изменения формы продукта при температурах выше температуры рекристаллизации.

Ingot and ingot bar – чушка, слиток, предназначенный для переплава (не для обработки давлением); “ingot” – чушка, имеет массу от 9 до 16 кг, а “ingot bar” – чушковая заготовка, имеет массу от 23 до 32 кг.

Lengths – “мерные длины”, выправленные полуфабрикаты.

Lengths, standard – отрезки полуфабриката одинаковой длины, установленной стандартом.

Longitudinal corrugation – продольная волнистость, при которой волна, по крайней мере, один раз пересекает ширину полосы.

Nodules – налипы, наколы, небольшие нерегулярные дефекты на фольге из электролитической меди, не выводящие полуфабрикат за пределы точности.

Order strengthening – термическая обработка холоднодеформированного продукта при температуре ниже температуры рекристаллизации, имеющая целью повысить предел текучести (yield strength).

Oxygen-free copper, extra-low phosphorus – бескислородная медь с очень низким содержанием фосфора в пределах 0,001...0,005 %. Эта медь не подвержена водородной болезни, минимальная электропроводность в отожженном состоянии 98,16% IACS.

Oxygen-free copper, low phosphorus – бескислородная малофосфористая медь, содержащая 0,005...0,12 % фосфора. Медь не чувствительна (not susceptible) к водородной болезни, минимальная электропроводность в отожженном состоянии 90% IACS.

Oxygen-free electronic copper – высокочистая высокопроводная бескислородная медь, предназначенная для применения в электронике. Имеет высокое сопротивление по отношению к водородной болезни, минимальная электропроводность в отожженном состоянии 101% IACS.

Pinholes – «дырчатость», сквозные отверстия в фольге.

Pipe nipple – короткомерные трубы, имеющие законцовки на обоих торцах.

Pipe, seamless – бесшовная труба (tube).

Pipe, threadless – бесшовная труба марочных размеров, коммерческое обозначение TP (threadless pipe).

Pits – несквозные отверстия в фольге, имеющие зазубренные кромки (jagged ends).

Plate – толстый лист, деформированный плоский полуфабрикат. толщиной свыше 5 мм и шириной свыше 300 мм.

Portion size – количество образцов для проведения испытаний.

Precipitation heat treatment – старение (precipitation - выделение в осадок) - термическая обработка предварительно закаленного продукта для достижения повышенных значений твердости, прочности и увеличения электропроводности. Синонимы: age hardened treatment, precipitation hardened treatment.

Quench hardening – упрочнение закалкой, обработка медных сплавов, состоящая в нагреве полуфабриката выше температуры бета-превращения

с последующей фиксацией мартенситной структуры резким охлаждением, закалкой (quenching).

Reel or spool – катушка, цилиндр, имеющий две щеки с торцев и аксиальное отверстие под ось или шпиндель, предназначенный для намотки (winding), последующей обработки(handling) и отгрузки(shipping).

Residual stress – остаточные напряжения, которые остаются в заготовке в результате выполнения операций деформации или литья.

Rod, for staybolts – круглый прут, поставляемый в мерных длинах в выпрямленном состоянии.

Rod, piston finish – круглый прут, имеющий специальную поверхность, полученную обточкой (turning) или шлифованием (grinding) для удовлетворения заданной точности и прямизны.

Rod, shafting – круглый прут, заданной точности и прямизны, специально изготавливаемый для получения валов и осей.

Roll – рулон, заготовка(length) полуфабриката длиной от 7,62 м (25ft – футов) до 15,24 м (50 футов) включительно, спирально намотанная с соприкосновением витков.

Sample – проба, т.е. материал, предназначенный для химического анализа (стружка, крошка) или подготовленный образец (specimen) для проведения механических испытаний.

Scarfiging - удаление грата или заусенца с помощью операции резания.

Sheet – лист, прокатанный плоский продукт толщиной до 5 мм и шириной свыше 600 мм, в выпрямленном состоянии или свернутый в рулоны (coils, rolls).

Single layer flat – плоская спираль, рулон, в который свернут полуфабрикат в виде одинарного дископодобного слоя(синонимы: pancake coil, single layer spirally wound coil)

Solderability – паяемость - способность металла смачиваться припоем.

Solution heat treatment – - нагрев под закалку, термическая обработка полуфабриката, предназначенная для перевода элементов лигатуры в твердый раствор при нагреве внутри температурного интервала растворимости с последующим охлаждением и переводом в состояние пересыщенного твердого раствора.

Spinodal heat treatment – старение - термическая обработка полуфабриката, переведенного в состояние пересыщенного твердого раствора, предназначена для изменения свойств, повышения твердости (hardening), прочности (strengthening) и электропроводности за счет распада(decomposition) твердого раствора. Синонимы для описания такого состояния материала: age hardened, spinodal hardened, spinodally decomposed.

Standard – одинаковые заготовки, рекомендованные в соответствующих технических условиях (practice recommendation) или устанавливаемые коммерческим стандартом (commercial standard).

Stock with ends – заготовка, включающая будущую обрезь.

Strain hardening – упрочнение - повышение прочности и твердости и уменьшение пластичности вследствие деформации при холодной обработке.

Stress corrosion crack – коррозионное растрескивание, спонтанное разрушение металла растрескиванием при совместном действии коррозии и напряжения, остаточного или приложенного.

Stress relief – снятие напряжений, обработка полуфабриката для уменьшения остаточных напряжений.

Strip – штрипс, прокатанный плоский полуфабрикат, отличающийся от плоской проволоки (плющенко – flat wire), толщиной до 5 мм, изготовленный в виде прямолинейной заготовки, рулонами или навитый на шпули и катушки, имеющий обрезные кромки после продольной резки (slit or shear edges) шириной до 600 мм включительно или тянутые или катаные кромки шириной от 30 до 300 мм включительно.

Temper – состояние, металлографическая структура и свойства полуфабриката, достигнутые в результате термической или механической обработки.

Temper annealing – отжиг для достижения необходимого состояния, термическая обработка выше эвтектоидной температуры для сплавов меди с алюминием для минимизации содержания стабильной эвтектоидной структуры.

Tempering – отжиг, термическая обработка закаленного продукта для повышения пластичности.

Thermal treatment – контролируемый нагрев, в котором регламентировано время цикла нагрева до максимальной температуры и охлаждения, диктуется требованиями по достижению заданных свойств и структуры металла.

Threadless pipe (TP) – торговое название бесшовной трубы, оформленной до соответствующих размеров.

Tough pitch copper (иногда tough-pitch copper) – красная медь (tough: дразненная – продукт огневого рафинирования) первичного литья в виде чистовых форм, содержащая контролируемое количество кислорода в форме оксида меди. В расширенном понятии термин также применяется к полуфабрикатам, полученным из этого материала.

Treatment – процесс, который применяется для обработки либо одной либо обеих сторон фольги для увеличения (enhance) ее адгезии к основному материалу, который не должен обеднять (degrade) фольгу или основной материал по содержанию компонентов.

Tube, air conditioning – бесшовная медная труба с размерами, регламентированными стандартом, удовлетворяющая требованиям по чистоте полости, в выпрямленном состоянии с заглушенными или изолированными торцами.

Tube, automotive and general service – труба общего назначения; бесшовная, цельнотянутая медная труба небольшого диаметра с размерами, регламентированными стандартом и коммерчески известная как automotive и general service tube.

Tube, capillary – труба небольшого внутреннего диаметра с внутренней поверхностью повышенного качества и в жестком поле допуска. Является предметом специальных испытаний по прецизионности изготовления.

Tube, condenser - см. tube, heat exchanger.

Tube, copper service - труба для подземного водопровода.

Tube, copper water - бесшовная труба стандартных размеров для водопровода различных типов K, L, M.

Tube, ferrule – труба, из которой изготовлены кольца для установки конденсора.

Tube, heat exchanger – труба, изготовленная по специальным требованиям по точности, качеству обработки для использования при кондиционировании и в теплообменных аппаратах.

Tube, heat exchanger with integral enhanced surface – труба, внутренняя и внешняя поверхность которой или обе эти поверхности модифицированы формовочными операциями для получения улучшенных свойств теплообмена. Это может касаться нанесения рельефа поверхности в виде прямолинейных и/или геликоидальных рисок или катионной обработки поверхности.

Tube, heat exchanger with integral fins – труба, имеющая ребра (ribs) на внутренней и внешней поверхностях параллельно продольной оси или поперечно этой оси для увеличения эффективной поверхности при теплопередаче (heat transfer). Ребра могут быть изготовлены механической обработкой, волочением.

Tube, refrigeration service – бесшовная труба, изготовленная с учетом стандартной серии размеров и повышенными требованиями по чистоте и по осушению (dehydration) внутренней поверхности, свернутая в бухты с заглушенными торцами.

Tube, seamless – бесшовная труба, имеющая непрерывную стенку по окружности периферии на всех стадиях процесса производства.

Tube, seamless water – бесшовная труба стандартных размеров для водопровода различных типов K, L, M в дюймовой системе измерений и A, B, C – в системе измерений СИ.

Tube, waveguide – труба для волноводов, используемая в проводных системах электронного оборудования.

Tube, welded – сварная труба, изготовленная формованием штрипса и сваркой кромок (edges).

Tube, welded water – сварная труба для водопроводов; труба, соответствующих размеров, удовлетворяющих требованиям стандарта и обозначаемая типами WK, WL, WM в дюймовой системе измерений и типами WA, WB, WC в системе измерений СИ.

Wavy edges (waves-edge wave) – волнистость по кромкам (последовательно расположенные волны вдоль кромок штрипса с относительно ровной центральной частью).

Welded pipe – сварная трубная заготовка, т.е. трубный полуфабрикат, изготовленный из тонкого листа(sheet), штрипса или толстого листа(plate) методом сварки; отличается наличием шва.

Welded tube – сварная трубная заготовка, полуфабрикат, изготовленный из тонкого листа(sheet), штрипса или толстого листа(plate) методом сварки, отличается наличием шва.

Welded reinforcement – грат - часть сварного стыка(joint), который выступает над внутренней и внешней поверхностью основного металла сварной трубы.

Wetting – смачивание, образование относительно однородной сплошной пленки припоя на основном металле.

Wire bar – вайербарс - заготовка, используемая для прокатки в прутки или плоский полуфабрикат для последующей переработки в проволоку, штрипс, профиль. Имеет обычно примерно квадратное сечение с размерами стороны квадрата от 89 до 127мм, длину около 1,56 м и массу в пределах от 91 до 191 кг. Обычно имеет сужения с торцов.

Приведенная выше терминология стандартизована нормативным документом ASTM, поэтому она обязательно должна использоваться при поставке продукции в соответствии с этим типом стандарта. Но ее использование не обязательно в других случаях. Тогда ценность приведенных выше сведений заключается в использовании их в качестве словаря в обсуждаемой узкой предметной области: производстве полуфабрикатов из медных сплавов.

## Вопросы для самоконтроля

1. Что такое сляб?
2. Что такое катод в промышленности медных сплавов?
3. Что такое билет?
4. Что такое вайербарс?
5. В чем разница между отжигом и закалкой?
6. Что такое медная шина?
7. Что такое электролитическая медь и каковы методы ее получения?
8. Что такое обрезь?
9. Что такое грат, при какой операции он возникает?
10. В чем разница между чушкой и слитком полунепрерывного литья?
11. Что такое «елочка»?
12. Что такое высокопроводная медь?
13. Какая толщина характеризует фольгу?
14. В чем разница между горячей и холодной обработкой металла?
15. Что такое бескислородная медь?
16. Что такое «дырчатость»?
17. В чем разница между толстым и тонким листом?
18. Какая медь обладает электропроводностью 101%?
19. Что такое рулон?
20. Что такое бухта и каковы типы бухт, каковы способы формирования бухт?
21. Что такое остаточные напряжения?
22. Что такое старение?
23. Что такое штрипс?
24. Что такое «плющенко»?
25. Что такое капиллярная труба, какое соотношение размеров ее характеризует?
26. В чем разница между сварными и бесшовными трубами, каковы особенности их производства?
27. Для чего изготавливают оребренные трубы?



## 4. МЕДЬ

### 4.1. Сферы потребления

Как видно из структуры потребления меди в мировой экономике (рис.4.1), наибольшим спросом пользуется электротехническая медь. На ее производство расходуется более половины всего количества добываемого и перерабатываемого медного сырья.

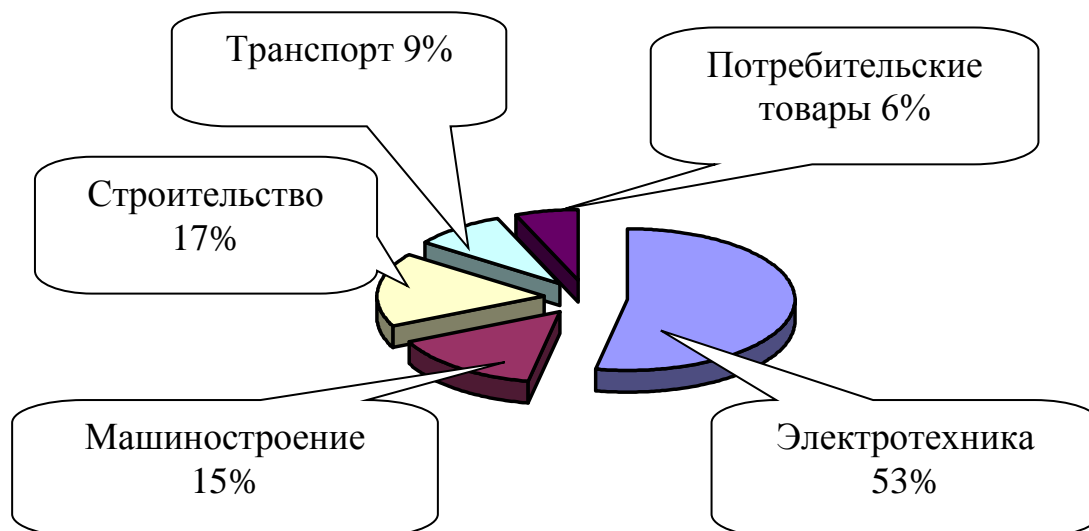


Рис.4.1. Структура потребления меди в мировой экономике

На втором и третьем местах стоят строительство и общее машиностроение, где медь применяется, в основном, в виде сплавов конструкционного назначения, упрочненных легирующими добавками и пластической деформацией. Например, за рубежом получили широкое распространение инженерные системы оборудования жилых, офисных и торговых помещений установками кондиционирования и водоснабжения на основе труб из меди и медных сплавов. На железнодорожном и муниципальном транспорте медь часто применяется в виде линий контактной подвески для электропоездов, троллейбусов и трамваев. И, наконец, в быту сплавы меди применяются в виде разнообразных украшений интерьера: бронзовые ручки дверей, светильники, подсвечники и др. Значительное количество меди в сплавах используется при изготовлении разменной монеты. В судостроении медные листы применяются для обшивки корпуса кораблей взамен стальных листов, что позволяет существенно повысить коррозионную стойкость корпуса судна. Более подробно конкретное назначение медных сплавов будет рассмотрено в соответствующих разделах пособия.

Многие элементы улучшают отдельные свойства меди. Практически любые легирующие элементы повышают прочностные свойства меди, но выделяют группу элементов(цинк, олово, алюминий, фосфор и др.), которые это повышение делают особенно значимым (рис.4.2).

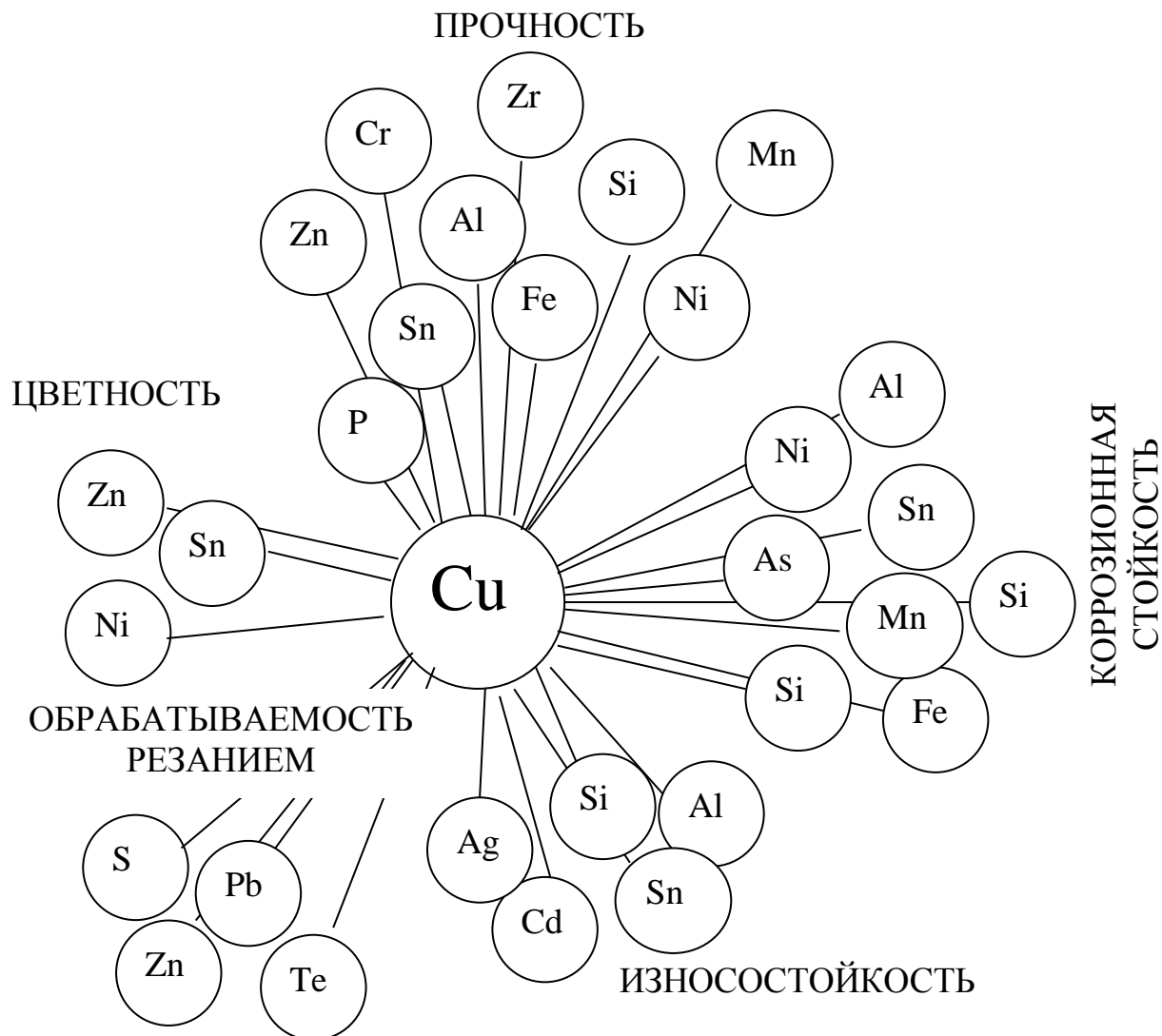


Рис.4.2. Схема влияния лигатуры на свойства меди и медных сплавов

Обычно выделяют также группы элементов, которые в значительной степени повышают свойства обрабатываемости резанием, износостойкости, коррозионной стойкости и цветности (см. рис.4.2).

## 4.2. Химический состав

Техническая медь (табл.4.1, 4.2) обладает высокими значениями теплопроводности, электропроводности, коррозионной стойкости, что обусловило ее широкое применение в промышленности. Чистота меди, применяемой для технических целей, имеет большое значение. Примеси (даже в небольших количествах) резко снижают электрические свойства меди, делая порой невозможной ее обработку, ухудшая технологические и потребительские свойства. Именно поэтому содержание примесей жестко регламентируется стандартами, как отечественными, так и зарубежными.

Влияние кислорода в меди существенно, так как он мало растворим в меди в твердом состоянии. При кристаллизации кислород выделяется в виде эвтектики медь-закись меди, располагающейся по границам кристаллитов, при этом ощутимо ухудшаются технологические и коррозионные свойства металла. Рекристаллизация технической чистой деформированной меди происходит при 180-230°C, для бескислородной меди при величине зерна менее 8 мкм рекристаллизация протекает при комнатной температуре.

Таблица 4.1

Химический состав меди различных марок по стандарту ГОСТ 859-78

Мар-ка	Cu	Примесь, не более											
		Bi	Sb	As	Fe	Ni	Pb	Sn	S	O	Zn	P	Ag
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
МООк	-	0,0003	0,0004	0,0005	0,001	0,002	0,0005	-	0,0015	0,01	-	0,0015	0,002
Мок	99,97	0,0005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,015	0,001	0,001	0,002
М1к	99,95	0,001	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002	0,004	0,02	0,003	0,002	0,003
МООб	99,99	0,0005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0001	0,0003	0,002

Окончание табл.4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
М3р	99,50	0,003	0,05	0,05	0,05	0,2	0,03	0,05	0,01	0,01	-	0,005- 0,06	-
М3	99,50	0,003	0,05	0,01	0,05	0,2	0,05	0,05	0,01	0,08	-	-	-
М2	99,70	0,002	0,005	0,01	0,05	0,2	0,01	0,05	0,01	0,07	-	-	-
М2р	99,70	0,002	0,005	0,01	0,05	0,2	0,01	0,05	0,01	0,01	-	0,005- 0,06	-
М1ф	99,90	0,001	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,005	-	0,005	0,012- 0,04	-
М1р	99,90	0,001	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,005	0,01	0,005	0,002- 0,012	-
М1	99,90	0,001	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,004	0,05	0,004	-	0,003
МО	99,93	0,0005	0,002	0,001	0,004	0,002	0,003	0,001	0,003	0,04	0,003	-	0,002
МОО	99,96	0,0005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,03	0,001	0,0005	0,002
Мо6	99,97	0,001	0,002	0,002	0,004	0,002	0,003	0,002	0,003	0,001	0,003	0,002	-

Водород особо разрушительное действие оказывает на медь, содержащую кислород. После отжига в водороде она делается хрупкой и растрескивается.

Сущность этого явления заключается в проникновении водорода в медь при повышенных температурах. Кислород закиси меди реагирует с проникшим водородом с образованием паров воды, которые, находясь под большим давлением, разрушают металл. Такое явление получило название «водородной болезни». Фосфор ограниченно растворим в меди в твердом состоянии, он сильно понижает электропроводность и теплопроводность меди, но положительно влияет на ее механические свойства, повышает жидкотекучесть, поэтому многие марки меди предполагают наличие остаточного фосфора, который часто выступает в роли раскислителя при литье и сплавообразовании.

Описание влияния других элементов на технологические свойства меди можно найти в специальной литературе.

Таблица 4.2

Химический состав различных марок меди по стандарту ASTM

Марка	Обозначение	Описание	Cu (вкл. Ag) % min	Ag % min	P	Другие элементы
C10100	OFE	Oxygen-Free Electronic	99,99	—	0,0003	0,0004Sb; 0,0005 As; 0,0002 Te
C10200	OF	Oxygen-Free	99,95	—	—	0,0010 O <sub>2</sub>
C10300	OFXLP	—	99,95	—	0,001– 0,005	—
C10400	OFS	Oxygen-Free with Ag	99,95	0,027	—	0,0010 O <sub>2</sub>
C10500	OFS	Oxygen-Free with Ag	99,95	0,034	—	0,0010 O <sub>2</sub> .
C10700	OFS	Oxygen-Free with Ag	99,95	0,085	—	0,0010 O <sub>2</sub>
C10800	OFLP	—	99,95	—	0,005– 0,012	—
C10910	—	—	99,95	—	—	0,005 O <sub>2</sub>
C10920	—	—	99,90	—	—	0,02 O <sub>2</sub>
C10930	—	—	99,90	0,044	—	0,02 O <sub>2</sub>
C10940	—	—	99,90	0,085	—	0,02 O <sub>2</sub>
C11000	ETP	Electrolytic Tough Pitch	99,90	—	—	
C11010	RHC	Remelted High Conductivity	99,90	—	—	

Окончание табл.4.2

C11020	FRHC	Fire-Refined High Conductivity	99,90	—	—	
C11030	C RTP	Chemically Refined Tough Pitch	99,90	—	—	
C11040	—	—	99,90	—	—	0,0004Sb; 0,0005 As; 0,0002 Te
C11100	—	Electrolytic Tough Pitch, Anneal Resistant	99,90	—	—	
C11300	STP	Tough Pitch with Ag	99,90	0,027	—	
C11400	STP	Tough Pitch with Ag	99,90	0,034	—	
C11500	STP	Tough Pitch with Ag	99,90	0,054	—	
C11600	STP	Tough Pitch with Ag	99,90	0,085	—	
C11700	—	—	99,9	—	0,04	0,004–0,02B
C12000	DLP	Phosphorus Deoxidized Low Residual Phosphorus	99,90	—	0,004–0,012	—

Ниже даны комментарии относительно наиболее распространенных марок меди по стандартам ISO и ASTM.

Медь, используемая для электротехнических целей, должна быть высокой чистоты, потому что примеси, изменяя микроструктуру, существенно изменяют также механические и электрические свойства. Степень воздействия примеси на электрическую проводимость зависит в значительной степени от содержания элемента. Влияние на проводимость различных элементов показано на рис.4.3. Например, присутствие только 0,04% фосфора уменьшает проводимость чистой меди до 80 % IACS (по сравнению со 100% IACS для меди без фосфора). Поэтому суммарное содержание примесей, включая кислород, должно быть менее чем 0,1 %, и медь этого типа известна как медь высокой проводимости (высокопроводящая медь: HC - high conductivity copper).

В соответствии с международными и зарубежными стандартами такая медь выпускается следующих марок.

Cu-ETP - Electrolytic tough pitch high conductivity copper, европейский стандарт CW004A (бывший стандарт Великобритании C101)

Cu-FRHC - Fire-refined tough pitch high conductivity copper, европейский стандарт CW005A (бывший стандарт Великобритании C102)

Cu-OF - Oxygen-free high conductivity copper CW008A (бывший стандарт Великобритании C103).

Медь марок Cu-ETP и Cu-FRHC производится путем огневого рафинирования или переплавом катодов, содержащих небольшое количество кислорода, с помощью которого удаляются примеси из металла в шлак. Кислород присутствует в меди в виде мельчайших диспергированных по объему частиц закиси меди, определяемых под микроскопом. Обычно кислород содержится в металле в диапазоне 0,02-0,05%. Внутри этого диапазона влияние кислорода на механические и электрические свойства меди мало. Однако его присутствие приводит к пористости и внутризеренному растрескиванию металла при нагреве в восстановительной атмосфере (водородная болезнь – «hydrogen embrittlement»).

Остаточный кислород в этой меди играет и положительную роль, образуя центры кристаллизации при рекристаллизации металла в процессах горячей обработки.

Таблица 4.3

Соответствие стандартов на медь

Описание	Обозначение (Designation)		
	стандарт ISO	европейский стандарт	стандарт Великобритании
Электролитическая высокопроводящая медь Electrolytic tough pitch high-conductivity copper	Cu-ETP	CW004A	C101
Высокопроводящая бескислородная медь огневого рафинирования Fire-refined tough pitch high-conductivity copper	Cu-FRHC	CW005A	C102
Высокопроводящая бескислородная медь Oxygen-free high-conductivity copper	Cu-OF	CW008A	C103

Медь Cu-ETP не склонна к образованию «горячих» трещин при горячей обработке, потому что уровни содержания свинца и висмута в этой марке сведены к минимуму, что задается высокой маркой применяемых катодов (Cu-Cath-1).

Медь марки Cu-OF (высокопроводящая бескислородная медь) используется при необходимости проведения дальнейших процессов (плавки, отжига, сварки) в восстановительной среде. Эта медь производится плавлением и литьем в защитной атмосфере. Для ее производства применяют наиболее чистое сырье. В результате получают медь чистотой не менее 99,95%, что позволяет достичь проводимости 100% IACS. За 100% IACS принята электропроводность при электрическом сопротивлении этой меди в отожженном состоянии  $0,017241 \mu\Omega\text{m}$ , установленная Международной электротехнической комиссией IEC (International Electrotechnical Commission). На рис.4.3 показано влияние различных примесей на электропроводность меди.

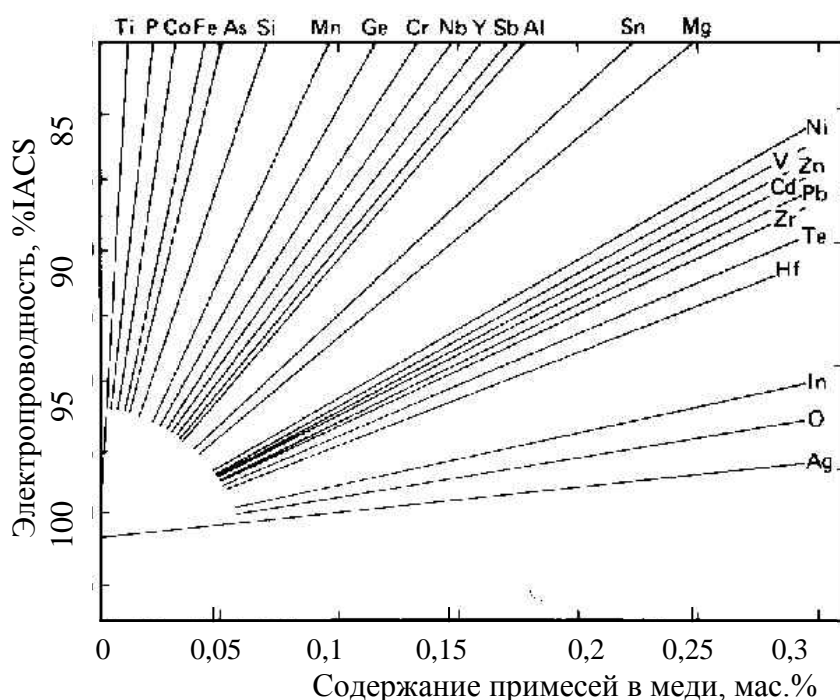


Рис.4.3. Влияние примесей на электропроводность меди

В тех сферах промышленности, где электропроводность не играет большой роли, применяют фосфористую медь. Этот тип меди используется для производства сплавов, получения труб и сосудов.

Следует еще раз отметить, что содержание кислорода в меди различных марок играет очень большую роль. Кислород в меди содержится в виде частиц закиси меди и легко реагирует с водородом печной атмосферы, что приводит к «водородной болезни». При визуальном осмотре признаки «водородной болезни» могут быть не установлены. Но их можно установить при испытании образцов на изгиб или кручение. При микроскопическом исследовании в меди после полировки видны темные включения пор и трещин. В меди, содержащей



кислород менее 0,005% и отожженной в атмосфере водорода при 800°C механические свойства меняются незначительно, поэтому в отечественных и зарубежных стандартах бескислородную медь относят к классу материалов, не боящихся воздействия водорода и не подверженных «водородной болезни».

Сравнивая требования отечественных и зарубежных стандартов к химическому составу меди различных марок, можно сделать следующие выводы. Отечественный стандарт по содержанию примесей предусматривает ограничения содержания каждой примеси. При этом список этих примесей обширен: висмут, сурьма, мышьяк, железо, никель, свинец, олово, сера, кислород, цинк, фосфор, серебро. Стандарт ASTM, в основном, предполагает ограничения на содержание кислорода, мышьяка, сурьмы, фосфора, теллура. По остальным примесям ограничения формируются в целом, по их сумме.

Поскольку медь выступает в роли проводника тока, то важно знать, насколько примеси влияют на главное потребительское свойство – электропроводность. Практически все примеси снижают электропроводность и теплопроводность меди. В порядке возрастания действия примеси серебра, кадмия, кальция, висмута, серы, теллура снижают электропроводность меди незначительно [9].

Примеси хрома, кислорода, цинка, магния, бериллия снижают электропроводность меди сильно, а примеси никеля, олова, сурьмы, марганца, алюминия, мышьяка, железа, кремния, фосфора и титана – очень сильно. В связи с этим при выплавке меди для электротехнических целей добиваются минимального количества примесей. Обязательным методом испытаний в этом случае является исследование электрического сопротивления металла.

При содержании железа выше предела растворимости медь приобретает магнитные свойства.

### **4.3. Физические свойства**

Медь в периодической таблице металлов имеет порядковый номер 29, плотность в твердом состоянии 8,9 г/см<sup>3</sup>, в состоянии расплава (при 1083°C) 8,3 г/см<sup>3</sup>. Тип структуры – ГЦК - решетка, параметр решетки  $a=0,36153$  нм, ближайшее межатомное расстояние 0,2556 нм, атомный радиус 0,128 нм. Температура плавления 1083°C, температура кипения 2600°C. Теплота плавления 0,213 МДж/кг, теплота испарения 5,4 МДж/кг. Удельная теплоемкость при 20°C 386 Дж/(кг\*град), в состоянии расплава 545 Дж/(кг\*град). По магнитным свойствам медь является диамагнетиком. Для поликристалла меди упругие свойства описываются следующим образом: модуль объемной упругости (коэффициент объемного сжатия)

$K=142$  ГПа; модуль нормальной упругости (модуль Юнга)  $E=125$  ГПа; модуль сдвига (модуль касательной упругости)  $G=46,4$  ГПа; коэффициент Пуассона  $0,34$ .

Коэффициент линейного расширения (КТР) меди существенно зависит от температуры (рис.4.4). Особенно ощутимо это влияние в диапазоне температур ниже комнатных, при повышении температуры КТР возрастает. Значения КТР приходится учитывать в случае работы изделий из меди при повышенных температурах, например в теплообменных аппаратах. Кроме того, этот фактор приходится учитывать при эксплуатации изделий из меди, работающих даже в относительно небольшом температурном диапазоне, но имеющем большую длину, когда даже небольшое изменение температуры вызывает за счет большой длины

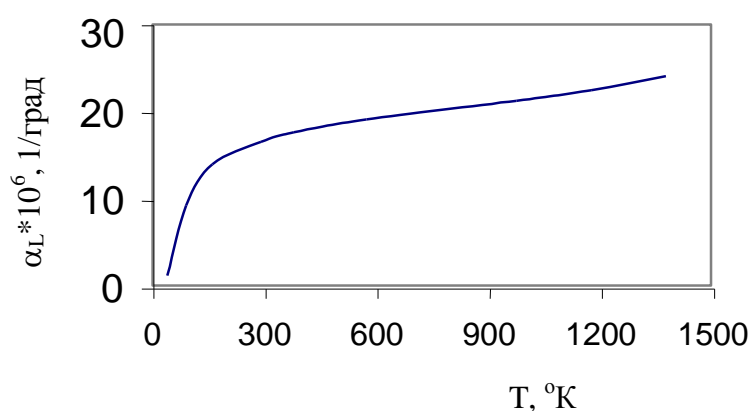


Рис.4.4. Зависимость коэффициента линейного термического расширения от температуры для меди[9]

проводника большое приращение этой длины. В качестве примера можно привести режимы эксплуатации электроконтактных сетей железнодорожного и муниципального транспорта.

В промышленности композиционных материалов медь часто является матрицей по отношению к другим металлам (например по отношению к волокнам сверхпроводящего сплава ниобий-титан), имеющим иной коэффициент термического расширения. При совместной термической обработке таких материалов возможно появление значительных термических напряжений из-за разницы в КТР.

Существенна также зависимость от температуры удельного электрического сопротивления (рис.4.5). Эта зависимость важна, поскольку медь часто выступает в качестве материала – проводника электрического тока. Как видно из графика, удельное электрическое сопротивление нелинейно возрастает с повышением температуры, причем темп возрастания при высоких температурах выше, чем при пониженных температурах.

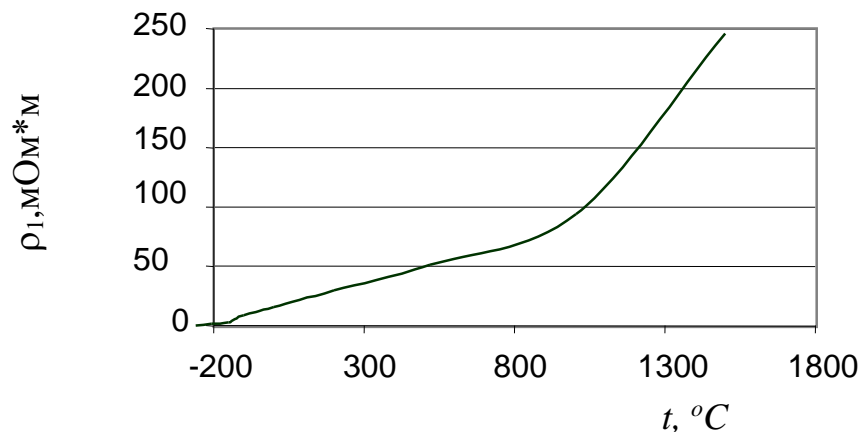


Рис.4.5. Удельное электрическое сопротивление меди технической чистоты в зависимости от температуры [9]

Вообще говоря, медь является одним из лучших материалов для изготовления проводников тока. В массовых масштабах по применению в этой области с ней конкурирует лишь алюминий, электропроводность которого в 1,58 раза меньше, чем у меди, поэтому для изготовления электрических сетей равной мощности требуется по объему в 1,58 раза больше алюминия, чем меди. По массе алюминия потребуется меньше, чем меди, однако алюминий обладает гораздо меньшими прочностью и пластичностью, что создает неудобства при монтаже и ремонте электропроводящих систем.

Прекрасные электропроводящие свойства меди привели к тому, что медь была выбрана эталоном для проверки электропроводности других металлов и сплавов. В шкале электропроводности металлов IACS за 100% принята электропроводность чистой меди при комнатной температуре, а остальные металлы аттестуются относительно этой величины. Так, электропроводность алюминия составляет 63% IACS, электропроводность железа только 17% IACS.

Медь является отличным проводником тепла, что позволяет применить ее в качестве конструкционного материала для изготовления теплообменников и радиаторов. Гистограмма рис.4.6 является иллюстрацией этого положения. По сравнению с медью теплопроводность алюминия примерно в два раза меньше, а теплопроводность железа и никеля – более чем в пять раз ниже. Теплопроводности меди и серебра сопоставимы.

Теплопроводность меди снижается с ростом температуры, что иллюстрирует рис.4.7. Высокие значения теплопроводности меди наблюдаются при температурах ниже  $-200^\circ\text{C}$ . При температуре  $19^\circ\text{K}$  теплопроводность меди составляет  $5200 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{град})$ , что в 13 раз ниже,

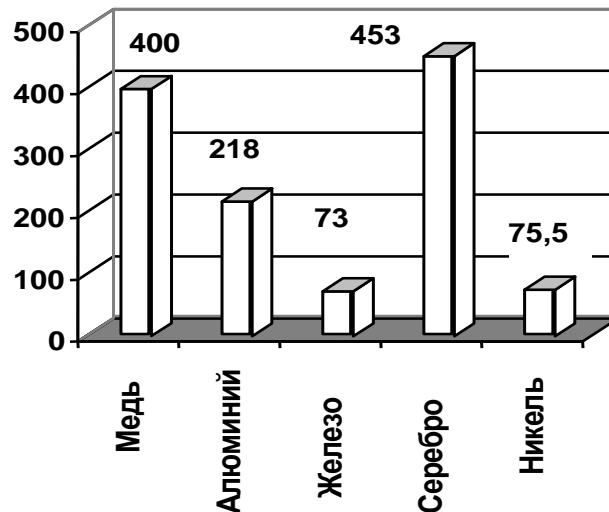


Рис.4.6. Гистограмма значений теплопроводности, Вт/(м\*град), некоторых металлов при комнатной температуре

чем этот же показатель при комнатной температуре. Значительно меньше градиент изменения теплопроводности при температурах выше комнатной.

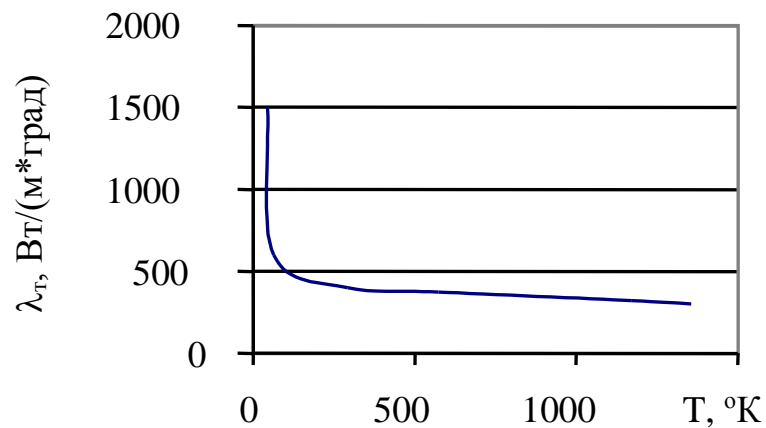


Рис.4.7. Зависимость теплопроводности меди от абсолютной температуры

При нагреве медных заготовок до температур горячей деформации теплопроводность может снизиться на 30%.

#### 4.4. Механические и технологические свойства

Технолога интересуют прежде всего технологические свойства, к которым можно отнести сопротивление деформации, показатели пластичности, характеристики окалинообразования и др. Часть из этих параметров можно отнести и к потребительским свойствам, т.е. к тем параметрам, которые анализируются конструкторами машин и устройств и которые записаны в нормативных документах по поставке продукции.

Механические свойства, характеризующие прочностные и пластические свойства меди, представлены ниже.

$$\text{Для меди марки М0} \quad \sigma_s = 230 + 8\varepsilon_{\%}^{0,72} \text{ МПа [2],}$$

$$\sigma_{0,2} = 75 + 56\varepsilon_{\%}^{0,41} \text{ МПа [2],}$$

$$HB = 55 + 11\varepsilon_{\%}^{0,44} [2].$$

$$\text{Для меди марки М1} \quad \sigma_s = 250 + 15\varepsilon_{\%}^{0,58}, \text{ МПа [2].}$$

$$\text{Для меди марки М4} \quad \sigma_{0,2} = 80 + 46\varepsilon_{\%}^{0,45},$$

$$\sigma_{0,2} = 80 + 297\varepsilon^{0,34}, \text{ МПа;}$$

здесь приведены данные [2], аппроксимация автора.

Обычно принято положение, в соответствии с которым в процессах холодной деформации сопротивление деформации не является функцией температуры.

Результаты многих испытаний позволяют утверждать, что сопротивление деформации технически чистой меди зависит от скорости деформации, что иллюстрируется данными, приведенными в табл.4.4.

Таблица 4.4

Уравнения регрессии для сопротивления деформации проволоки из меди М1 при комнатной температуре по данным [6]

Скорость деформации, 1/с	Уравнение регрессии, результат в МПа
0,005	$\sigma_s = 80 + 236\varepsilon^{0,274}$
3	$\sigma_s = 80 + 277\varepsilon^{0,304}$
15	$\sigma_s = 80 + 285\varepsilon^{0,226}$
50	$\sigma_s = 80 + 283\varepsilon^{0,118}$
Примечание. Аппроксимация автора, предел текучести в ненагартованном состоянии условно принят равным 80 МПа	

Зависимости, изображенные на графике рис.4.8, показывают, что разница в сопротивлении деформации может достигать 30% при изменении скорости деформации от 0,005 до 50 с<sup>-1</sup>.

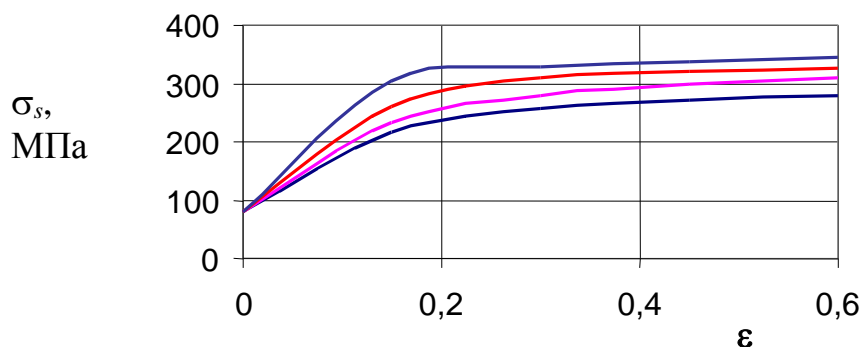


Рис.4.8. Кривые упрочнения для меди М1 при комнатной температуре и скоростях деформации, 1/с (снизу вверх): 0,005; 3; 15; 50

По данным немецких авторов[16] кривые упрочнения меди должны быть аппроксимированы функциями на отрезках, соответствующих диапазонам малых и больших деформаций. Обязательным также является учет скорости деформации (табл.4.5).

Таблица 4.5

Коэффициенты уравнений регрессии для определения сопротивления деформации меди  $\sigma_s = a + b\varepsilon^c$  в холодном состоянии [16]

Марка меди, обработка	$a$ , МПа	$b$ , МПа	$c$	Область определения $\varepsilon$	Скорость деформации, 1/с
Е-Cu99,9 после отжига	123,6	438,6	0,815	0-0,3	0,003
То же	123,6	260,9	0,391	0,3-1,0	0,003
Е-Cu99,9 после прессования	121,6	282,9	0,654	0-0,8	0,005
То же	121,6	244,6	0,214	0,8-1,4	0,005

Для меди в литом состоянии характерна анизотропия свойств, которая проявляется в разнице сопротивления деформации вдоль и поперек направления литья. Данные, приведенные на рис.4.9, показывают, что сопротивление деформации вдоль оси заготовки выше сопротивления деформации, измеренного поперек оси, при разнице в свойствах до 10%. Это объясняется дендритным строением металла с вытянутостью кристаллитов поперек оси в соответствии с направлением теплоотвода при

литье. Наличие текстуры вносит коррективы в порядок назначения режимов деформации и термической обработки, а также в методики оценки потребительских свойств.

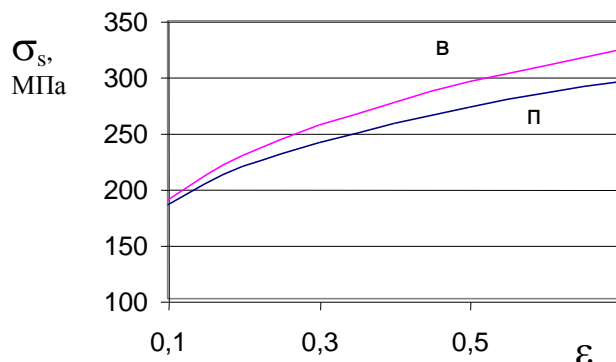


Рис.4.9. Зависимость сопротивления деформации для заготовки диаметром 8 мм из литой меди М1 при скорости деформации 0,1 1/с вдоль(в) и поперек(п) оси заготовки

В табл.4.6 приведены коэффициенты уравнения регрессии вида  $\sigma_s = a \cdot \epsilon^b$  для анизотропной меди:

Таблица 4.6

Коэффициенты уравнений регрессии как показатели текстуры

Вид испытания	$a$ , МПа	$b$
Поперек оси	322,09	0,2386
Вдоль оси	357,73	0,2762

Испытания меди марки М4 (рис.4.10) подтверждают тот факт, что примеси в металле вызывают дополнительный эффект упрочнения при холодной деформации. Если медь электротехнического назначения марок М1, М0 удастся нагартовать до предела текучести, равного 330 МПа, то более загрязненная примесями медь марки М4 нагартовывается до предела текучести 410 МПа.

При горячей деформации в интервале температур 450-1000°С сопротивление деформации меди М1 подчиняется зависимости [7]:

$$\sigma_s = 520 \cdot \epsilon^{0,4} \cdot \xi^{0,11} \cdot \exp(-0,0023 \cdot \theta).$$

По данным зарубежных источников, кривые упрочнения меди в горячем состоянии описываются формулами, приведенными в табл.4.7.

Для аппроксимации данных использован метод термомеханических коэффициентов. Именно поэтому вместо одной константы в уравнении регрессии в качестве сомножителей применены несколько постоянных величин.

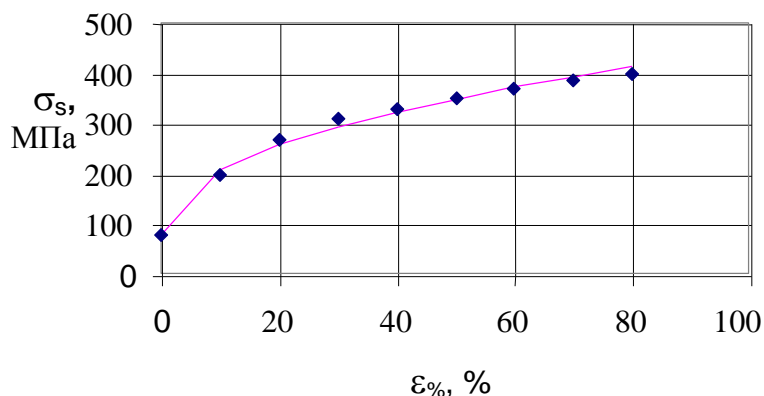


Рис.4.10. Зависимость сопротивления деформации от степени деформации для меди марки М4

Приведенные данные позволяют оценить вклад каждого термомеханического параметра в оценку упрочнения меди в горячем состоянии.

Таблица 4.7

Коэффициенты уравнений регрессии  $\sigma_s = A_1 A_2 A_3 e^{-m_1 t} \varepsilon^{m_2} \xi^{m_3} \sigma_{s0}$  для описания сопротивления деформации в горячем состоянии меди зарубежных марок [16]

Материал	$A_1$	$m_1$	$A_2$	$m_2$	$A_3$	$m_3$	$\sigma_{s0}$ , МПа
SE-Cu99,97	12,438	0,00317	1,631	0,213	0,813	0,090	72,3
SF-Cu	12,438	0,00317	1,631	0,213	0,813	0,090	68,3
SB-Cu (деф.сост.)	12,438	0,00317	1,631	0,213	0,813	0,090	111,0
SB-Cu (лит.сост.)	12,438	0,00317	1,631	0,213	0,813	0,090	98,0
E-Cu99,9	12,438	0,00317	1,631	0,213	0,813	0,090	63,5
Cu99	12,438	0,00317	1,631	0,213	0,813	0,090	68,2

При горячей прокатке слитки меди марок М1, М2 и М3 рекомендуется нагревать до температур 800-900°C (максимально допустимая температура 930°C, нижняя допустимая граница горячей прокатки листовой продукции составляет 650°C[9]).

При прессовании температурный интервал нагрева медных слитков очень широк: от 600 до 925°C[10]. Если окисляемость меди при 500°C принять за единицу, то при температуре 750°C окисляемость возрастает в 6 раз, при 900°C в 16 раз.

При прессовании крупных слитков диаметром до 300 мм с большими коэффициентами вытяжек для снижения напряжений прессования



выбирают более высокие температуры нагрева. При прессовании небольших слитков диаметром 78-150мм температура слитков может быть уменьшена до 600-700°C, за счет чего уменьшается окалинообразование и поверхность изделия улучшается.

В ряду нормальных напряжений медь стоит выше водорода, поэтому ее коррозия не может протекать с выделением водорода. Медь устойчива к атмосферной коррозии вследствие образования на ее поверхности защитной пленки, состоящей из основной серномедной соли, отвечающей по стехиометрии минералу брохантиту  $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ . Пресная вода вызывает незначительную коррозию меди. Именно это свойство меди позволило применять ее как материал для создания водопроводных систем за рубежом. Скорость коррозии заметно повышается в присутствии солей аммиака, сероводорода, хлоридов и кислот, препятствующих образованию защитных пленок на поверхности, поэтому вода, циркулирующая по медным водопроводам, должна быть максимально чистой.

Характер деформации меди, имеющей различную историю получения, различен. Медь высокой электропроводности и медь, раскисленная фосфором (при остаточном содержании фосфора 0,015-0,04%), при прессовании истекает ламинарно. Медь высокой электропроводности, бескислородная, вакуумная медь течет неравномерно, структура изделий слоистая. Объясняется это различными свойствами окисной пленки у разных марок меди. Пленка окислов меди, содержащей фосфор, обладает смазывающим действием, что приводит к снижению коэффициентов трения на контактных поверхностях и более равномерному течению металла [10].

Механические свойства меди во многом зависят от состояния металла. Для литого состояния электролитически чистой меди характерны гораздо более низкие показатели пластичности (рис.4.11), чем для

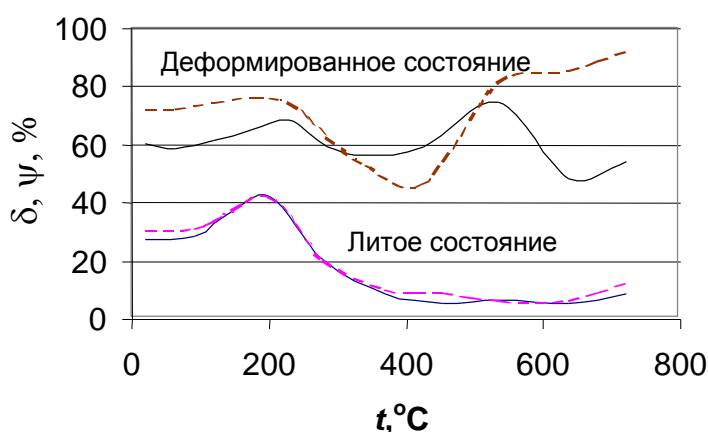


Рис.4.11. Зависимость пластических характеристик образцов из катодной меди от температуры: δ – сплошные линии, ψ – штриховые линии [6]

деформированного состояния. Это следует учитывать при построении режимов обжаривания. На приведенных кривых отражены состояния повышенной пластичности для литого состояния на интервале температур 100-300°C с понижением пластичности при нагреве. Для деформированного состояния характерно наличие интервала пониженной пластичности в интервале температур 300-500°C.

В настоящее время большое количество меди электротехнического назначения производится с добавкой металлолома, а не из катодов. Это существенно изменяет характеристики материала для обработки давлением. При раскислении меди фосфором процесс раскисления заканчивают при содержании остаточного фосфора в металле, что позволяет проконтролировать полноту проведения процесса. Характеристики такого материала приведены на графиках рис.4.12.

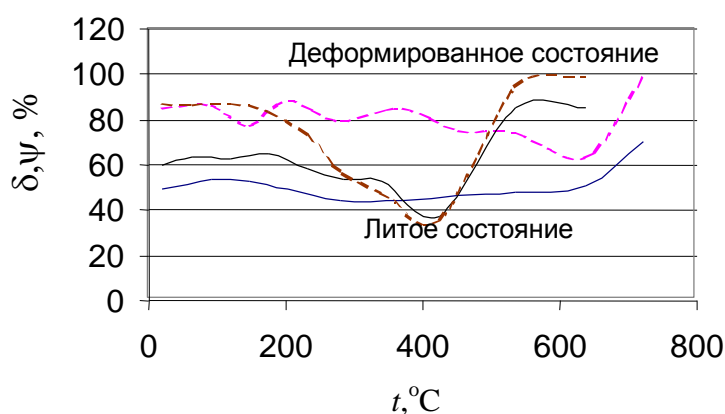


Рис.4.12. Зависимость пластических характеристик образцов из фосфористой меди от температуры:  $\delta$  – сплошные линии,  $\psi$  – штриховые линии [6]

Характеристики пластичности для деформированного состояния имеют пониженные значения при 400°C. В целом раскисленная фосфором медь проявляет лучшие пластические свойства, чем чистая электролитическая медь, что объясняется влиянием остаточного фосфора.

При отсутствии фосфора в меди, так же как и в отсутствие кислорода, свойства меди становятся вновь другими (рис.4.13).

Разница в пластических характеристиках литого и деформированного состояния здесь проявляется наиболее сильно. Деформированная бескислородная медь является очень пластичным металлом. Литая бескислородная медь – малопластичный металл, имеющий зону очень низкой пластичности в интервале температур от 300 до 700°C. Такой тип материала с трудом может быть пластически обработан в таких процессах, в которых уровень сжимающих напряжений невелик.

Проявление хрупкости меди при повышенных температурах объясняется содержанием в небольших количествах вредных примесей, особенно имеющих низкую температуру плавления: свинца, висмута и др. Свинец, как и висмут, очень мало растворим в меди в твердом состоянии, а потому находится в меди в виде включений. При повышении температуры свинец переходит в жидкое состояние, располагаясь по границам зерен и нарушая их связность. При измельчении структуры металла в результате пластической деформации прослойки свинца становятся очень тонкими и связность зерен металла повышается, поэтому горячедеформированная медь обладает более высоким уровнем пластичности, чем литая.

В последнее время в промышленности меди получили развитие процессы литья и последующей холодной обработки литых заготовок без промежуточных процессов горячей обработки металла. Приведенные графики показывают, насколько велико влияние способа получения заготовок для деформации на пластичность металла.

Селен и теллур, сопутствующие меди в залежах природных ископаемых, еще недавно считались вредными примесями в меди. Но в последних зарубежных стандартах эти металлы выступают иногда в виде легирующих компонентов. Соответствующие сплавы получили название теллуровой меди (бронзы) и селеновой меди (бронзы). Селен очень мало

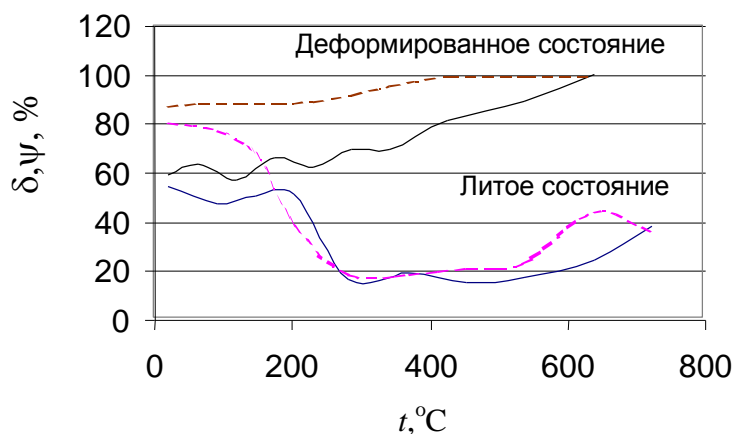


Рис.4.13. Зависимость пластических характеристик образцов из бескислородной меди от температуры:  $\delta$  – сплошные линии,  $\psi$  – штриховые линии [6]

растворим в меди в твердом состоянии, что приводит к понижению пластичности, поэтому селеновую медь используют как материал, способный легко обрабатываться резанием.

Теллур, подобно кадмию, на электропроводность меди влияет незначительно, поэтому теллуровая медь служит заменителем кадмиевой меди (бронзы) в проводниках электрического тока, обладающих повышенной прочностью. Существуют публикации, в которых

доказывается, что теллур обладает меньшей токсичностью, чем свинец или кадмий, при использовании их соответственно в водопроводных системах и проводниках тока.

#### Вопросы для самоконтроля

1. Каковы области применения меди?
2. Какие элементы применяют для легирования меди?
3. Какие элементы обеспечивают изменение цвета меди?
4. Какие элементы влияют на изменение коррозионной стойкости меди?
5. Какие примеси мало изменяют электропроводность меди?
6. Существует ли зависимость сопротивления деформации от скорости деформации в холодном состоянии?
7. Может ли медь подвергаться отжигу при комнатной температуре?
8. От каких параметров зависит сопротивление деформации меди в горячем состоянии?
9. Как зависит пластичность меди от способа ее производства?
10. Почему характеристики трения фосфористой меди ниже, чем меди высокой электропроводности?

## 5. ДЕФОРМИРУЕМЫЕ БРОНЗЫ

### 5.1. Характеристика сплавов

Бронзами называют сплавы меди, в которых цинк или никель не являются основными легирующими элементами. По химическому составу бронзы подразделяются на две группы: оловянные, в которых основным легирующим элементом является олово, и безоловянные, не содержащие олово. По технологическому признаку бронзы делятся на литейные и деформируемые (рис.5.1). Литейные бронзы предназначены для изготовления фасонных отливок, состав сплава здесь подбирается так, чтобы получить малую объемную усадку при кристаллизации и высокую жидкотекучесть - способность заполнять тонкие рельефы отливок.

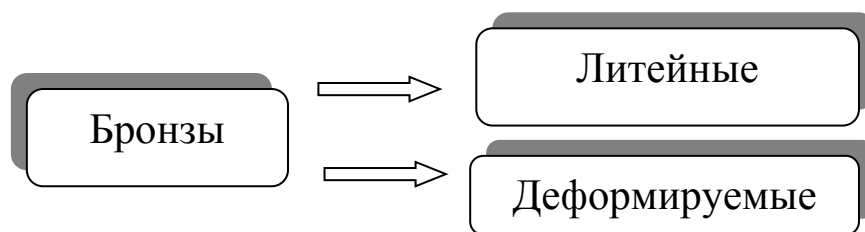


Рис.5.1. Классификация бронз по методу обработки

Деформируемые бронзы должны обладать хорошей пластичностью - способностью воспринимать пластические деформации без разрушения.

Бронзы по сравнению с латунями обладают лучшими механическими, антифрикционными свойствами и коррозионной стойкостью. В качестве лигатуры в бронзах используют олово, алюминий, никель, марганец, железо, кремний, свинец, фосфор, бериллий, хром, цирконий, магний и другие элементы. По химическому составу(рис.5.2) различают две группы бронз: оловянные и безоловянные (специальные).

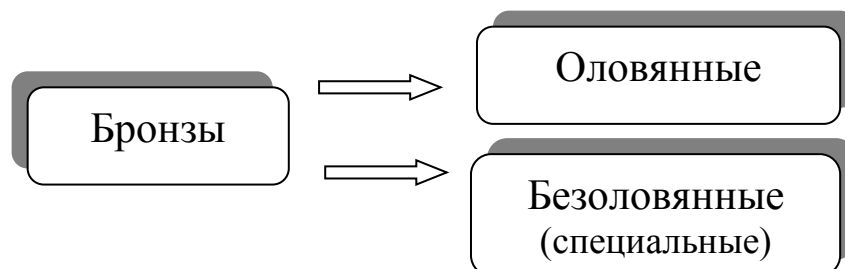


Рис.5.2. Классификация бронз по химическому составу

## 5.2. Оловянные бронзы

Среди оловянных бронз (табл.5.1) наибольшее практическое значение имеют сплавы, содержащие до 20% олова. Эта часть диаграммы состояния Cu-Sn представляет собой  $\alpha$ -твердый раствор олова в меди, имеющий ГЦК-решетку.

Таблица 5.1

Назначение и области применения оловянных бронз

Марка	Область применения
БрОФ 6,5-0,4	Пружины, детали машин, подшипники проволочные сетки в целлюлозно-бумажной и шиферной промышленности, обладающие свойствами износостойкости и коррозионной стойкости
БрОФ 6,5-0,15	Ленты, полосы, прутки, детали подшипников, биметаллы
БрОФ 7-0,2	Прутки, шестерни, зубчатые колеса, втулки, прокладки высоконагруженных машин
БрОФ 8-0,3	Проволочные сетки в целлюлозно-бумажной и шиферной промышленности
БрОФ 4-0,25	Трубки контрольно-измерительных приборов, манометрические пружины
БрОЦ 4-3	Ленты, полосы, прутки в электротехнике, токоведущие пружины, контакты, разъемы, арматура в бумажной промышленности
БрОЦС4-4-2,5	Втулки и подшипники в автотракторной и автомобильной промышленности
БрОЦ 4-4-4	

Растворимость олова в меди меняется от 15,8% при 586°C до 1 % при 20°C. В противоположность диаграмме медь-цинк  $\gamma$ -фаза в системе медь-олово выделяется не из жидкой фазы, а выделяется в твердом состоянии по перитектической реакции. Характерной особенностью для данной системы является то, что  $\beta$ - и  $\gamma$ - фазы устойчивы только при высоких температурах. В литых сплавах этого типа бронз резко выражена дендритная структура, что объясняется широким интервалом кристаллизации. Сплавы с пониженным содержанием олова, например, около 4%, после деформации и отжига состоят из однородных кристаллов твердого  $\alpha$  – раствора. Сплавы с повышенным содержанием олова состоят из кристаллов твердого  $\alpha$ -раствора и эвтектоида  $\alpha+\beta$ . Фаза  $\beta$  представляет собой соединение типа  $Cu_5Sn$  с ОЦК-решеткой. К числу однофазных

сплавов относят бронзы с содержанием до 5...6% Sn. В бронзах с более высоким содержанием олова при кристаллизации образуются  $\alpha$ - и  $\beta$ -фазы.

Отрицательным свойством оловянных бронз является их склонность к обратной ликвации, что приводит к обогащению поверхностных заготовок оловом, вплоть до появления на поверхности слитков «оловянного пота» в виде пятен белого цвета. Процесс диффузии в оловянных бронзах протекает медленно, и дендритная структура исчезает лишь после многократной механической и термической обработки или горячей обработки с большими коэффициентами вытяжек.

Бронзы БрОФ 6,5-0,4, БрОФ 6,5-0,15, БрОЦС4-4-2,5(табл.5.2) обрабатываются в холодном состоянии (прокатка, волочение), а в горячем состоянии – лишь прессованием, поскольку показатель напряженного состояния имеет заведомо отрицательные значения и пластичность металла становится выше. Бронза БрОЦ 4-3 хорошо обрабатывается давлением в горячем и холодном состояниях, поэтому может деформироваться в процессах горячей и холодной прокатки и волочения.

Таблица 5.2

Физические свойства оловянных бронз, обрабатываемых давлением[9]

Бронза	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$ (соли- дус)	$\rho, \text{т/м}^3$	$\alpha \cdot 10^6,$ 1/град	$\lambda_t,$ Вт/(м*град)	$\rho_1, * 10^{-6},$ Ом*м	E, ГПа
БрОФ 6,5-0,4	995	8,8	17,1	71,2	0,176	110
БрОФ 6,5-0,15	995	8,8	17,1	71,2	0,176	110
БрОФ 7-0,2	900	8,6	17	41,9	0,170	113
БрОФ 8-0,3	880	8,6	17	41,0	0,175	116
БрОФ 4-0,25	1060	8,9	17,6	83,7	0,091	98
БрОЦ 4-3	1045	8,8	18	83,7	0,087	122
БрОЦС4-4-2,5	887	9,0	18,2	83,7	0,087	74
БрОЦ 4-4-4	1015	9,1	18,1	83,7	0,090	71

Эта особенность обработки давлением бронз сложного состава должна быть учтена при составлении технологического процесса.

Бронзы в предметной деятельности человека появились как инструментальные материалы, механическая прочность которых должна была существенно превысить прочность меди.

На рис.5.3 представлены прочностные свойства безоловянных бронз. Можно отметить, что прочность этого типа бронз достигается за счет нагартовки в процессах холодной деформации: прокатки, волочения. Так, предел текучести бронзы БрОФ6,5-0,15 в литом состоянии составляет 140МПа, а в нагартованном достигает 640МПа, т.е. повышается более чем в четыре раза.

Нагартовка бронз должна осуществляться с учетом их пластичности. Для некоторых бронз характерна быстрая потеря пластичности при пластической деформации. В этом случае следует применять процессы, характеризующиеся низким показателем напряженного состояния.

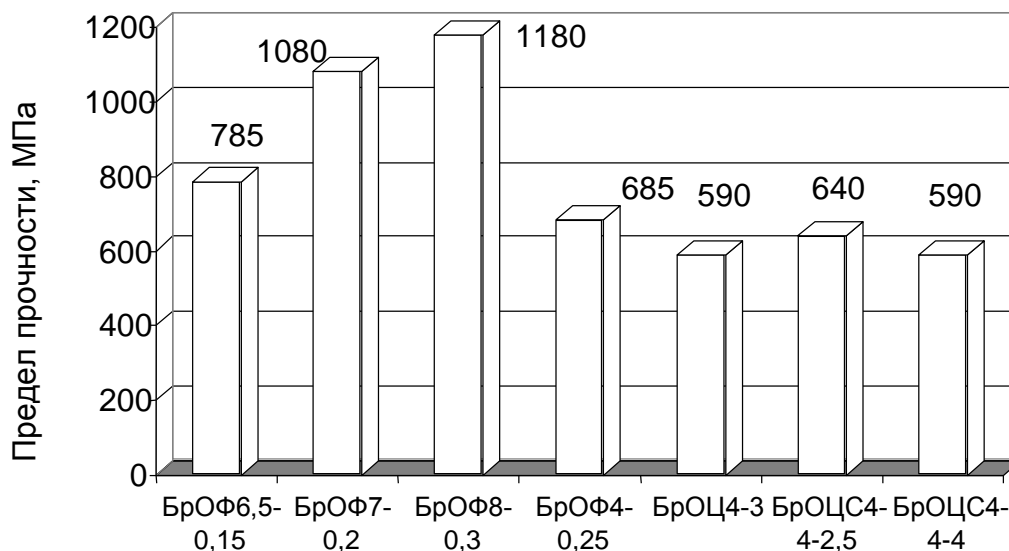


Рис.5.3. Характеристики оловянных бронз в состоянии максимально возможного упрочнения

Коэффициенты уравнений регрессии для определения механических свойств оловянных бронз представлены в табл.5.3.

Таблица 5.3

Коэффициенты уравнений регрессии для определения механических свойств оловянных бронз [2]

	<i>a</i> , МПа	<i>b</i> , МПа	<i>c</i>	<i>d</i> , МПа	<i>e</i> , МПа	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>N</i>
БрОФ 4-0,25	-	-	-	350	4,5	1,04	625	110	0,57	1,72	-1,09	-1,6
БрОЦ 4-3	-	-	-	310	8,9	0,93	700	28	0,97	1,703	3,75	3,9
БрОФ 4-0,25	-	-	-	325	4,9	1,02	-	-	-	-	-	-

Примечание.  $\sigma_{0,2} = a + b\varepsilon_{\%}^c$ ;  $\sigma_{\varepsilon} = d + e\varepsilon_{\%}^f$ ;  $HB = g + h\varepsilon_{\%}^k$ , МПа;  
 $\lg \delta = l + m\varepsilon_{\%} + n\varepsilon_{\%}^2$

На рис.5.4 приведены кривые упрочнения бронзы БрОФ7-0,2 при различных температурах. Можно отметить, что при низких температурах графики являются возрастающими функциями степени деформации, при



высоких температурах возможно уменьшение сопротивления деформации в процессе наращивания степени деформации.

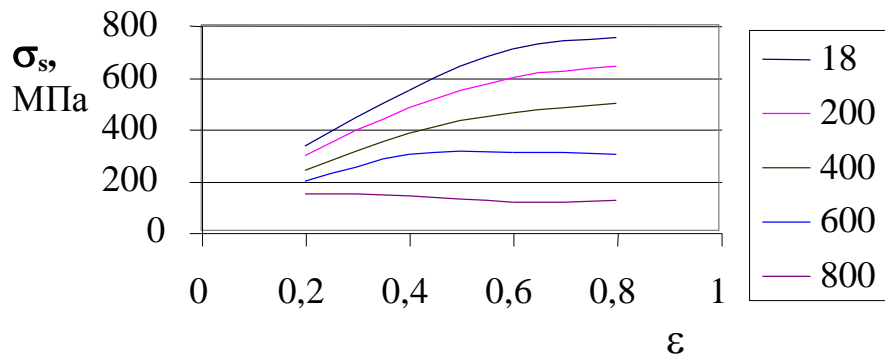


Рис.5.4. Сопротивление деформации бронзы БрОФ7-0,2 при различных температурах: числа в таблице соответствуют температуре в градусах Цельсия в порядке расположения графиков;  $\xi = 10\text{c}^{-1}$

На рис.5.5 для этой же бронзы показано изменение пластических характеристик - относительного удлинения и сужения. Здесь наглядно показано явление резкого ухудшения пластичности этого типа материалов при повышении температуры. Именно поэтому оловянно-фосфористые

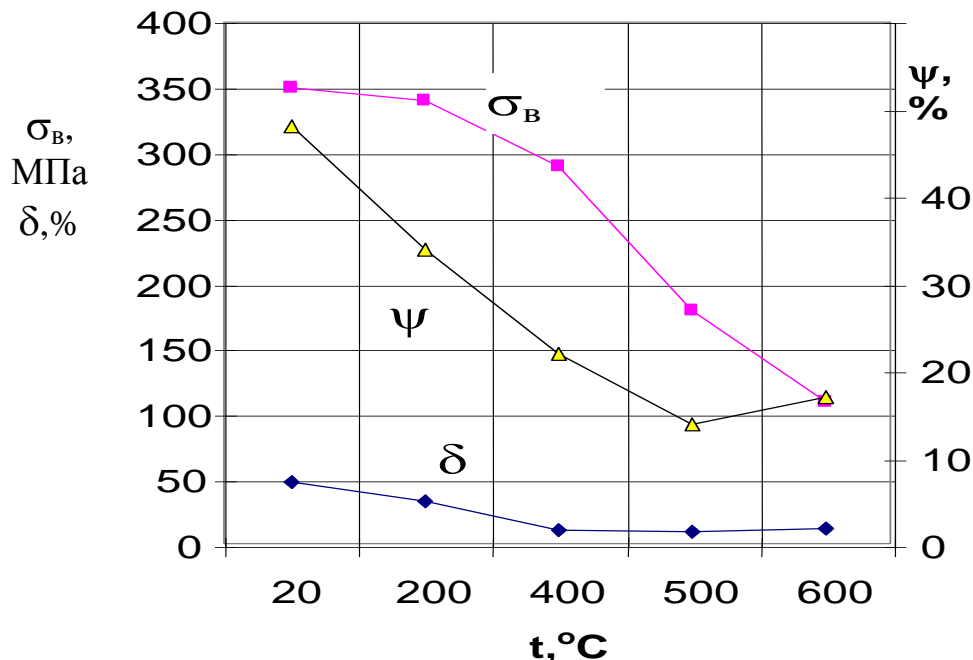


Рис.5.5. Зависимости механических свойств бронзы БрОФ7-0,2 от температуры испытаний[9]

деформируемые бронзы стараются обрабатывать давлением при комнатной температуре, в режиме холодной деформации.

Такой тип обработки довольно трудоемок, поскольку материал обладает довольно высоким уровнем прочностных свойств, и обжатия в процессах обработки давлением, особенно при холодной листовой прокатке, оказываются невелики.

Кривые упрочнения бронзы БрОЦ4-3 в горячем состоянии представлены на рис.5.6.

В табл.5.4 представлены коэффициенты уравнений регрессии для

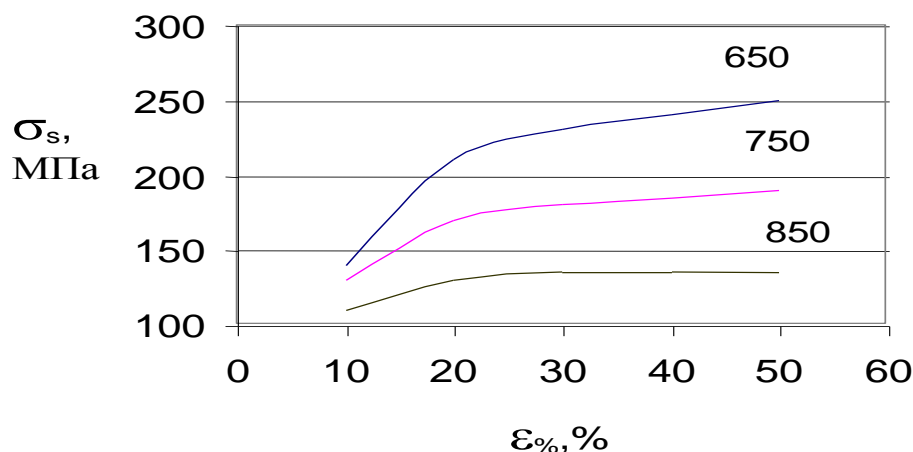


Рис.5.6. Кривые упрочнения бронзы БрОЦ4-3 при скорости деформации  $10\text{c}^{-1}$  (числа при кривых – температура в градусах Цельсия)

определения сопротивления деформации оловянных бронз зарубежных марок в холодном состоянии.

Таблица 5.4

Коэффициенты уравнений регрессии для определения сопротивления деформации оловянных бронз зарубежных марок [16]

Марка	$a$ , МПа	$b$ , МПа	$c$	Область определения $\epsilon$	Скорость деформации, $\text{c}^{-1}$
CuSn1	419,9	25,2	0,440	0-0,40	0,003
CuSn1	419,9	61,5	1,273	0,4-0,80	0,003
CuSn2	313,9	377,8	1,260	0-0,40	0,003
CuSn2	313,9	148,2	0,986	0,4-0,8	0,003
CuSn4	343,4	127,5	0,731	0-1,2	-
CuSn4Zn3	304,1	413,0	0,840	0-1,2	-
CuSn6	350,2	502,2	0,528	0-1,4	-
CuSn8	378,7	681,4	1,102	0-0,4	0,003
CuSn8	378,7	429,5	0,640	0,4-0,8	0,003

Примечание. Сопротивление деформации  $\sigma_s = a + b\epsilon^c$

В табл.5.5 представлены коэффициенты уравнений регрессии для определения сопротивления деформации оловянных бронз зарубежных марок в горячем состоянии.

Таблица 5.5

Коэффициенты уравнений регрессии  $\sigma_s = A_1 A_2 A_3 e^{-m_1 t} \varepsilon^{m_2} \xi^{m_3} \sigma_{s0}$  для описания сопротивления деформации в горячем состоянии оловянных бронз зарубежных марок[16]

Материал	$A_1$	$m_1$	$A_2$	$m_2$	$A_3$	$m_3$	$\sigma_{s0}$ , МПа
CuSn2(деф. состояние)	2,558	0,00134	1,670	0,223	0,813	0,090	108,2
CuSn2(литое состояние)	2,558	0,00134	1,670	0,223	0,813	0,090	123,9
CuSn6	16,445	0,00399	0,996	-0,009	0,813	0,090	130,3
CuSn8	16,445	0,00399	0,996	-0,009	0,813	0,090	187,9

### 5.3. Безоловянные бронзы

Среди безоловянных бронз (ранее их называли специальными бронзами) выделяются алюминиевые бронзы (табл.5.6). Алюминий растворяется в меди, образуя  $\alpha$ -твердый раствор замещения с пределом растворимости 9,4%. Двойные алюминиевые бронзы БрА5, БрА7 отличаются высокой прочностью и пластичностью. Они хорошо обрабатываются давлением в горячем и холодном состоянии, морозостойки, немагнитны, не дают искры при ударах.

Благодаря использованию более легкого металла в качестве лигатуры плотность алюминиевых бронз меньше, чем оловянных, поэтому из заготовки одной и той же массы можно изготовить больше деталей. Алюминий является более дешевым материалом, чем медь, поэтому изделия из алюминиевых бронз будут иметь меньшую стоимость.

По коррозионной стойкости алюминиевые бронзы превосходят латуни и оловянные бронзы. Вместе с тем, эти сплавы трудно поддаются пайке и неустойчивы в условиях перегретого пара.

Таблица 5.6

Назначение и области применения безоловянных бронз

Марка	Область применения
БрА5, БрА7	Пружины, мембраны, сильфоны, детали, работающие в морской среде
БрАЖ9-4	Шестерни, червяки, втулки, седла клапанов, гайки нажимных винтов в авиационной промышленности
БрАЖН10-4-4	Направляющие втулки, клапаны, шестерни в авиационной промышленности
БрАЖМц10-3-1,5 БрАМц9-2	Червячные винты, шестерни, втулки, в морском судостроении, детали, работающие при высоких температурах до 250°C
БрБ2, БрБНТ1,9; БрБНТ1,7	Пружины, мембраны, упругие детали в часовой промышленности
БрМц5	Топочная арматура
БрКН1-3	Антифрикционные детали, пружины, подшипники, морское судостроение, сетки, решетки, испарители, направляющие втулки
БрКд1	Детали скользящего контакта в электромашиностроении и на транспорте
БрХ0,5	Детали для контактов, работающие при повышенных температурах

Физические свойства безоловянных бронз представлены в табл.5.7.

Понижая электро- и теплопроводность меди, алюминий повышает ее жаростойкость. Железо значительно улучшает механические свойства алюминиевых бронз, измельчая зерно и сдерживая рекристаллизацию.

Таблица 5.7

Физические свойства безоловянных бронз, обрабатываемых давлением

Бронза	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$ (соли- дус)	$\rho,$ т/м <sup>3</sup>	$\alpha \cdot 10^6,$ 1/град	$\lambda,$ Вт/(м*град)	$\rho_l, \cdot 10^{-6},$ Ом*м	Е, ГПа
1	2	3	4	5	6	7
БрА5	1056	8,2	18,2	105	0,099	103
БрА7	1040	7,8	17,8	79,5	0,110	118
БрАЖ9-4	1040	7,5	16,2	58,2	0,123	111

Окончание табл.5.7

1	2	3	4	5	6	7
БрАЖМц10 -3-1,5	1045	7,5	16,1	58,6	0,189	98
БрАЖН10 4-4	1040	7,5	17,1	75,4	0,193	113
БрАМц9 2	1060	7,6	17,0	71,2	0,110	90
БрБ2 мягкая	955	8,2	16,6	83,7	0,100	115
БрБ2 старение	955	8,2	16,6	104,7	0,068	128
БрБ2 деформ.	955	8,2	16,6	75,4	-	-
БрБНТ1,9	860	8,3	16,5	100,5	0,09	127
БрБНТ1,7	865	8,2	17,0	96,3	0,09	125
БрКМц3-1	970	8,4	18,0	37,7	0,15	113
БрКН1-3 (деф+стар)	1050	8,6	16,1	104,7	0,046	140
БрБ2 деформ.	955	8,2	75,4	-	-	-
БрМц5	1007	8,6	20,4	41,9	0,143	103
БрКд1	1076	8,9	17,6	344	0,021	-
БрХ0,5	1080	8,9	17,6	336	0,019	-

В алюминиевых бронзах марганец повышает технологические и коррозионные свойства. Двойные алюминиевые бронзы имеют зону пониженной пластичности (рис.5.7), которая расширяется по мере

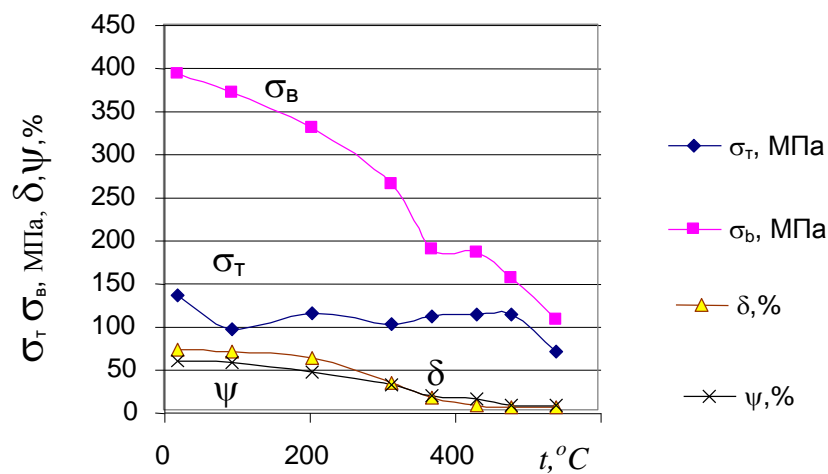


Рис.5.7. Зависимость механических характеристик алюминиевой бронзы БрА7 от температуры[9]

увеличения содержания алюминия. Временное сопротивление алюминиевых бронз непрерывно уменьшается с ростом температуры, при этом предел текучести остается практически постоянным при увеличении температуры от 20 до 500°C.

Сложнолегированные алюминиевые бронзы в холодном состоянии имеют меньшую пластичность, чем двойные (табл.5.8), но в горячем состоянии их пластичность увеличивается, а не уменьшается.

Кремний растворяется в меди в довольно больших количествах. Кремнистые бронзы отличаются высокими упругими и антифрикционными свойствами, обладают хорошей коррозионной стойкостью. Недостатком бронз является большая склонность к поглощению газов. Бронза БрКМц3-1 имеет однофазную структуру и отличается высокими технологическими, механическими, упругими и коррозионными свойствами. Бронзы БрКН1-3 и БрКН0,5-2 термически упрочняются, после закалки и старения их предел прочности может быть увеличен до 700МПа при сохранении достаточно высокого относительного удлинения до 8%.

Таблица 5.8

Влияние температуры на механические свойства  
бронзы БрАЖМц10-3-1,5 [9]

$t, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{\text{в}}, \text{МПа}$	$\Psi, \%$	$\delta, \%$
20	500/610	24/28	20/22
100	/610	/26	/20
200	/580	/22	/17
300	/480	/22	/15
400	/360	/40	/30
500	300/230	/50	40/40
600	240/120	56/50	38/39
700	50/50	33/53	23/40
800	18/20	50/80	40/61
900	7/10	99/94	83/84

Примечание. Числитель – литое состояние, знаменатель – прессованное состояние)

Бериллиевые бронзы, являясь дисперсионно-твердеющими сплавами, обладают наиболее высокими прочностными свойствами в состоянии закалки и последующего старения. Добавки никеля, кобальта или железа способствуют замедлению скорости фазовых превращений при термической обработке, что значительно облегчает технологию закалки и старения.

Таблица 5.9

Влияние температуры на механические свойства бронзы БрБ2 [9]

t, °C	$\sigma_b$ , МПа	$\Psi$ , %	$\delta$ , %
20	450/530	52/56	52/49
200	510/540	32/36	35/39
400	480/480	2/5	2/11
500	380/390	24/27	10/11
600	140/160	46/90	30/18
700	100/100	56/91	47/91
800	36/46	55/88	51/91

Примечание. Числитель – литое состояние, знаменатель – прессованное состояние)

Технологические свойства бериллиевых бронз в большой степени зависят от температуры. Очень характерным свойством этого вида материалов является наличие провала пластичности при температуре около 400°C (табл.5.9). Его наличие характерно и для литого и деформированного состояния.

Сплавы меди с марганцем отличаются высокими механическими свойствами, обрабатываются давлением в горячем и холодном состоянии. Они обладают повышенной жаропрочностью и коррозионной стойкостью.

Кремниевые бронзы не теряют пластичности при низких температурах, экологически безопасны. Бронза БрКМц-1 не имеет провала пластичности при высоких температурах (табл.5.10).

Таблица 5.10

Влияние температуры на механические свойства бронзы БрКМц3-1 [9]

t, °C	$\sigma_b$ , МПа	$\Psi$ , %	$\delta$ , %
20	428	78,2	67,2
100	419	77,3	63,6
200	394	78,5	64,1
300	358	62,7	56,9
400	279	64,1	58,0
500	175	87,8	62,5
600	123	95,5	62,4
700	66	96,3	63,5
800	37	100	89,0
900	19	100	105,2

Электрическое сопротивление кадмиевой бронзы значительно ниже, чем у других типов бронз, поэтому кадмиевая бронза (в англоязычных стандартах – кадмиевая медь) хорошо себя зарекомендовала как конструкционный материал скользящего токоподвода в электрических машинах и в троллейных системах. Обработка кадмиевой бронзы из литого состояния представляет собой большие трудности. Обладая довольно высокой пластичностью при комнатной температуре, бронза теряет пластические свойства при нагреве выше 400°C (табл.5.11), что практически делает невозможной горячую прокатку слитков.

При высоких температурах высокие эксплуатационные свойства обеспечивают хромовые бронзы, имеющие высокую температуру рекристаллизации. Эти бронзы являются термически упрочняемыми, что позволяет в результате закалки и старения не только повысить прочностные свойства, но и улучшить теплофизические свойства, например увеличить теплопроводность. При высоких температурах хромовая бронза превосходит по характеристикам такой прочный материал, которым является бериллиевая бронза.

Таблица 5.11

Влияние температуры на механические свойства бронзы БрКд1 в литом состоянии [9]

$t, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{\text{в}}, \text{МПа}$	$\Psi, \%$	$\delta, \%$
20	240	18	60
200	210	15	60
300	190	58	14
400	170	54	13
500	120	3	5
600	70	2	3
800	40	1	2

Еще более высокими прочностными характеристиками при высоких температурах обладает хромциркониевая бронза.

За рубежом применение нашли селеновая и теллуровая бронзы (в англоязычной терминологии: селеновая и теллуровая медь).

На рис.5.8 приведены прочностные характеристики безоловянных бронз.

Как видно из рассмотрения гистограммы, рекордсменом по прочности является бериллиевая бронза.



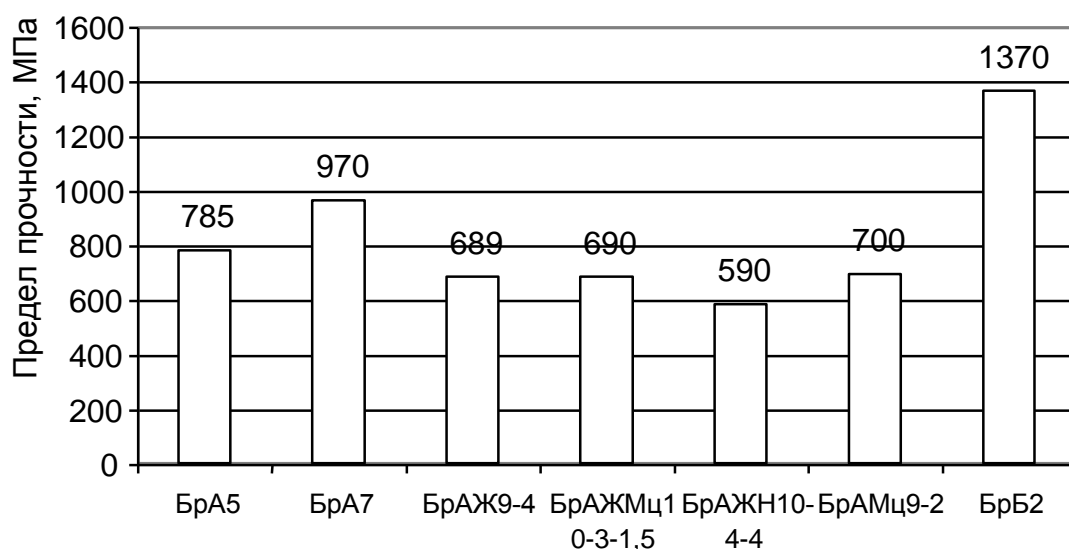


Рис.5.8. Характеристики безоловянных бронз в состоянии максимально возможного упрочнения

Коэффициенты уравнений регрессии для определения механических свойств безоловянных бронз отечественных марок представлены в табл.5.12.

Таблица 5.12

Коэффициенты уравнений регрессии для определения механических свойств безоловянных бронз [2]

	<i>a</i> , МПа	<i>b</i> , МПа	<i>c</i>	<i>d</i> , МПа	<i>e</i> , МПа	<i>F</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>N</i>
БрА7	-	-	-	550	12	0,87	1380	180	0,57	1,68	-2,63	0,6
БрАМц9-2	-	-	-	495	6,2	1	-	-	-	1,748	-4,17	2,9
БрАЖ9-4	-	-	-	590	28	0,72	-	-	-	1,568	-2,89	2,2
БрАЖМц10-3-1,5	-	-	-	600	30	0,67	-	-	-	-	-	-
БрАЖН10-4-4	-	-	-	685	31	0,69	-	-	-	1,398	-2,46	1,3
БрБ2	400	31	0,75	580	25	0,73	-	-	-	1,532	-2,38	-1,9
БрКМц3-1	-	-	-	500	28	0,63	-	-	-	-	-	-
БрМц5	90	61	0,46	315	2,5	1,06	650	60	0,74	1,699	-3,14	2,1

Примечание.  $\sigma_{0,2} = a + b\varepsilon_{\%}^c$ ;  $\sigma_{\varepsilon} = d + e\varepsilon_{\%}^f$ ;  $HB = g + h\varepsilon_{\%}^k$ , МПа;  
 $\lg \delta = l + m\varepsilon_{\%} + n\varepsilon_{\%}^2$

Коэффициенты уравнений регрессии для определения механических свойств безоловянных бронз зарубежных марок приведены в табл.5.13.

Таблица 5.13

Коэффициенты уравнений регрессии для определения сопротивления деформации безоловянных бронз зарубежных марок [16]

Состав	$a$ , МПа	$b$ , МПа	$c$	Область определения $\varepsilon$	Скорость деформации, $c^{-1}$
CuAl5	382,6	621,3	0,978	0-0,5	0,003
CuAl5	382,6	409,6	0,412	0,5-0,8	0,003
CuAl7	539,6	434,6	0,786	0-1,2	-
CuAl9	431,6	762,2	1,170	0-0,8	0,003
CuAl9Ni4Fe4	672,0	531,7	0,623	0-0,51	-
CuAl10Fe3Mn1	588,6	473,8	0,605	0-0,51	-
CuCr1, после закали	125,6	406,1	0,686	0-0,3	0,003
CuCr1 после старения	539,6	531,7	0,532	0,1-1,0	0,003
CuBe2Ni	392,4	661,2	0,675	0-0,51	-
CuBe2Co	255,1	858,1	0,362	0-1,2	0,001

Примечание. Сопротивление деформации  $\sigma_s = a + b\varepsilon^c$

На рис.5.9 представлены прочностные характеристики бронзы БрКМц3-1 при комнатной температуре. Анализ графиков показывает, что прочностные свойства изменяются многократно по мере нагартовки сплава.

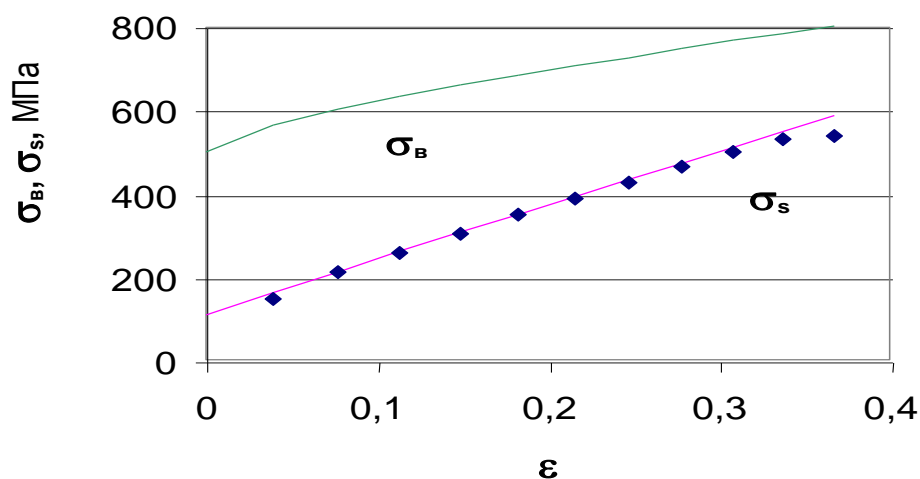


Рис.5.9. Зависимости сопротивления деформации (данные автора) и временного сопротивления от степени деформации для бронзы КМц3-1 при комнатной температуре

Аппроксимация кривой упрочнения в холодном состоянии для бронзы БрКМц3-1(данные автора, растяжение проволоки диаметром 3,4 мм в отожженном состоянии)

$$\sigma_s = 110 + 1270 \cdot \varepsilon^{0,972}.$$

Кремниевая бронза имеет фазовое превращение при 557°С, которое должно сказываться на ходе кривых упрочнения для горячего состояния(рис.5.10). Однако в реальной практике обработки эффект

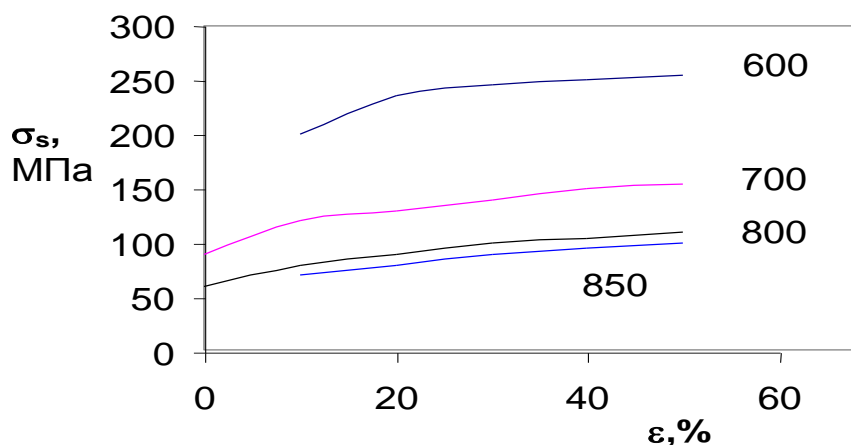


Рис.5.10. Кривые упрочнения бронзы БрКМц3-1 при  $\xi = 10\text{с}^{-1}$ , и различных температурах испытания (числа при линиях графиков)

фазового перехода мал и не сказывается на характеристиках как процесса, так и свойств бронзы.

Бериллиевая бронза обрабатывается давлением в отожженном или закаленном состоянии, что позволяет снизить нагрузки на оборудование и инструмент. На рис.5.11 приведены графики сопротивления деформации для бронзы БрБ2 при повышенных температурах. В холодном состоянии механические свойства этой бронзы в большой степени зависят от истории ее обработки, в том числе структуры металла.

Механические свойства бериллиевых бронз в большой степени зависят от режимов термомеханической обработки. Фазовые превращения, протекающие в бериллиевой бронзе при нагреве, сопровождаются значительными объемными изменениями, достигающими 9%, поэтому в максимально напряженных областях возможно образование трещин, особенно в присутствии водорода.

Добавки в бериллиевую бронзу никеля и титана (табл.5.14) позволяют повысить пластичность материала в холодном состоянии, после закалки на 20-25%, а в термически упрочненном состоянии на 50-60%. Это

позволяет проводить формообразующие операции уже для готовых полуфабрикатов без опасности разрушения металла.

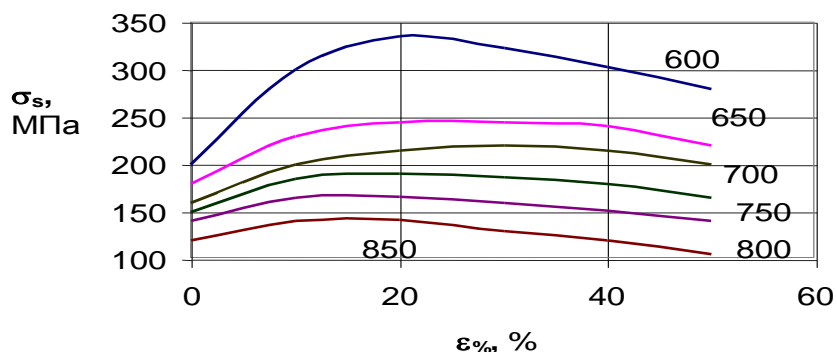


Рис.5.11. Сопротивление деформации бронзы БрБ2 при нагреве: числа при линиях – температура в градусах Цельсия;  $\xi = 10 \text{ c}^{-1}$

Таблица 5.14  
Влияние термомеханической обработки на механические свойства бериллиевых бронз[9]

Свойство	Состояние поставки	БрБ2,5	БрБ2	БрБНТ1,9	БрБНТ1,7
Е, ГПа	Закалка + старение	133	131	130	128
$\sigma_{0,005}$ , МПа	То же	790	770	770	700
$\sigma_B$ , МПа	Закалка	560	500	480	420
$\sigma_B$ , МПа	Закалка + старение	1300	1250	1250	1150
$\sigma_B$ , МПа	Закалка+ прокатка + старение	1350	1350	1350	1350
$\delta$ ,%	Закалка	30	40	50	50
$\delta$ ,%	Закалка + старение	2	3	6	7

Из данных таблицы видно, что закалка понижает прочностные свойства полуфабриката, но повышает пластические свойства. Последующее старение приводит к резкому повышению прочности и понижению пластичности. Проведение прокатки в промежутке между

закалкой и старением позволяет дополнительно повысить прочностные свойства металла.

В табл.5.15 приведены коэффициенты кривых упрочнения бронз зарубежных марок

Таблица 5.15

Коэффициенты уравнений регрессии  $\sigma_s = A_1 A_2 A_3 e^{-m_1 t} \varepsilon^{m_2} \xi^{m_3} \sigma_{s0}$  для описания сопротивления деформации в горячем состоянии бронз зарубежных марок [16]

Материал	$A_1$	$m_1$	$A_2$	$m_2$	$A_3$	$m_3$	$\sigma_{s0}$ , МПа
CuAl5(деф. состояние)	20,785	0,00433	1,082	0,035	0,652	0,186	237,5
CuAl5(литое состояние)	20,785	0,00433	1,082	0,035	0,652	0,186	188,5
CuAl10Fe3Mn1	20,785	0,00433	1,082	0,035	0,652	0,186	92,1
CuBe2Ni	16,445	0,00399	0,996	-0,009	0,813	0,090	209,0
CuSi3Mn	7,011	0,00278	1,411	0,150	0,813	0,090	130,7
CuNi20Mn20	87,524	0,00599	0,886	-0,052	0,775	0,110	165,2

В зарубежной практике для улучшения обрабатываемости резанием применяют бериллиевые бронзы со свинцом, температурный интервал обработки таких сплавов довольно узок, поэтому материалы такого класса обрабатываются с большими трудностями.

Кадмиевая бронза используется для изготовления проводников тока, работающих в условиях скользящего контакта. Кадмий является довольно токсичным веществом, кроме того, он имеет низкие температуры плавления и кипения, поэтому при обработке расплавов и металла в горячем состоянии необходимо применять меры предосторожности.

На рис.5.12 приведены кривые упрочнения для кадмиевой бронзы в горячем состоянии. Кадмиевая бронза (в зарубежной терминологии – кадмиевая медь) обладает особенным поведением окисленных поверхностных слоев. Кадмий как легкоплавкий металл, выступая в качестве припоя, при высоких температурах горячей обработки, «приклеивает» окалину к поверхности заготовок, поэтому режимы гидросбива окалины, характерные для обработки медных слитков, для кадмиевой бронзы становятся неприменимыми. При горячей обработке кадмиевой бронзы коэффициенты трения оказываются ниже, чем при обработке меди, что следует учитывать при калибровке валков прокатных станов.

Особенностью кадмиевой бронзы является невозможность сортовой прокатки без предварительного горячего прессования исходного слитка. Многочисленные работы, выполненные отечественными и зарубежными

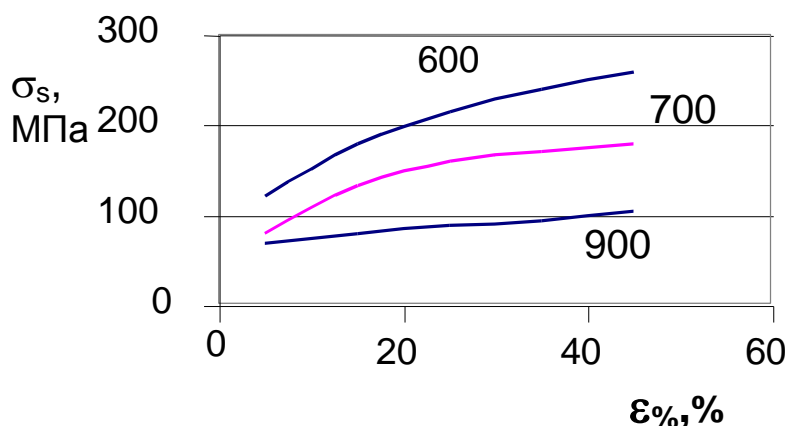


Рис.5.12. Сопротивление деформации бронзы БрКд1 при повышенных температурах (числа при линиях – температура в градусах Цельсия), скорость деформации  $10 \text{ с}^{-1}$

исследователями, показали, что пластичности литого металла крупногабаритного слитка явно недостаточно, чтобы выдержать жесткие схемы напряженного состояния, характерные для сортовой прокатки. Это объясняется тем, что по границам зерен кадмиевой меди имеются выделения эвтектики с большим содержанием кадмия. Благодаря своей легкоплавкости, кадмий провоцирует перегрев этой эвтектики при нагреве перед горячей деформацией, из-за чего происходит межзеренное разрушение металла. Сказанное поясняется графиками рис.5.13.

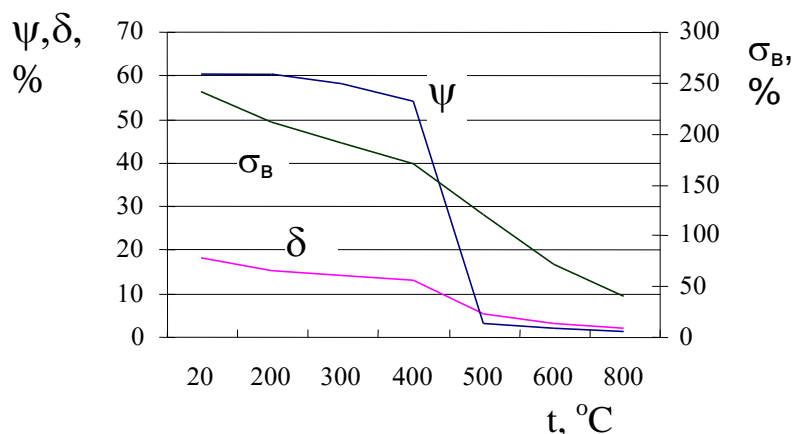


Рис.5.13. Характеристики кадмиевой бронзы в литом состоянии при повышенных температурах [9]

Из них видно, что при нагреве литой кадмиевой бронзы одновременно с показателем прочности снижаются все характеристики пластичности. При этом в холодном состоянии пластичность сплава является удовлетворительной.

Уравнения регрессии для определения сопротивления деформации кадмиевой бронзы в холодном состоянии (аппроксимация автора, точность составляет 5 %)

$$\sigma_s = 80 + 39,18\varepsilon_{\%}^{0,554}; \sigma_s = 80 + 380\varepsilon^{0,387}.$$

Пластические свойства некоторых сплавов меди с оловом хорошо описываются экспоненциальными кривыми в координатах степень деформации сдвига до разрушения  $\Lambda_p$  – показатель напряженного состояния  $\sigma/T$  (рис.5.14).

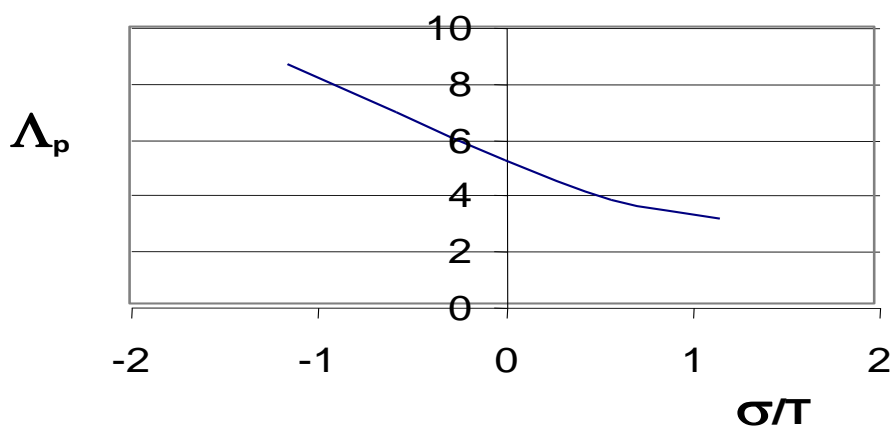


Рис.5.14. Диаграмма пластичности бронзы БрОФ 4-0,25 в деформированном и отожженном состоянии

При традиционных способах обработки металлов и сплавов удобнее при проектировании процессов использовать показатели накопленной степени деформации  $\varepsilon_{\%max}$  [15] или соответствующие им коэффициенты вытяжек  $\lambda_{max}$  (табл.5.16).

Таблица 5.16  
Максимально допустимые режимы деформации бронз [15]

Материал	Горячая деформация		Холодное волочение	
	$\varepsilon_{\%max}$	$\lambda_{max}$	$\varepsilon_{\%max}$	$\lambda_{max}$
БрАМц9-2	99,48	192	40	1,66
БрБ2	99,55	222	78	4,54
БрКМц3-1	98,88	89	98	50
БрОЦ4-3	99,64	278	95	20
БрОФ6,5-0,4	-	-	87	7,7

По аналогии с зарубежными стандартами в нашей стране разработаны новые марки сплавов, которые отнесены к категории низколегированных медных сплавов. Основное назначение этой группы материалов – использование в качестве проводников тока в условиях, требующих повышенной прочности проводника и в некоторых случаях повышенной температуры рекристаллизации. Такие условия характерны для работы подвески контактных проводов железных дорог и муниципального транспорта (трамвай, троллейбус). Физические и механические свойства таких сплавов приведены в табл.5.17.

Таблица 5.17

Физические и механические свойства низколегированных медных сплавов для проводников электрического тока

Свойство	Режим обработки	Cu+0,4Zr	Cu+0,3Mg	Cu+0,4Cr+0,2Sn+0,8Ti	Cu+0,1Ag
$\rho_1$ , мОм*м	-	0,020	0,022	0,026	0,017
E, ГПа	Деформация +отжиг	137	123	110	126
$\sigma_b$ , МПа	Деформация +отжиг	270	300	650	200
	Деформация	-	530	-	340

Как видно из таблицы, по электропроводности наилучшие показатели обеспечивает серебряная бронза (малолегированная серебряная медь). Однако прочностные показатели этого сплава невелики.

Большое внимание в последнее время уделялось разработке новых составов сплавов меди с другими металлами с целью повышения температуры рекристаллизации материалов. Актуальность проблемы связана с необходимостью получения новых сплавов, обладающих хорошей электропроводностью и высокой жаропрочностью.

Из медных сплавов, в частности, изготавливают инструмент для точечной сварки листовых материалов на основе железа и цветных металлов. Такой инструмент используют, например, в автомобильной промышленности. В месте контакта инструмент перегревается и подвергается отжигу с резким падением прочности. Именно поэтому контакты для точечной сварки должны обладать свойством жаропрочности, которое, в частности, характеризуется как можно более высокой температурой рекристаллизации. Влияние микролегирования на температуру начала рекристаллизации медных сплавов при холодной деформации 40% отображено на графиках рис.5.15.



Из него видно, что традиционно применяемые для упрочнения меди легирующие элементы: кадмий, серебро, алюминий - обеспечивают только средний уровень жаропрочности. Более перспективными являются сплавы на основе меди с добавками титана, хрома, гафния, циркония.

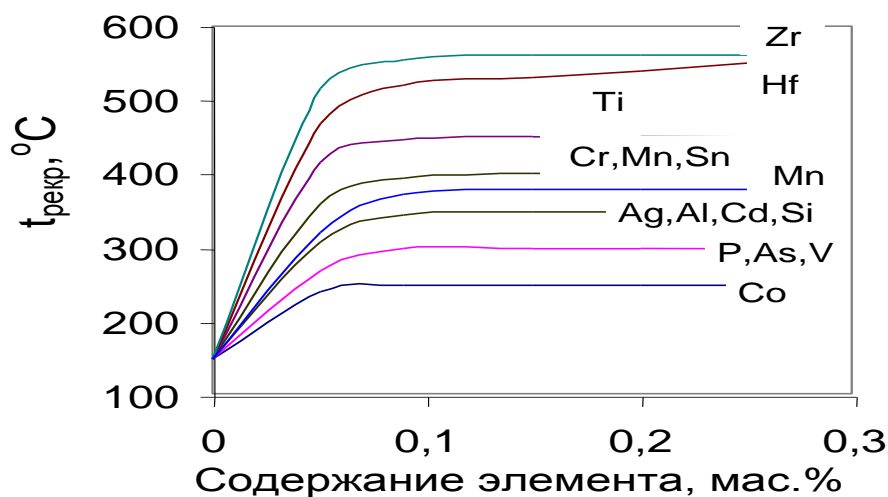


Рис.5.15. Влияние микролегирования на температуру начала рекристаллизации медных сплавов при холодной деформации 40%

Свойства сложнолегированных сплавов меди в настоящее время интенсивно изучаются. Исследуется также влияние различных видов термообработки на упрочнение и физические свойства сплавов.

#### Вопросы для самоконтроля

1. Каково влияние температуры на пластичность бронз, содержащих олово?
2. В чем достоинства алюминиевых бронз?
3. Каковы особенности термомеханической обработки бериллиевых бронз?
4. Каково влияние водорода на фазовые превращения в бериллиевых бронзах?
5. В чем особенности обработки кадмиевой бронзы?
6. Какие сплавы считаются перспективными для работы в качестве проводников тока на железнодорожных магистралях?
7. Какие химические элементы оказывают слабое влияние на электропроводность меди?

# 1. ДЕФОРМИРУЕМЫЕ ЛАТУНИ

## 2. Характеристика сплавов

Латуни представляют собой двойные или многокомпонентные сплавы, в которых цинк является основным легирующим компонентом. По сравнению с медью латуни обладают более высокой прочностью, коррозионной стойкостью, упругостью. Двойные латуни, содержащие до 14% цинка, называются томпаком, 14-20% - полутомпаком.

При кристаллизации медноцинковых сплавов возможно образование шести различных фаз, но практическое значение имеют сплавы, содержащие до 50% цинка. В соответствии с диаграммой состояния двойные латуни в зависимости от структуры подразделяются на  $\alpha$ -латуни,  $\beta$ -латуни,  $\alpha+\beta$ -латуни.

По технологическому признаку латуни делятся на литейные и деформируемые (рис.6.1).

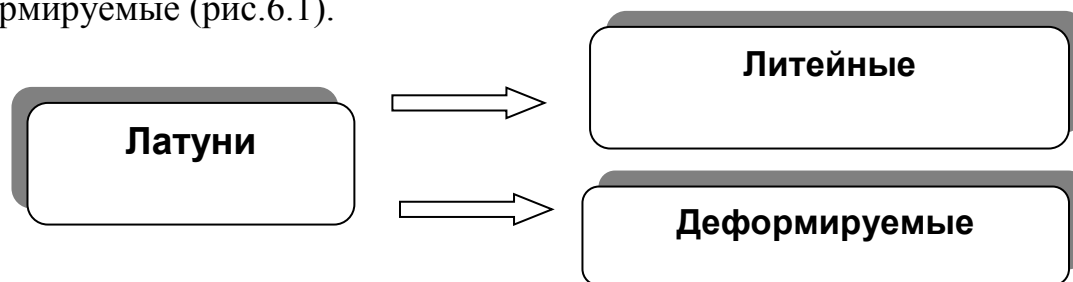


Рис.6.1. Классификация латуней по методу обработки

Литейные латуни предназначены для изготовления фасонных отливок, состав сплава здесь подбирается так, чтобы получить высокую жидкотекучесть - способность заполнять тонкие рельефы отливок.

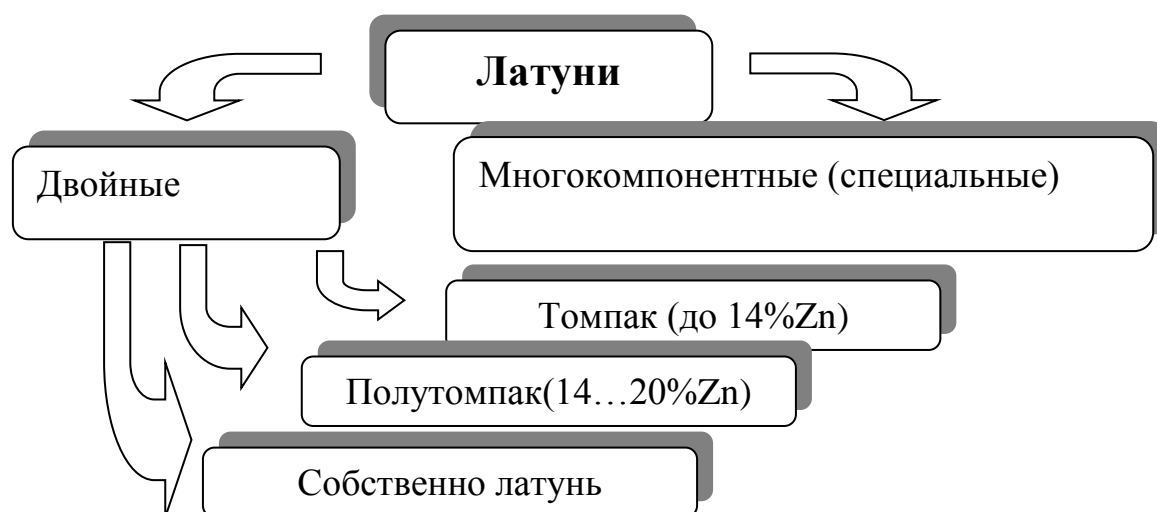


Рис.6.2. Отечественная классификация деформируемых латуней по химическому составу

Деформируемые латуни (рис.6.2.) должны обладать хорошей пластичностью - способностью воспринимать пластические деформации без разрушения. Латуни подразделяют на двойные (два компонента – медь и цинк) и многокомпонентные, в ряде справочников их также называют специальными или легированными латунями.

Характеристика структур фаз системы медь-цинк приведена в табл.6.1. Анализ таблицы показывает, что при содержании цинка до 38% сплавы кристаллизуются в равновесном состоянии с образованием ГЦК-решетки, что позволяет достичь пластичного состояния.

Таблица 6.1

Характеристика структур фаз системы медь-цинк [9]

Содержание цинка, ат. %	Фаза	Состав	Тип структуры	Период решетки, нм	Атомный объем, нм
0-38	$\alpha$	-	ГЦК	0,365	-
45-49	$\beta, \beta'$	CuZn	ОЦК	0,294	0,127
56-66	$\gamma$	Cu <sub>5</sub> Zn <sub>8</sub>	ОЦК	0,883	0,134
77-86	$\epsilon$	CuZn <sub>3</sub>	ГПУ	0,275	0,141
98-100	$\eta$	-	ГПУ	0,230	-

Химический состав деформируемых латуней отечественных марок по ГОСТ 15527-70 представлен в табл.6.2 и 6.3 а по стандарту ASTM - в табл.6.4.

Таблица 6.2

Химический состав, %, двойных и тройных деформируемых латуней отечественных марок по ГОСТ 15527-70

Марка сплава	Cu	Pb	Sn	Другие элементы	Zn
1	2	3	4	5	6
Л96	95,0-97,0	-	-	-	Остальное
Л90	88,0-91,0	-	-	-	Остальное
Л85	84,0-86,0	-	-	-	Остальное
Л80	79,0-81,0	-	-	-	Остальное
Л70	69,0-72,0	-	-	-	Остальное
Л68	67,0-70,0	-	-	-	Остальное
Л63	62,0-65,0	-	-	-	Остальное
Л60	59,0-62,0	-	-	-	Остальное
ЛА77-2	76,0-79,0	-	-	Al 1,7-2,5 Fe 0,07	Остальное
ЛН65-2	64,0-67,0	-	-	Ni 5,0-6,5	Остальное

1	2	3	4	5	6
ЛМц58-2	57,0-60,0	-	-	Mn 1,0-2,0 Fe 0,5	Остальное
ЛО90-1	88,0-91,0	-	0,2-0,7	-	Остальное
ЛО70-1	69,0-71,0	-	1,0-1,5	Fe 0,07	Остальное
ЛО62-1	61,0-63,0	-	0,7-1,1	-	Остальное
ЛО60-1	54,0-61,0	-	1,0-1,5	-	Остальное
ЛС63-3	62,0-65,0	2,4-3,0	0,10	-	Остальное
ЛС74-3	72,0-75,0	2,4-3,0	-	-	Остальное
ЛС64-2	63,0-66,0	1,5-2,0	-	-	Остальное
ЛС60-1	59,0-61,0	0,6-1,0	0,20	-	Остальное
ЛС59-1	57,0-60,0	0,8-1,9	0,30	-	Остальное
ЛС59-1В	57,0-61,0	0,8-1,9	-	-	Остальное
ЛС63-2	62,0-65,0	0,7-2,3	-	-	Остальное
ЛС60-2	59,0-61,0	1,0-2,5	-	-	Остальное
ЛС59-3	57,0	2,0	-	-	Остальное
ЛК80-3	79,0-81,0	-	-	Si 2,5-4,0	Остальное
ЛМш68-0,05	67,0-70,0	-	-	Мышьяк 0,025- 0,060	Остальное

Таблица 6.3

Химический состав, %, деформируемых латуней отечественных марок, содержащих три и более компонентов, по ГОСТ 15527-70

Марка сплава	Cu	Pb	Fe	Mn	Al	Sn	Si	Ni	As	Zn
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ЛАЖ60-1-1	58,0-61,0	-	0,75-1,50	0,10-0,60	0,70-1,50	-	-	-	-	Остальное
ЛАН59-3-2	57,0-60,0	-	-	-	2,5-3,5	-	-	2,0-3,0	-	Остальное
ЛЖМц59-1-1	57,0-60,0	-	0,6-1,2	0,5-0,6	0,1-0,4	0,3-0,7	-	-	-	Остальное
ЛмцА57-3-1	55,0-58,5	-	-	2,5-3,5	0,5-1,5	-	-	-	-	Остальное
ЛЖС58-1-1	56,0-58,0	0,7-1,3	0,7-1,3	-	-	-	-	-	-	Остальное
ЛАМш77-2-0,05	76,0-79,0	-	-	-	1,7-2,5	-	-	-	0,025-0,06	Остальное

Окончание табл.6.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ЛОМш70-1-0,05	69,0-71,0	-	-	-	-	1,0-1,5	-	-	0,025-0,06	Остальное
ЛАНКМц75-2-2,5-0,5-0,5	73,0-76,0	-	-	0,3-0,7	1,6-2,2	-	0,3-0,7	2,0-3,0	-	Остальное

Латуни сложного состава отечественного производства, например ЛМцКНС, ЛМцСКА, ЛМцАЖН, ЛМцАЖКС, ЛМцАЖНК и др. могут выпускаться не по ГОСТ, а по техническим условиям.

Приведенные далее марки деформируемых латуней по стандарту ASTM частично совпадают с марками латуней по отечественному стандарту, но имеют и отличия. Например, латунь С21000 на первый взгляд соответствует латуни Л96 отечественного стандарта. Содержание меди в латуни Л96 95,0-97,0, а в латуни С21000 94-96 %. Таким образом, совпадение по химическому составу достигнуто на интервале 96-97 %, этот интервал меньше в два раза, чем в каждом из стандартов, поэтому получить материал, соответствующий обоим стандартам, гораздо труднее.

Таблица 6.4

Марки и химический состав деформируемых латуней по стандарту ASTM

Марка латуни	Торговое название	Cu	Pb	Fe	Zn	Другие элементы
1	2	3	4	5	6	7
Латуни - Copper-Zinc Alloys ( <i>Brasses</i> )						
C21000	Золотая (Gilding), 95%	94,0–96,0	0,03	0,05	Ост.	—
C22000	Торговая (Commercial Bronze), 90%	89,0–91,0	0,05	0,05	Ост.	—
C22600	Ювелирная (Jewelry Bronze), 87–1/2%	86,0–89,0	0,05	0,05	Ост.	—
C23000	Красная латунь (Red Brass), 85%	84,0–86,0	0,05	0,05	Ост.	—
C23030	-	83,5–85,5	0,05	0,05	Ост.	0,20–0,40Si
C23400	-	81,0–84,0	0,05	0,05	Ост.	—
C24000	Малолегированная (Low Brass), 80%	78,5–81,5	0,05	0,05	Ост.	—
C24080	-	78,0–82,0	0,20	—	Ост.	0,10Al
C25600	-	71,0-73,0	0,05	0,05	Ост.	—

Продолжение табл.6.4

1	2	3	4	5	6	7
C26000	Патронная (Cartridge Brass), 70%	68,5–71,5	0,07	0,05	Ост.	—
C26130	-	68,5–71,5	0,05	0,05	Ост.	0,02–0,08As
C26200	-	67,0–70,0	0,07	0,05	Ост.	—
C26800	Желтая латунь (Yellow Brass), 66%	64,0–68,5	0,15	0,05	Ост.	—
C27000	Желтая латунь (Yellow Brass), 65%	63,0–68,5	0,10	0,07	Ост.	—
C27200	-	62,0–65,0	0,07	0,07	Ост.	—
C27400	Желтая латунь (Yellow Brass), 63%	61,0–64,0	0,10	0,05	Ост.	—
C28000	Мунц-металл (Muntz Metal), 60%	59,0–63,0	0,30	0,07	Ост.	—
Свинцовые латуни - Copper-Zinc-Lead Alloys ( <i>Leaded Brasses</i> )						
C31200	—	87,5–90,5	0,7–1,2	0,10	Ост.	0,25Ni
C31400	Свинцовая торговая (Leaded Commercial Bronze)	87,5–90,5	1,3–2,5	0,10	Ост.	0,7Ni
C31600	Свинцовая торговая никельсодержащая - Leaded Commercial Bronze (Nickel-Bearing)	87,5–90,5	1,3–2,5	0,10	Ост.	0,7–1,2Ni 0,04–0,10P
C32000	Свинцовая красная латунь (Leaded Red Brass)	83,5–86,5	1,5–2,2	0,10	Ост.	0,25Ni
C33000	Малолегированная трубная – Low Leaded Brass (Tube)	65,0–68,0	0,25–0,7	0,07	Ост.	—
C33200	Высоколегированная трубная - High Leaded Brass (Tube)	65,0–68,0	1,5–2,5	0,07	Ост.	—
C33500	Малосвинцовистая (Low Leaded Brass)	62,0–65,0	0,25–0,7	0,15	Ост.	—
C34000	Малосвинцовистая - Medium Leaded Brass, 64–1/2%	62,0–65,0	0,8–1,5	0,15	Ост.	—
C34200	Высокосвинцовистая - High Leaded Brass, 64–1/2%	62,0–65,0	1,5–2,5	0,15	Ост.	—
C34500	—	62,0–65,0	1,5–2,5	0,15	Ост.	—

## Окончание табл.6.4

C35000	Среднесвинцовистая - Medium Leaded Brass, 62%	60,0–63,0	0,8–2,0	0,15	Ост.	—
C35300	Высокосвинцовистая - High Leaded Brass, 62%	60,0–63,0	1,5–2,5	0,15	Ост.	—
C35330	—	59,5–64,0	1,5–3,5	—	Ост.	0,02–0,25As
C35600	Экстравысокосвинцо вистая - Extra High Leaded Brass	60,0–63,0	2,0–3,0	0,15	Ост.	—
C36000	Хорошо обрабатываемая резанием - Free- Cutting Brass	60,0–63,0	2,5–3,7	0,35	Ост.	—
C36500	Свинцовый мунц- металл - Leaded Muntz Metal, Uninhibited	58,0–61,0	0,25–0,7	0,15	Ост.	0,25Sn
C37000	Хорошо обрабатываемый резанием мунц- металл - Free-Cutting Muntz Metal	59,0–62,0	0,8–1,5	0,15	Ост.	—
C37100	—	58,0–62,0	0,6–1,2	0,15	Ост.	—
C37700	Ковочная латунь - Forging Brass	58,0–61,0	1,5–2,5	0,30	Ост.	—
C37710	—	56,5–60,0	1,0–3,0	0,30	Ост.	—
C38000	Архитектурная бронза малосвинцовистая - Architectural Bronze, Low Leaded	55,0–60,0	1,5–2,5	0,35	Ост.	0,50Al 0,30Sn
C38500	Архитектурная бронза - Architectural Bronze	55,0–59,0	2,5–3,5	0,35	Ост.	—

В стандарте ASTM выделена также группа оловянных латуней (табл.6.5), в том числе сложного состава.

Таблица 6.5

Марки и химический состав деформируемых латуней (Copper-Zinc-Tin Alloys или Tin Brasses по стандарту ASTM

Марка латуни	Торговое название	Cu	Pb	Fe	Sn	Zn	P	Другие элементы
1	2	3	4	5	6	7	8	9
C40400	—	Ост.	—	—	0,35–0,7	2,0–3,0	—	—
C40500	—	94,0–96,0	0,05	0,05	0,7–1,3	Ост.	—	—
C40810	—	94,0–96,5	0,05	0,08–0,12	1,8–2,2	Ост.	0,028–0,04	0,11–0,20Ni
C40820	—	94,0 min	0,02	—	1,0–2,5	0,20–2,5	0,05	0,10–0,50Ni
C40850	—	94,5–96,5	0,05	0,05–0,20	2,6–4,0	Ост.	0,02–0,04	0,05–0,20Ni
C40860	—	94,0–96,0	0,05	0,01–0,05	1,7–2,3	Ост.	0,02–0,04	0,05–0,20Ni
C41000	—	91,0–93,0	0,05	0,05	2,0–2,8	Ост.	—	—
C41100	—	89,0–92,0	0,10	0,05	0,30–0,7	Ост.	—	—
C41120	—	89,0–92,0	0,05	0,05–0,20	0,30–0,7	Ост.	0,02–0,05	0,05–0,20Ni
C41300	—	89,0–93,0	0,10	0,05	0,7–1,3	Ост.	—	—
C41500	—	89,0–93,0	0,10	0,05	1,5–2,2	Ост.	—	—
C42000	—	88,0–91,0	—	—	1,5–2,0	Ост.	0,25	—
C42200	—	86,0–89,0	0,05	0,05	0,8–1,4	Ост.	0,35	—
C42220	—	88,0–91,0	0,05	0,05–0,20	0,7–1,4	Ост.	0,02–0,05	0,20Ni
C42500	—	87,0–90,0	0,05	0,05	1,5–3,0	Ост.	0,35	—
C42520	—	88,0–91,0	0,05	0,05–0,20	1,5–3,0	Ост.	0,02–0,04	0,05–0,20Ni
C42600	—	87,0–90,0	0,05	0,05–0,20	2,5–4,0	Ост.	0,02–0,05	0,05–0,20Ni (вкл. Co)
C43000	—	84,0–87,0	0,10	0,05	1,7–2,7	Ост.	—	—
C43400	—	84,0–87,0	0,05	0,05	0,40–1,0	Ост.	—	—
C43500	—	79,0–83,0	0,10	0,05	0,6–1,2	Ост.	—	—
C43600	—	80,0–83,0	0,05	0,05	0,20–0,50	Ост.	—	—
C44300	Адмиралтейская, мышьяковистая - Admiralty, Arsenical	70,0–73,0	0,07	0,06	0,8–1,2	Ост.	—	0,02–0,06As
C44400	Адмиралтейская, висмутовая - Admiralty, Antimonial	70,0–73,0	0,07	0,06	0,8–1,2	Ост.	—	0,02–0,10Sb



## Окончание табл.6.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
C44500	Адмиралтейская, фосфористая - Admiralty, Phosphorized	70,0–73,0	0,07	0,06	0,8–1,2	Ост.	0,02–0,10	—
C46200	Морская - Naval Brass, 63–1/2%	62,0–65,0	0,20	0,10	0,50–1,0	Ост.	—	—
C46400	Морская, Naval Brass, Uninhibited	59,0–62,0	0,20	0,10	0,50–1,0	Ост.	—	—
C46500	Морская мышьяковистая - Naval Brass, Arsenical	59,0–62,0	0,20	0,10	0,50–1,0	Ост.	—	0,02–0,06As
C47000	Морская для сварки и омеднения - Naval Brass Welding and Brazing Rod	57,0–61,0	0,05	—	0,25–1,0	Ост.	—	0,01Al
C47940	—	63,0–66,0	1,0–2,0	0,10–1,0	1,2–2,0	Ост.	—	0,10–0,50Ni (вкл. Co)
C48200	Морская, среднесвинцовистая - Naval Brass, Medium Leaded	59,0–62,0	0,40–1,0	0,10	0,50–1,0	Ост.	—	—
C48500	Морская, высокосвинцовистая - Naval Brass, High Leaded	59,0–62,0	1,3–2,2	0,10	0,50–1,0	Ост.	—	—
C48600	—	59,0–62,0	1,0–2,5	—	0,30–1,5	Ост.	—	0,02–0,25As

Можно обратить внимание на то, что по стандарту ASTM некоторые латуни называются бронзами, например, торговая, ювелирная, архитектурная бронзы.

Названия латуней, изготавливаемых в России, определяются стандартом ГОСТ 15527-70. «Сплавы медно-цинковые (латуни), обрабатываемые давлением. Марки». В том числе различают:

- томпаки: Л96 и Л90,
- полутомпаки Л85 и Л80,
- собственно латуни Л70, Л68, Л63, Л60,
- латунь алюминиевую ЛА77-2,
- латунь алюминиево-железную ЛАЖ60-1-1,
- латунь алюминиево-никелевую ЛАН59-3-2,
- латунь железо-марганцовую ЛЖМц59-1-1,
- латунь никелевую ЛН65-5,
- латунь марганцовую ЛМц58-2,
- латунь марганцово-алюминиевую ЛмцА57-3-1,
- томпак оловянный ЛО90-1,

- латунь оловянную ЛО70-1, ЛО62-1, ЛО60-1,
- латунь свинцовую ЛС63-3, ЛС74-3, ЛС64-2, ЛС60-1, ЛС59-1, ЛС59-1В, ЛС63-2, ЛС60-2, ЛС59-3,
- латунь железо-свинцовую ЛЖС58-1-1,
- латунь кремнистую ЛК80-3,
- латунь мышьяковую ЛМц68-0,05,
- латунь алюминиево-мышьяковую ЛАМц77-2-0,05,
- латунь оловянно-мышьяковую ЛОМц70-1-0,05,
- латунь алюминиево-никеле-кремнисто-марганцовую ЛАНКМц75-2-2,5-0,5-0,5. —

### 3. Двойные латуни

Назначение и области применения отечественных двойных латуней, обрабатываемых давлением, представлены в табл.6.6, а их временное сопротивление (предел прочности) в состоянии наибольшего упрочнения на рис.6.3.

Таблица 6.6  
Назначение и области применения двойных латуней

Марка	Область применения
Л96	Радиаторные, конденсаторные, капиллярные трубы
Л90	Фурнитура и украшения
Л85	Детали холодильного оборудования, конденсаторные трубы
Л80	Проволочные сетки в целлюлозно-бумажной и шиферной промышленности
Л70	Детали химической аппаратуры
Л68	Детали после холодной штамповки и глубокой вытяжки
Л63	Крепеж, детали автомобилей, конденсаторные трубы
Л60	Толстостенные патрубки, шайбы, детали машин

Наименее прочная из двойных латуней Л96, но она обладает наибольшей теплопроводностью, поэтому часто выступает в роли материала для изготовления теплообменных аппаратов. Двойные латуни с содержанием цинка менее 39% имеют в равновесном состоянии структуру ГЦК с постоянной решетки  $a=0,36$  нм и относятся к классу  $\alpha$ -латуней. При получении мелкого зерна в деформированных полуфабрикатах для рекристаллизации достаточно температур 350-450°C.

Наиболее прочная в холодном состоянии латунь Л63. Ее особенность состоит в том, что она относится к классу  $\alpha+\beta$  латуней. Кристаллы  $\beta$ -фазы

имеют структуру ОЦК-решетки с постоянной  $a= 0,29$  нм. Для рекристаллизации  $\beta$ -фазы требуется более высокая температура. Неполная рекристаллизация крайне отрицательно сказывается на пластичности латуни. Вместе с тем температура плавления латуни Л63 меньше, чем для остальных латуней. Поэтому температурный интервал термической и термомеханической обработки латуни Л63 меньше, чем для остальных двойных латуней.

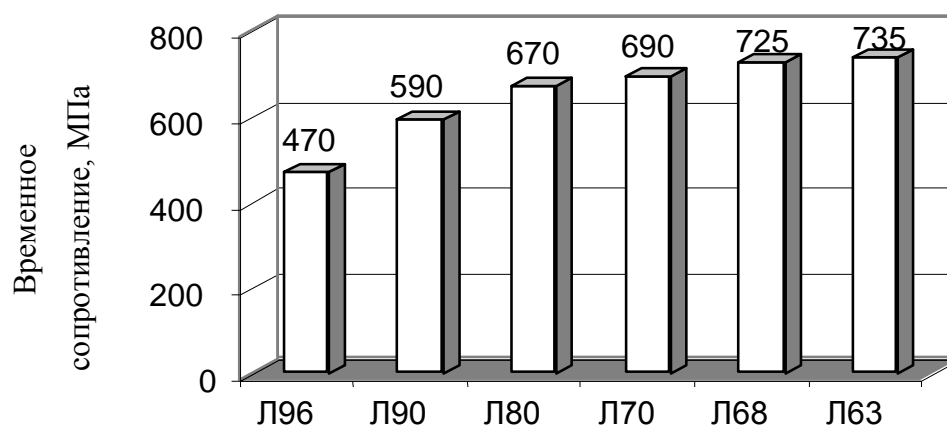


Рис.6.3. Временное сопротивление (предел прочности) двойных латуней в состоянии наибольшего упрочнения

Физические свойства двойных латуней, обрабатываемых давлением, представлены в табл.6.7.

Таблица 6.7

Физические свойства двойных латуней, обрабатываемых давлением

Латунь	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$ (соли- дус)	$\rho,$ г/м <sup>3</sup>	$\alpha \cdot 10^6,$ 1/град	$\lambda,$ Вт м · град	$c,$ Дж кг · град	$\rho_1, * 10^{-6},$ Ом*м	$E,$ ГПа
Л96	1055	8,85	17	245	389	0,043	112
Л90	1025	8,78	17	180	398	0,045	109
Л85	990	8,75	19	152	398	0,047	103
Л80	965	8,66	19	142	399	0,054	110
Л75	980	8,63	19	130	389	0,057	103
Л70	915	8,61	19	121	377	0,069	113
Л68	909	8,60	19	113	377	0,072	113
Л60	895	8,4	21	105	377	0,075	116
Л66	905	8,47	20	120	377	0,069	103
Л60	895	8,40	21	105	377	0,075	116

С повышением содержания цинка снижается температура плавления материала. Это приводит к опасности перегрева и пережога заготовок. В связи с этим по мере увеличения содержания цинка температуру горячей обработки снижают.

Условный предел текучести двойных латуней представлен на рис.6.4, а относительное удлинение как характеристика пластичности на рис.6.5.

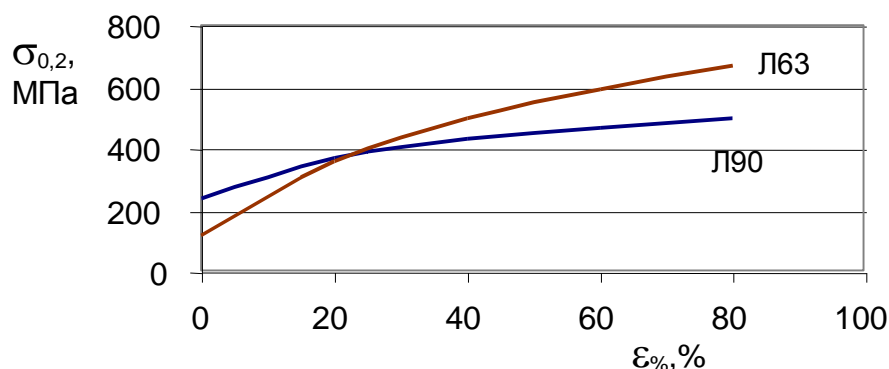


Рис.6.4. Предел текучести двойных латуней в холодном состоянии (кривые для Л68, Л70, Л80 практически совпадают с кривыми для Л63, поэтому здесь не изображены)

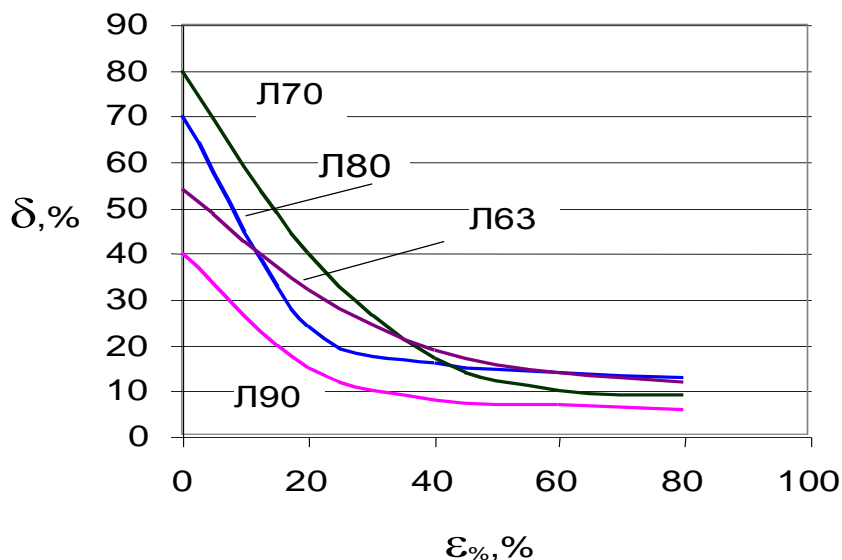


Рис.6.5. Относительное удлинение двойных латуней в холодном состоянии

Можно отметить, что в соответствии с данными В.И.Зюзина, А.В.Третьякова ход кривых предела текучести для всех двойных латуней,

за исключением латуни Л90, практически совпадает (в отличие от графиков временного сопротивления).

Двойные латуни в состоянии отжига являются очень пластичными материалами, их относительное удлинение находится в пределах 40...80%. Это позволяет подвергать их значительной холодной деформации. Наиболее высокое значение относительного удлинения для металла в отожженном состоянии достигается для латуни Л70, но этот же тип латуни наиболее быстро теряет пластичность по мере нагартовки. Наименее пластична в состоянии отжига латунь Л63, но она наиболее долго сохраняет пластичность по мере приложения холодной деформации.

Коэффициенты уравнений регрессии для определения механических свойств двойных латуней представлены в табл.6.8.

Таблица 6.8

Коэффициенты уравнений регрессии для определения механических свойств двойных латуней [2]

Марка	$a$ , МПа	$b$ , МПа	$c$	$d$ , МПа	$e$ , МПа	$f$	$g$	$h$	$k$	$l$	$m$	$N$
Л96	-	-	-	275	14	0,68	450	81	0,56	-	-	-
Л90	230	29	0,52	310	13	0,65	970	26	0,72	1,538	-1,92	1,2
Л80	100	30	0,70	290	13	0,83	-	-	-	-	-	-
Л75	-	-	-	300	13	0,79	-	-	-	1,681	-2,97	2,3
Л70	120	20	0,78	325	5,7	0,98	740	78	0,62	-	-	-
Л68	120	36	0,62	325	11	0,80	700	68	0,72	1,845	-1,35	-0,41
Л63	150	31	0,65	360	6	0,94	1000	38	0,82	1,74	1,34	0,56

Примечание.  $\sigma_{0,2} = a + b\varepsilon_{\%}^c$ ;  $\sigma_{\varepsilon} = d + e\varepsilon_{\%}^f$ ;  $HB = g + h\varepsilon_{\%}^k$ , МПа,  
 $\lg \delta = l + m\varepsilon_{\%} + n\varepsilon_{\%}^2$

Для зарубежных марок латуней данные представлены в табл.6.9.

Таблица 6.9

Коэффициенты уравнений регрессии для определения сопротивления деформации двойных латуней  $\sigma_s = a + b\varepsilon^c$  [16]

Марка, обработка	$a$ , МПа	$b$ , МПа	$c$	Границы $\varepsilon$	Скорость деформации, $c^{-1}$
1	2	3	4	5	6
CuZn4	269,8	230,5	0,613	0-1,2	0,001
CuZn10	284,5	287,1	0,447	0-1,2	0,001
CuZn15	227,6	316,3	0,686	0-1,0	0,005

1	2	3	4	5	6
CuZn20	98,1	53,7	0,650	0-0,9	-
CuZn25	294,3	337,5	0,712	0-1,2	-
CuZn30	208,0	801,7	0,964	0-0,3	0,005
CuZn30	208,0	470,5	0,539	0,3-1,0	0,005
CuZn37	147,2	450,3	0,585	0-1,6	-
CuZn40	255,1	665,5	0,828	0-0,8	0,003

Кривые упрочнения для двойных латуней в холодном и горячем состоянии приведены на рис.6.6-6.7.

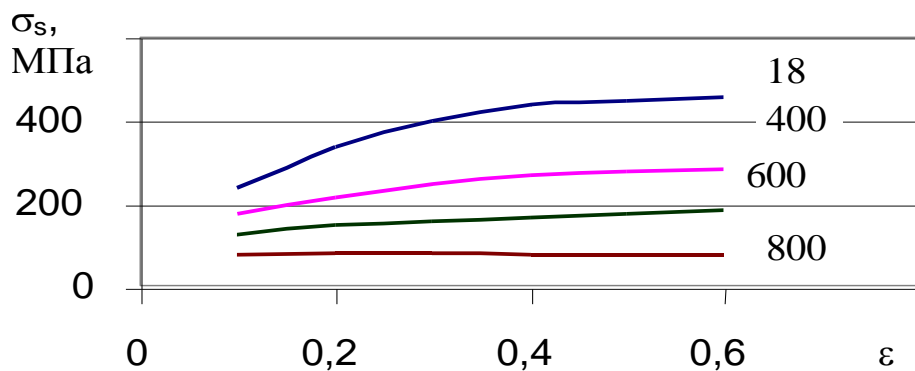


Рис.6.6. Сопротивление деформации латуни Л90 при повышенных температурах и скорости деформации  $2,5 \text{ с}^{-1}$

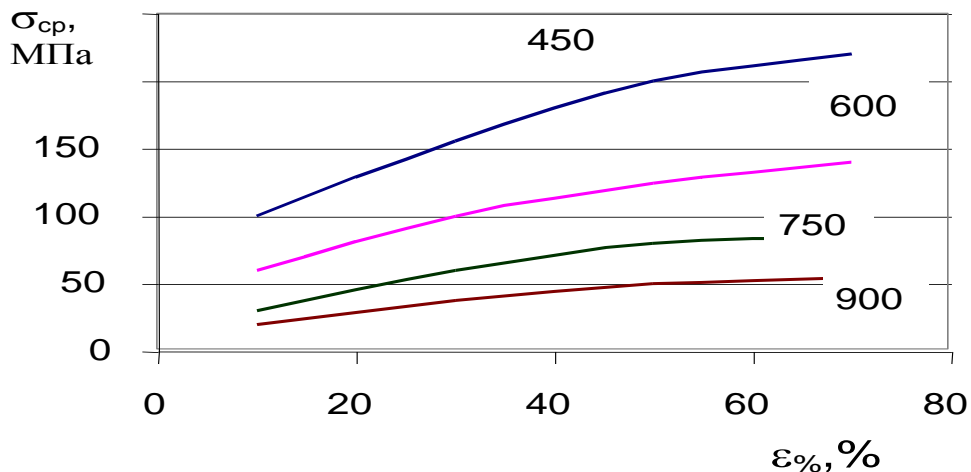


Рис.6.7. Кривые упрочнения латуни Л70 при скорости деформации  $6 \text{ с}^{-1}$  (числа при кривых – температура в градусах Цельсия)

По мере нагартовки сопротивление деформации латуней увеличивается, причем при пониженных температурах прирост этого

напряжения может составлять значительную величину (до 400...500%), поэтому неправильная оценка степени деформации может привести к большой ошибке в определении энергосиловых параметров процессов обработки металлов давлением.

Как отмечается в [9], латунь Л70 проявляет самые высокие прочностные свойства из ряда двойных латуней марок Л63...Л96 (рис.6.8). При одинаковых температурах горячей деформации самые низкие значения сопротивления деформации обнаружены для латуни Л63. Зависимость влияния содержания цинка на сопротивление деформации латуней в горячем состоянии имеет максимум при содержании цинка около 30%, что соответствует латуни Л70. Латунь с большим содержанием цинка становятся более мягкими при нагреве за счет приближения гомологической температуры к температуре плавления сплава (рис.6.8). Для некоторых марок двойных латуней и латуни ЛС59-1 построены диаграммы пластичности в функции показателя напряженного состояния и параметра Лоде (рис.6.9,6.10).

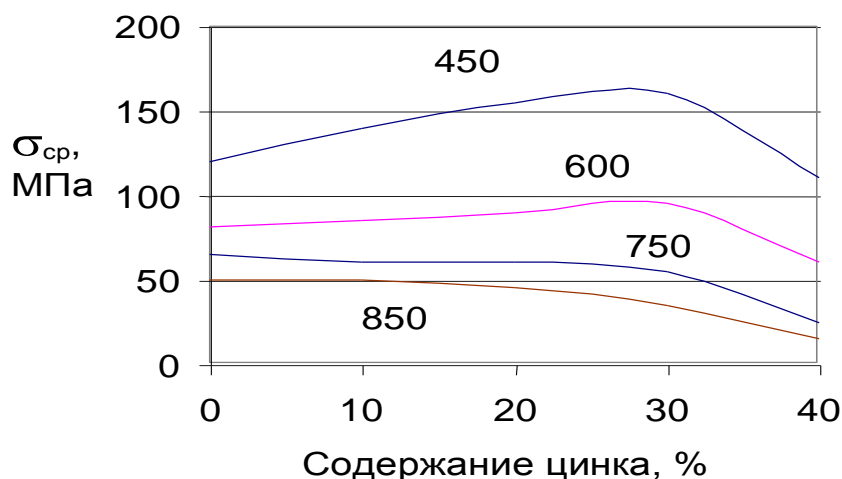


Рис.6.8. Зависимость среднего сопротивления деформации от содержания цинка в двойных латунях при  $\epsilon=0,4$ ;  $\xi= 1,8с^{-1}$ , числа при графиках – температура в градусах Цельсия

Использование этих данных позволяет прогнозировать возможность разрушения металла в том или ином процессе деформации. Как видно из диаграмм, графики некоторых функций пересекаются. Латунь ЛО70-1 проявляет более высокие пластические характеристики при жестких схемах напряженного состояния, а латунь Л63 - при мягких схемах. Для латуни ЛС59-1 влияние схемы нагружения малосущественно.

Если рассмотреть пластичность только двойных латуней (рис.6.10), то наиболее высокими пластическими свойствами обладает латунь Л96, а по мере увеличения содержания цинка пластичность сплавов уменьшается.

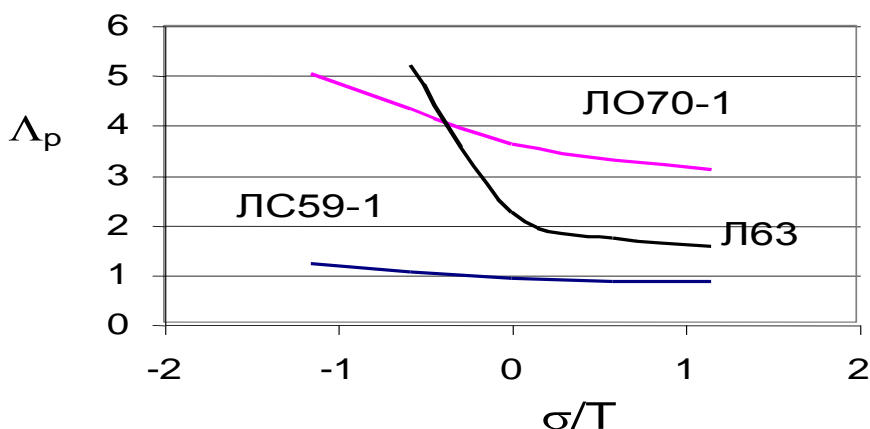


Рис.6.9. Диаграммы пластичности латуней в холодном состоянии[9], материал деформирован и подвергнут отжигу

При меньшем значении параметра Лоде пластичность сплавов также меньше (рис.6.10). Для математических построений удобнее использовать уравнения регрессии (табл.6.10).

Практика работы заводов показала, что при использовании традиционных способов обработки металлов и сплавов удобнее при проектировании процессов использовать показатели накопленной степени деформации  $\varepsilon_{\max}$  [15] или соответствующие им коэффициенты вытяжек  $\lambda_{\max}$  (табл.6.11).

Таблица 6.10

Коэффициенты уравнений регрессии для определения механических свойств двойных латуней [12]

Материал	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$g$ , МПа	$b$	$a_p$ , $\mu_{\sigma}=-1$	$b_p$ , $\mu_{\sigma}=-1$	$A_p$ , $\mu_{\sigma}=0$	$b_p$ , $\mu_{\sigma}=0$
Л96	68,2	275,0	0,513	5,830	-0,748	4,035	-0,935
Л68	104,4	380,9	0,501	3,296	-0,396	2,030	-0,328
Л63	112,1	414,9	0,415	2,679	-0,444	1,734	-0,354
ЛС59-1	157,2	503,8	0,540	1,306	-0,709	-	-

Примечание.  $\sigma = \sigma_{0,2} + g * \Lambda^b$ ;  $\Lambda_p = a_p * \exp\left(b_p * \frac{\sigma}{T}\right)$ ; состояние испытания: горячепрессованная труба.



Таблица 6.11

Максимально допустимые режимы деформации меди и двойных латуней[15]

Материал	Горячая деформация		Холодное волочение	
	$\varepsilon_{\max}$	$\lambda_{\max}$	$\varepsilon_{\max}$	$\lambda_{\max}$
М1	99,5	208	99,998	50000
Л80	99,64	278	99,23	1300
Л68	99,64	278	85	6,7
Л63	99,64	278	95	20

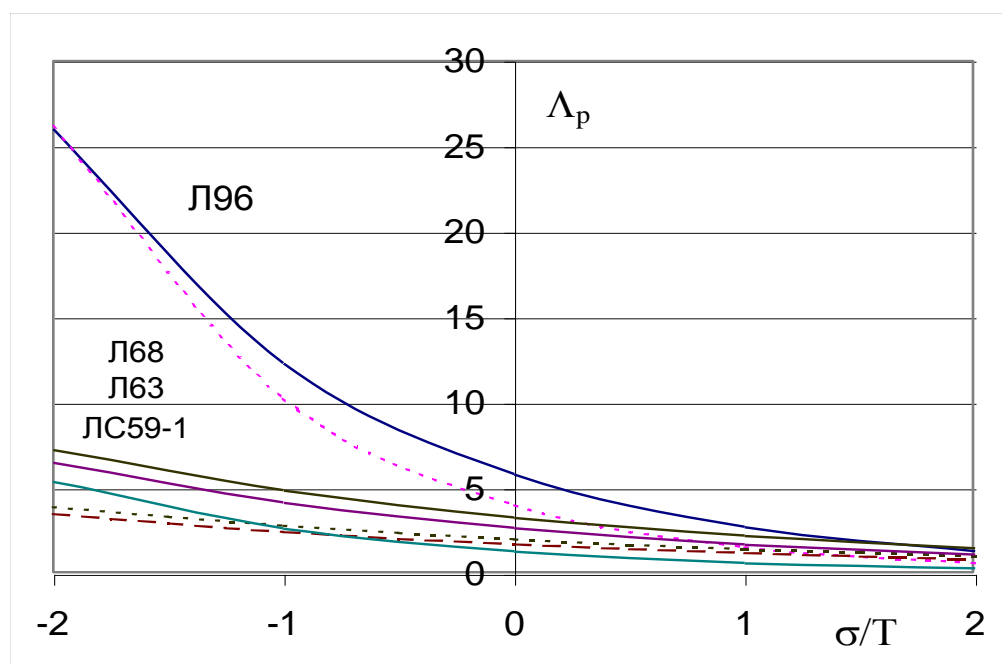


Рис.6.10. Диаграммы пластичности латуней, построены по уравнениям регрессии, предложенным в [12]:  
сплошные линии для параметра  $\mu_{\sigma}=1$ , штриховые линии для параметра  $\mu_{\sigma}=0$

#### 4. Многокомпонентные латуни

Основными легирующими элементами в многокомпонентных латунях (табл.6.12) являются алюминий, железо, кремний, марганец, мышьяк, никель, олово и свинец. Алюминий, никель, олово и кремний повышают прочность, коррозионную стойкость и улучшают антифрикционные характеристики. Железо, измельчая зерно, повышает температуру рекристаллизации и твердость латуни. Марганец повышает ее жаростойкость. Мышьяк предохраняет латуни от обесцинкования в

агрессивных пресных водах. Добавки свинца в латуни улучшают ее обработку резанием.

Особенность обработки двухфазных  $\alpha+\beta$  латуней состоит в том, что их не рекомендуется быстро охлаждать после горячей обработки давлением или после отжига. Быстрое охлаждение приводит к получению дополнительных выделений высокотемпературной фазы и образованию строчечной структуры, где фаза расположена вдоль направления вытяжки в форме сомкнутых цепей, что снижает пластичность.

Таблица 6.12

Физические свойства многокомпонентных латуней, обрабатываемых давлением[3]

Латунь	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$ (соли- дус)	$\rho,$ $\text{г/м}^3$	$\alpha \cdot 10^6,$ $\text{град}^{-1}$	$\lambda,$ $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}}$	$c,$ $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$	$\rho_1, * 10^{-6},$ $\text{Ом} \cdot \text{м}$	$E,$ $\text{ГПа}$
ЛА85-0,5	1020	8,6	19	109	377	-	-
ЛА77-2	930	8,6	18	113	-	0,075	100
ЛАЖ60-1-1	904	8,2	22	75,3	-	0,09	103
ЛАН59-3-2	892	8,4	19	83,7	-	0,078	106
ЛЖМц59- 1-1	885	8,5	22	100		0,093	104
ЛН65-5	960	8,66	18,2	58,6		0,14	110
ЛМц58-2	865	8,4	21	71,2	373	0,108	103
ЛМцА57-3- 1	870	8,1	20,1	67		0,121	102
ЛО90-1	995	8,75	18,4	126	-	0,054	103
ЛО70-1	890	8,68	19,7	117	-	0,072	104
ЛО62-1	885	8,5	19,3	109	-	0,078	103
ЛО60-1	885	8,5	21,4	100	377	0,078	103
ЛС63-3	885	8,5	20,5	117	377	0,069	96
ЛС74-3	965	8,7	17,5	121	-	0,068	103
ЛС64-2	910	8,5	20,3	117	-	0,070	103
ЛС60-1	900	8,5	20,8	105	377	0,065	103
ЛС59-1	900	8,5	20,6	105	377	0,066	103
ЛЖС58-1-1	895	8,4	20,4	109		0,070	104
ЛК80-3	890	8,2	17,0	88	402	0,2	102
ЛМш68- 0,05	937	8,6	19,1	113		0,075	99
ЛАМш77- 2-0,05	985	8,7	19,2	134	377	0,068	100
ЛОМш70- 1-0,05	949	8,6	19,0	117	-	0,071	102
ЛАНКМц7 5-2-2,5-0,5- 0,5	949	8,6	19,0	117	-	0,071	102

Коэффициенты уравнений регрессии для определения механических свойств отечественных латуней представлены в табл.6.13.

Таблица 6.13

Коэффициенты уравнений регрессии для определения механических свойств многокомпонентных латуней [2]

Марка	<i>a</i> , МПа	<i>b</i> , МПа	<i>c</i>	<i>d</i> , МПа	<i>e</i> , МПа	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>
ЛА77-2	-	-	-	340	6,4	1	810	83	0,62	1,796	-1,63	-0,6
ЛАЖ60-1-1	-	-	-	480	6	0,98	1050	70	0,61	1,681	-2,02	-0,90
ЛН65-5	285	44	0,53	470	8,5	0,85	-	-	-	1,644	-1,69	-2,1
ЛЖМц59-1-1	-	-	-	465	5,1	1	1060	19	0,85	1,663	-1,85	-0,98
ЛМцА57-3-1	-	-	-	550	12	0,76	-	-	-	1,477	-3,23	-0,5
ЛО90-1	-	-	-	235	5,9	1	480	113	0,54	-	-	-
ЛО70-1	-	-	-	420	11,6	0,84	-	-	-	-	-	-
ЛО63-1	200	76	0,43	425	27	0,60	-	-	-	-	-	-
ЛО60-1	200	15	0,85	430	5,1	1,03	-	-	-	-	-	-
ЛС63-3	175	19	0,73	310	8,7	0,91	-	-	-	1,708	-1,22	-1,1
ЛС60-1	150	56	0,51	360	1	0,51	-	-	-	1,708	-1,73	-0,9
ЛС59-1	175	70	0,37	385	5,3	1	-	-	-	-	-	-
ЛК80-3	325	5,9	0,98	-	-	-	700	182	0,48	-	-	-

Примечание.  $\sigma_{0,2} = a + b\varepsilon_{\%}^c$ ;  $\sigma_{\sigma} = d + e\varepsilon_{\%}^f$ ;  $HB = g + h\varepsilon_{\%}^k$ , МПа  
 $\lg \delta = l + m\varepsilon_{\%} + n\varepsilon_{\%}^2$

Коэффициенты уравнений регрессии для определения механических свойств зарубежных латуней представлены в табл.6.14.

Таблица 6.14

Коэффициенты уравнений регрессии для определения сопротивления деформации сложных латуней зарубежных марок,  $\sigma_s = a + b\varepsilon^c$  [16]

Состав	<i>a</i> , МПа	<i>b</i> , МПа	<i>c</i>	Границы $\varepsilon$	Скорость деформации, с <sup>-1</sup>
CuZn39Pb	303,1	614,7	0,988	0-0,55	0,003
CuZn39Pb	303,1	451,5	0,552	0,55-0,8	0,003
CuZn40Pb2	314,9	1070	1,103	0-0,35	0,005
CuZn40Pb2	314,9	480,1	0,361	0,35-1,0	0,005
CuZn39Ni5Mn2	294,3	604,8	0,398	0-1,8	0,001
CuZn31Si	311,0	520,5	0,629	0-1,0	0,005
CuZn21Al2	333,5	396,3	0,903	0-1,2	-
CuZn29Al	233,5	809,6	0,799	0-0,6	0,005
CuZn35Al1Nb	187,4	757,5	0,778	0-0,8	0,003
CuZn40Al1Fe	461,9	343,4	0,884	0-1,2	-

В зарубежной практике принято оценивать сопротивление деформации в горячем состоянии латуней как общего класса материалов с одними и теми же термомеханическими коэффициентами, характеризующими влияние температуры, степени и скорости деформации. Различия устанавливают только на уровне базового значения сопротивления деформации  $\sigma_{s0}$  (табл.6.15).

Таблица 6.15

Сопротивление деформации  $\sigma_s = A_1 A_2 A_3 e^{-m_1 t} \varepsilon^{m_2} \xi^{m_3} \sigma_{s0}$  латуней зарубежных марок в горячем состоянии [16]

Материал	$A_1$	$m_1$	$A_2$	$m_2$	$A_3$	$m_3$	$\sigma_{s0}$ , МПа
CuZn42	44,6	0,00547	1,039	0,017	0,70	0,149	39,2
CuZn40	44,6	0,00547	1,039	0,017	0,70	0,149	54,5
CuZn37	44,6	0,00547	1,039	0,017	0,70	0,149	87,2
CuZn28	44,6	0,00547	1,039	0,017	0,70	0,149	97,0
CuZn10	44,6	0,00547	1,039	0,017	0,70	0,149	116,1
CuZn28Sn	44,6	0,00547	1,039	0,017	0,70	0,149	141,3
CuZn20Al	44,6	0,00547	1,039	0,017	0,70	0,149	160,2
CuZn38Pb1	44,6	0,00547	1,039	0,017	0,70	0,149	81,4
CuZn39Sn	44,6	0,00547	1,039	0,017	0,70	0,149	42,6

Добавки третьего компонента значительно изменяют структуру латуней, сдвигая границы фазовых превращений. Сдвиг фаз в системе медь-цинк, происходящий под влиянием третьего компонента, определяется по следующим эмпирическим формулам, установленным Гийе:

$$A' = \frac{100A}{100 + D(k-1)}; \quad D = \frac{100(A - A')}{A'(k-1)}; \quad K = 1 + \frac{100(A - A')}{A'D},$$

где  $A'$  – кажущееся содержание меди;

$D$  – количество третьего компонента;

$K$  – коэффициент эквивалентности, для кремния 12, алюминия 6, олова 2, свинца 1, железа 0,9, марганца 0,5, никеля -1,4.

Как это видно по приведенному списку, наибольшее влияние на сдвиг фазовых превращений в латунях имеют кремний и алюминий. Добавка перечисленных компонентов (кроме никеля) сдвигает область существования  $\beta$ -фазы в сторону меди.

Возможность фазовых превращений в сложных латунях приводит к наличию перегибов в зависимостях механических свойств от температуры.

Сами эти зависимости становятся немонотонными и более сложными по характеру.

Свинцовые латуни обладают низким коэффициентом трения и хорошо обрабатываются резанием, благодаря чему применяются в качестве заготовок для вытачивания деталей на станках-автоматах. В отличие от  $\alpha$ -латуней свинец в  $\alpha+\beta$  латунях не является вредной примесью, так как в результате превращения  $\beta \rightarrow \alpha$  в процессе охлаждения он располагается не по границам зерен, а внутри кристаллов  $\alpha$ -фазы, образующихся на включениях свинца, являющихся зародышами новых зерен. Кривые упрочнения латуни ЛС59-1 в горячем состоянии представлены на рис.6.11.

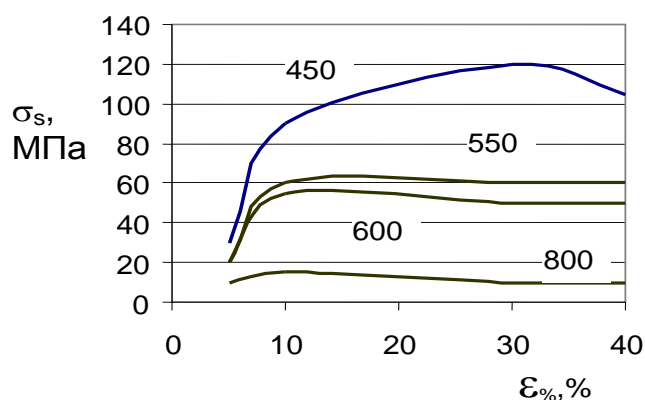


Рис.6.11. Кривые упрочнения латуни ЛС59-1 (числа при кривых – температура в градусах Цельсия)

Для многокомпонентных латуней характерно наличие зоны красноломкости на зависимостях относительного удлинения от температуры (рис.6.12).

Наличие зоны хрупкости при температурах 300-600°C в этих латунях объясняется влиянием примесей (свинца, сурьмы и висмута), имеющих малые пределы растворимости в меди при этих температурах. С повышением температуры растворимость возрастает, и металл приобретает более высокие пластические свойства.

Латуни, содержащие свинец, либо в виде лигатуры, либо примесей, обладают пониженной пластичностью в горячем состоянии. Для латуни ЛС74-1 в литом состоянии относительное сужение шейки при температурах выше 500°C становится равным нулю(рис.6.13). Максимально допустимые режимы деформации сложных латуней представлены в табл.6.16.

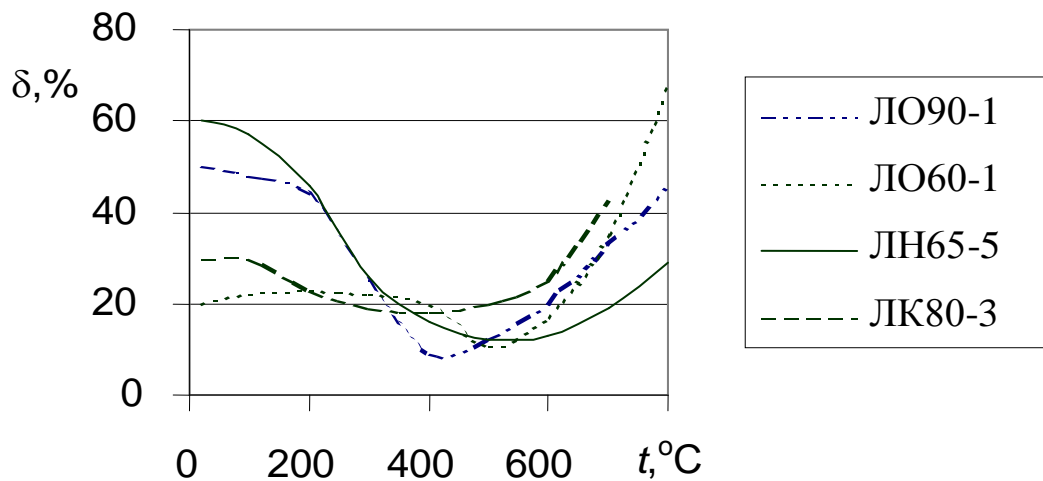


Рис.6.12. Относительное удлинение трехкомпонентных латуней при различных температурах

Таблица 6.16  
Максимально допустимые режимы деформации сложных латуней[15]

Материал	Горячая деформация		Холодное волочение	
	$\epsilon_{\%max}$	$\lambda_{max}$	$\epsilon_{\%max}$	$\lambda_{max}$
ЛА85-0,5	99,64	278	90	10
ЛО60-1	99,82	555	76	4,2
ЛС63-3	99,41	170	64	2,8
ЛС59-1	99,89	910	67	3

Проявление хрупкости характерно не только для высокотемпературного состояния сложных и двойных латуней.

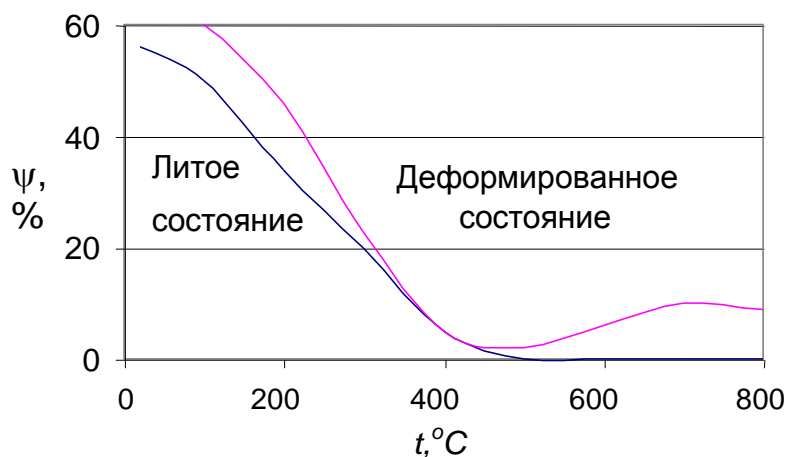


Рис.6.13. Зависимость относительного сужения от температуры для латуни ЛС74-3 в литом и деформированном состоянии

В холодном состоянии латуни склонны к *сезонному* или *коррозионному растрескиванию* и *обесцинкованию* (рис.6.14). При *обесцинковании* происходит растворение латуни в водных средах. В дальнейшем же медь в результате обменной реакции с латунью осаждается из раствора в виде губчатой медной пленки. Эта пленка, создавая гальваническую пару с латунью, ускоряет коррозионный процесс.

Быстрее обесцинковываются латуни с большим содержанием цинка (двухфазные), так как преимущественно растворяется  $\beta$ -фаза, являющаяся анодом, а  $\alpha$ -фаза является катодом. Процесс обесцинкования резко ускоряется с повышением температуры и увеличением скорости движения воды.

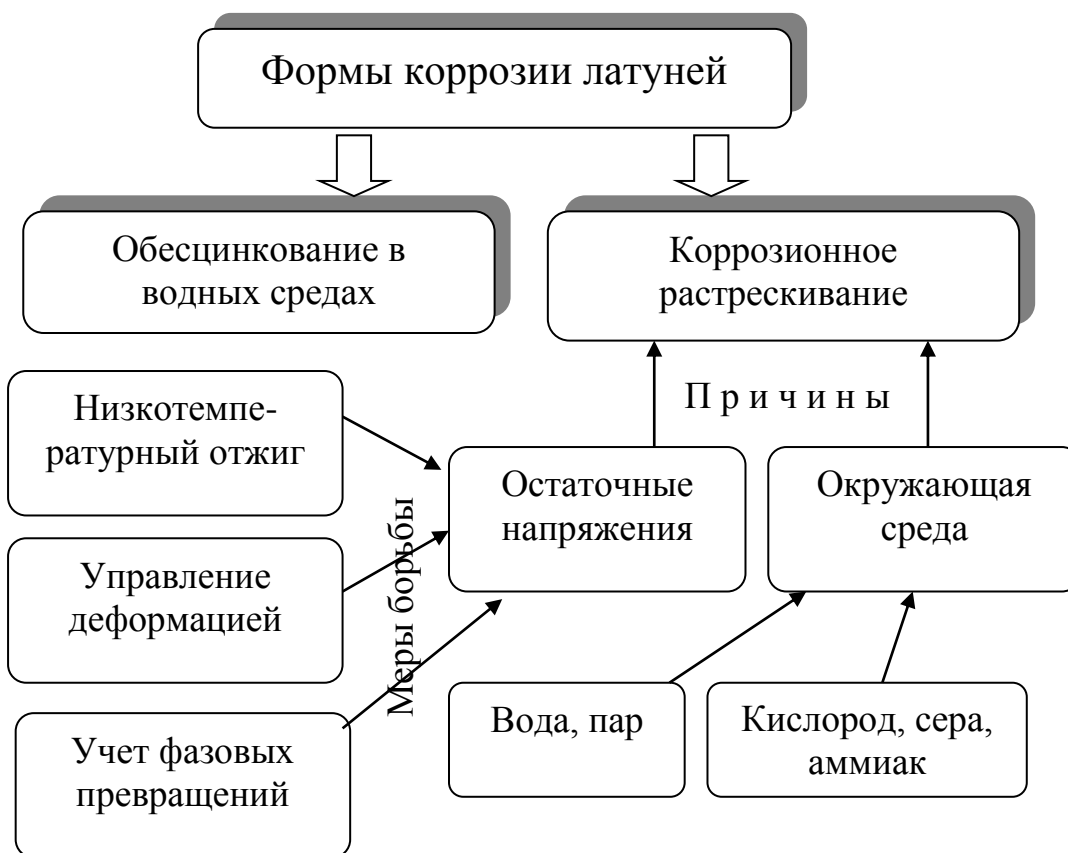


Рис.6.14. Схема воздействий на металл, приводящих к различным формам коррозии латуней

Основные факторы, вызывающие *коррозионное (сезонное) растрескивание латуней* - растягивающие остаточные напряжения в металле и неблагоприятная коррозионная среда, содержащая влагу и кислород, следы аммиака, сернистого газа и ртутные соли. Это явление называют также сезонной болезнью, поскольку оно чаще всего происходит

весной и осенью, когда влажность воздуха и содержание в нем аммиака повышены.

Остаточные напряжения являются внутренними по отношению к заготовке. Они взаимно уравниваются внутри тела без участия внешних нагрузок. Различают *остаточные напряжения первого рода (или зональные напряжения)*[14], они уравновешены в объеме всего тела или отдельных его частей. Остаточные напряжения второго рода уравновешены в объеме отдельных кристаллитов или их частей.

В полуфабрикатах из латуни могут присутствовать как напряжения первого рода, так и напряжения второго рода. Напряжения первого рода обусловлены, как правило, неравномерностью распределения деформаций во время обработки металлов давлением, а также неравномерным охлаждением полуфабрикатов после термической обработки. Напряжения второго рода обусловлены, как правило, фазовыми и структурными превращениями в металле. В наружных слоях заготовок желательнее создавать сжимающие остаточные напряжения. Они уменьшают опасность растрескивания.

Склонность латуней к коррозионному растрескиванию сильно возрастает с повышением содержания цинка и с увеличением до известного предела растягивающих напряжений. Латуни, содержащие менее 7% цинка, мало чувствительны к коррозионному растрескиванию. Наиболее чувствительны к коррозионному растрескиванию латуни марок Л63, Л68.

Во избежание растрескивания латуни подвергают низкотемпературному отжигу при температуре около 270°C. Однако отжиг часто не гарантирует полного снятия напряжений, поэтому актуальны все производственные мероприятия, направленные на снижение уровня остаточных напряжений в металле. Остаточные напряжения в двойных латунях, исключая марку Л63, создаются за счет неравномерности деформации при холодной обработке (прокатка на ХПТ, волочение). Латунь Л63, как двухфазная, может получить дополнительный уровень остаточных напряжений от фазовых превращений в самом металле при нагревах и охлаждениях.

Многокомпонентные латуни отличаются, как правило, присутствием двух фаз, поэтому также склонны к образованию остаточных напряжений и коррозионному растрескиванию в результате прохождения фазовых превращений.



## Вопросы для самоконтроля

1. На какие группы подразделяются латуни?
2. Что такое томпак?
3. Что такое полутомпак?
4. Какие латуни отнесены к группе специальных?
5. Что такое двойные латуни?
6. Какими свойствами обладают литейные латуни?
7. Какими свойствами обладают деформируемые латуни?
8. Какие фазы обнаружены в латунях?
9. Какие элементы улучшают антифрикционные свойства многокомпонентных латуней?
10. Какой тип решетки характерен для  $\alpha$ -латуней?
11. При каких условиях в латунях появляется  $\beta$ -фаза?
12. Какие латуни отнесены к патронным?
13. Что такое желтые и красные латуни?
14. Какой тип латуни больше подходит для использования в теплообменных аппаратах?
15. Какой тип латуни предпочтительнее для применения в качестве материал крепежных деталей?
16. Какая группа латуней хорошо обрабатывается резанием?
17. Как зависит прочность латуней в холодном состоянии от содержания цинка?
18. Какой материал более упругий – латунь или сталь?
19. Что определяют формулы Гийе?
20. Как влияет на сдвиг границы фазовых превращений кремний и никель?
21. Что такое коррозионное растрескивание?
22. Что такое обесцинкование?
23. Какие условия провоцируют сезонное растрескивание?
24. Каков характер действия остаточных напряжений на свойства латуней?
25. Какими способами управляют уровнем остаточных напряжений в латунях?
26. В чем заключаются особенности обработки двухфазных латуней?

## 5. МЕДНОНИКЕЛЕВЫЕ СПЛАВЫ

### 6. Характеристика сплавов

Медноникелевые сплавы получают легированием меди другими элементами, причем в большинстве случаев, основным легирующим элементом является никель.

Никель существенно повышает коррозионную стойкость и механические свойства, а также позволяет получить особые физические свойства, например термоэлектрические. Условно делят медноникелевые сплавы на конструкционные и электротехнические (рис.7.1).

В первую группу входят коррозионно-стойкие и высокопрочные сплавы типа мельхиора (система Cu-Ni и возможные добавки), нейзильбера (система Cu-Ni-Zn и возможные добавки), и куниали (система Cu-Ni-Al и возможные добавки). В качестве возможных добавок применяют марганец, алюминий, цинк, железо, кобальт, свинец, хром, церий, магний, литий и др.

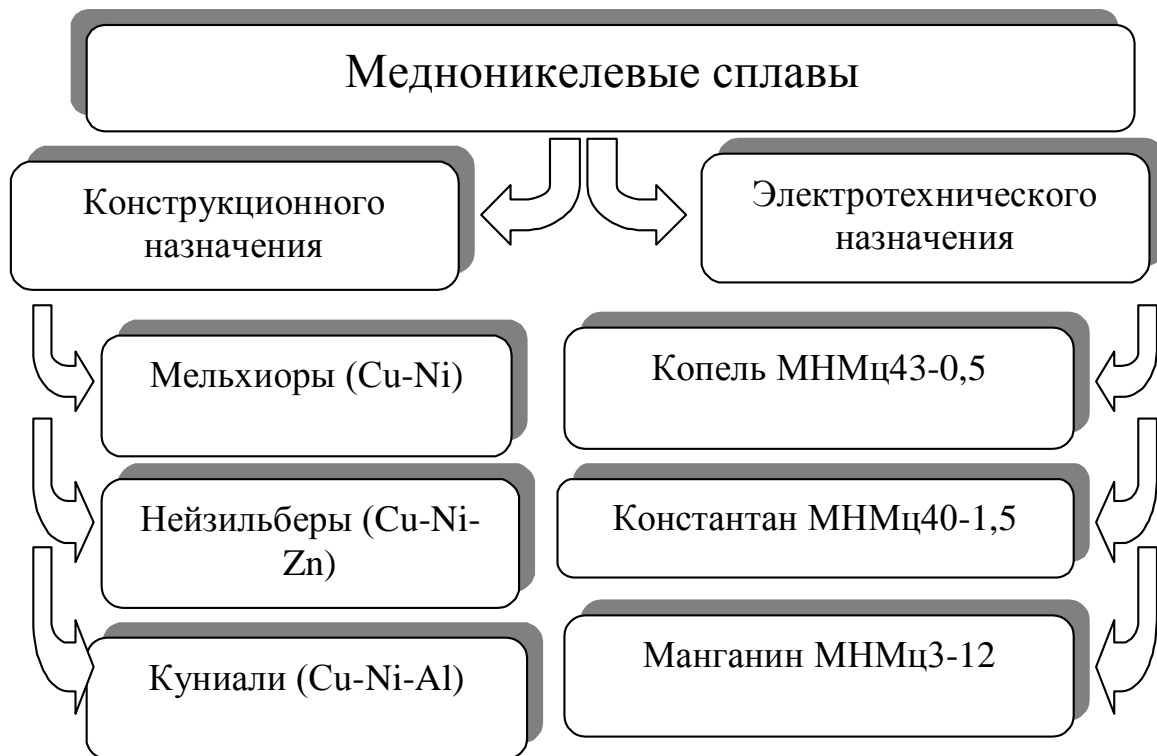


Рис.7.1. Классификация медноникелевых сплавов

Мельхиоры имеют высокую коррозионную стойкость в различных средах – в пресной и морской воде, в органических кислотах, растворах

солей. Добавки железа и марганца увеличивают стойкость против ударной коррозии.

В нейзильберах легирование цинком приводит к повышению механических свойств, приданию красивого цвета «под серебро» и удешевлению сплава. Нейзильберы отличаются высокой коррозионной стойкостью: не окисляются на воздухе, сравнительно устойчивы в органических кислотах и растворах солей. Нейзильберы обрабатываются давлением в холодном состоянии, а также в горячем (за исключением свинцового нейзильбера).

Куниали обладают высокими механическими и упругими свойствами, коррозионной стойкостью, устойчивостью при низких температурах. Обрабатываются давлением в горячем состоянии. Являются дисперсионно-твердеющими сплавами.

Группу сплавов электротехнического назначения образуют копель, константан и манганин. Копель является сплавом для изготовления термопар и используется в этом качестве в сочетании с никелевыми сплавами. Сплавы электросопротивления - манганин и константан обладают малыми температурными коэффициентами электрического сопротивления (около 0,00002 против 0,0043 для меди) и применяются для изготовления прецизионных приборов. Назначение и возможные области применения медноникелевых сплавов отражены в табл.7.1, а физические свойства этих сплавов - в табл.7.2.

Таблица 7.1

Назначение и области применения медноникелевых сплавов

Марка	Область применения
1	2
Мельхиор МНЖМц30-1-1, МН19	Теплообменные аппараты в морском судостроении (конденсаторные трубы и термостаты), медицинский инструмент, детали точной механики и химической промышленности, штампованные детали
Нейзильбер МНЦ15-20	Детали приборов в электротехнике, радиотехнике, медицине, посуда, точная механика, ювелирное дело
Свинцовый нейзильбер МНЦС16-29-1,8	Детали часовой промышленности и приборов,
Куниаль А МНА 13-3	Изделия повышенной прочности
Куниаль Б МНА 6-1,5	Пружины ответственного назначения, изделия электротехнической промышленности

Окончание табл.7.1

1	2
МН95-5	Изделия машиностроения, оборонная промышленность
МНЖ5-1	Конденсаторные трубы, сварные конструкции в судостроении
МН10	То же
Копель МНМц43-0,5	Сплав для изготовления термомпар создает термоЭДС в сочетании с никелевыми сплавами
Манганин МНМц3-12	Сплав с малым температурным коэффициентом электросопротивления, изготовление проволочных резисторов
Константан МНМц40-1,5	То же

Таблица 7.2

Физические свойства медноникелевых сплавов

Сплав	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$ ликвидус/ солидус	$\rho,$ т/м <sup>3</sup>	$\alpha \cdot 10^6,$ град <sup>-1</sup>	$\lambda_t,$ Вт $\frac{\text{м} \cdot \text{град}}$	$c_m,$ $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$	$\rho_1, * 10^{-6},$ Ом*м	$E,$ ГПа
МНЖМц30-1-1 МН19 (Мельхиоры)	1230/1170	8,9	16	37,3	-	0,42	142
	1190/1130	8,9	16	38,5	-	0,287	137
Нейзильбер МНЦ15-20	1080/-	8,76	16,6	27,2-35,6	398	0,256	137
Свинцовый нейзильбер МНЦ16-29- 1,8	1120/965	8,62	-	-	-	-	124
Куниаль А МНА 13-3	1183/1120	8,5	-	-	-	-	-
Куниаль Б МНА 6-1,5	-/1145	8,7	-	-	-	-	-
МН95-5	1120/1086	8,7	16,4	100,5	377	0,08	-
МНЖ5-1	1120/-	8,7	16,4	129,8	-	0,07	-
Константан МНМц40-1,5	1260	8,9	15,3	-	-	-	166
Манганин МНМц3-12	1010	8,4	16,0	-	-	-	126
Копель МНМц43-0,5	1290	8,89	14,0	-	-	-	95

Никель в медноникелевых сплавах играет роль элемента, повышающего коррозионную стойкость материалов и их жаропрочность. Но по отношению к никелю другие элементы играют иную роль, чем по отношению к меди.

Никель, в отличие от меди, взаимодействует с углеродом, образуя эвтектику при содержании углерода 2,22% с температурой плавления 1318°C. Растворимость углерода в никеле в твердом состоянии при температуре эвтектики достигает 0,65%. Никель с повышенным содержанием углерода является хрупким материалом, так как при кристаллизации углерод выделяется по границам зерен в форме графита. В медноникелевых сплавах растворимость углерода в твердом состоянии незначительна. В мельхиоре, содержащем 30% никеля, растворимость углерода составляет 0,045%, сам углерод является вредной примесью, нарушающей спайность зерен. Кроме того, углерод способствует быстрой коррозии изделий. В чистом никеле присутствие углерода играет положительную роль.

## 7. Механические свойства

Коэффициенты уравнений регрессии для определения механических свойств отечественных медноникелевых сплавов в холодном состоянии представлены в табл.7.3.

Таблица 7.3

Коэффициенты уравнений регрессии для определения механических свойств медноникелевых сплавов [2]

	<i>a</i> , МПа	<i>b</i> , МПа	<i>c</i>	<i>d</i> , МПа	<i>e</i> , МПа	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>
МНЖМц 30-1-1	-	-	-	420	8,4	0,84	1390	21	0,8	1,51	-2,52	1,5
МН19	130	93	0,34	340	7,2	0,8	840	128	0,45	-	-	-
МНА13-3	-	-	-	725	27	0,54	-	-	-	-	-	-

Примечание.  $\sigma_{0,2} = a + b\varepsilon_{\%}^c$ ;  $\sigma_{\varepsilon} = d + e\varepsilon_{\%}^f$ ;  $HV = g + h\varepsilon_{\%}^k$ , МПа;  
 $\lg \delta = l + m\varepsilon_{\%} + n\varepsilon_{\%}^2$ .

Коэффициенты уравнений регрессии для сопротивления деформации медноникелевых сплавов зарубежных марок в холодном состоянии представлены в табл.7.4.

Таблица 7.4

Сопrotивление деформации медноникелевых сплавов зарубежных марок,  $\sigma_s = a + b\varepsilon^c$  [16]

Состав	$a$ , МПа	$b$ , МПа	$c$	Границы $\varepsilon$	Скорость деформации, $c^{-1}$
CuNi18Zn20	202,1	842,1	0,893	0-0,4	0,005
CuNi18Zn19Pb	170,7	714,4	0,831	0-0,55	0,003
CuNi18Zn19Pb	170,7	467,1	0,876	0,55-0,75	0,003
CuNi12Zn24	152,1	511,4	0,270	0,6-1,4	0,005
CuNi0,6	274,7	133,5	0,766	0-1,6	-
CuNi2	152,1	334,1	0,568	0-0,8	0,005
CuNi2Si	157,0	636,5	0,830	0-0,3	0,003
CuNi30Fe	298,2	2220	1,276	0-0,15	0,003
CuNi30Fe	298,2	552,3	0,435	0,17-0,7	0,003
CuNi20Mn20	215,8	795,5	0,449	0-1,7	0,001
CuNi44Mn	392,4	237,4	0,552	0-1,6	0,003
CuNi40Mn1,5	441,5	307,1	0,764	0-1,5	-
CuNi20Fe	127,6	372,8	0,305	0-1,2	-
CuNi13Al3	706,4	249,2	0,487	0-1,6	-
CuMn12Ni3	539,6	365,0	0,657	0-0,9	-

Кривые упрочнения сплавов в горячем состоянии приведены на рис.7.2-7.4.

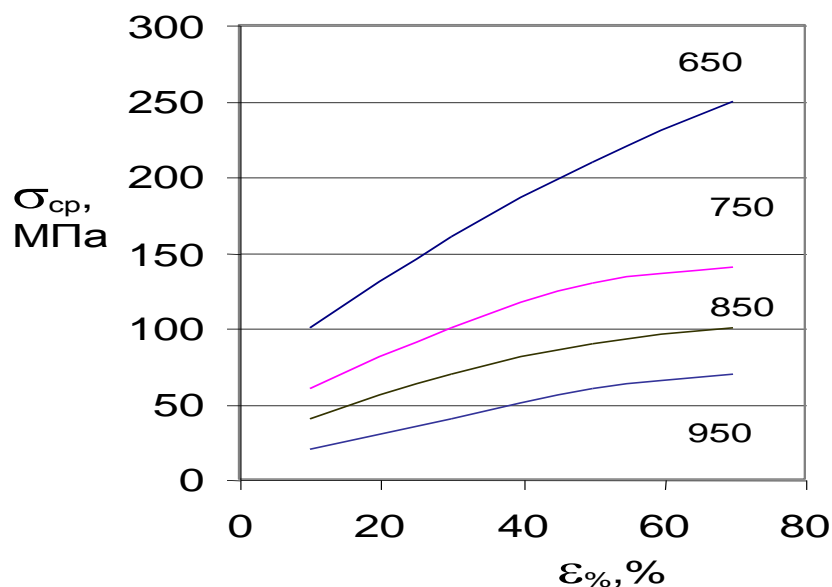


Рис.7.2. Кривые упрочнения нейзильбера МНЦ15-20 при скорости деформации  $1,8 c^{-1}$ , числа при графиках — температура в градусах Цельсия[6]

Одним из наиболее распространенных отечественных марок мельхиора является МН19. Анализ графиков показывает, что характер кривой упрочнения нейзильбера и мельхиоров в горячем состоянии близок к линейной зависимости.

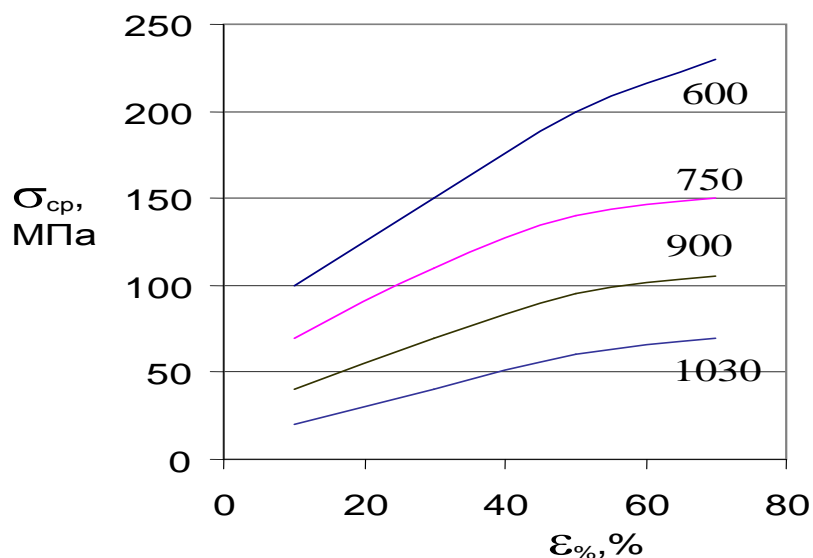


Рис.7.3. Кривые упрочнения мельхиора МН19 при скорости деформации  $1,8 \text{ с}^{-1}$ , числа при графиках – температура в градусах Цельсия [6]

Мельхиор проявляет высокие прочностные характеристики даже при нагреве до  $1000^\circ\text{C}$ . При этом сохраняется довольно сильное влияние степени деформации. Поэтому деформация мельхиора в горячем состоянии при высоких скоростях нагружения приводит к большим энергозатратам.

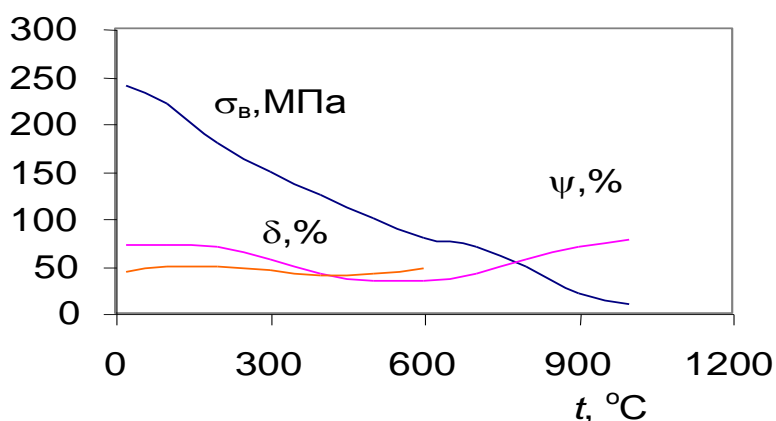


Рис.7.4. Механические свойства горячедеформированного сплава МН95-5 при повышенных температурах [6]

Аналогичный характер сопротивления деформации характерен и для нейзильбера. Разница в значениях сопротивления деформации может составлять двух трехкратную величину в зависимости от нагартовки материала.

В табл.7.5 отображено влияние температуры на механические свойства нейзильбера МНЦ15-20 в литом и гомогенизированном состоянии. Наиболее высокая пластичность сплава наблюдается при комнатной температуре. Можно отметить, что сплав проявляет очень низкие пластические характеристики в окрестностях температуры 600°С. Существенное снижение прочностных свойств наступает при нагреве выше 800°С.

Таблица 7.5

Влияние температуры на механические свойства нейзильбера МНЦ15-20 в литом и гомогенизированном состоянии [9]

$t, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{\text{в}}, \text{МПа}$	$\Psi, \%$	$\delta, \%$
20	280	57	50
200	260	48	50
400	160	27	22
500	120	10	7
600	105	7	4
700	70	21	12
800	35	22	20
900	20	24	20
1000	12	12	7

Как показали опыты по испытанию цилиндрических образцов при повышенных температурах, описанные в книге [3], при увеличении скорости деформации пластичность медноникелевых сплавов может быть значительно повышена (рис.7.5). По этим данным, с увеличением скорости деформации более чем в сто раз относительное сужение шейки для мельхиора МН19 монотонно возрастает от 29 до 70%.

По данным В.А.Головина [9], в функции температуры график характеристики пластичности имеет минимум как для статического, так и динамического способа нагружения. Эти данные показаны на рис.7.6 приведением к величине степени деформации сдвига до разрушения. Они противоречат данным источника [3], однако, возможно, здесь сказалась различная методика испытаний. Графики пластичности с минимумом наблюдаются при испытании на сжатие, а монотонные зависимости – для испытания на растяжение.



В связи с возможным проявлением красноломкости температурные интервалы горячей обработки давлением ограничивают снизу [9]. В табл.7.6 во втором столбце приведена температура нагрева слитков перед горячей прокаткой. Температуры, приведенные в круглых скобках, допустимы, но нежелательны, так как на верхнем пределе происходит интенсивное окисление сплавов, а на нижнем пределе - упрочнение и ухудшение качества проката в результате растрескивания и проявления

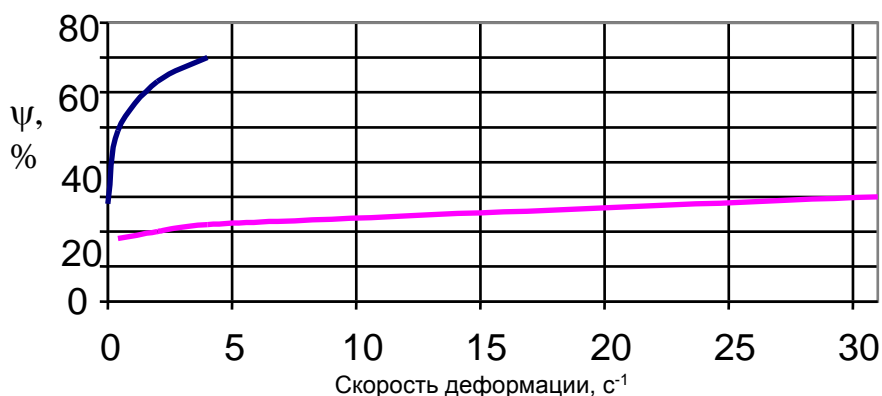


Рис.7.5. Зависимость относительного сужения от скорости деформации для мельхиора МН19 (верхняя кривая) и нейзильбера МНЦ15-20 (нижняя кривая) при 750°C [3]

других дефектов.

Сплавы этой группы перед горячей деформацией нагревают в слабоокислительной атмосфере. При нагреве медноникелевых сплавов в присутствии сернистых соединений в атмосфере печи сера диффундирует в поверхностные слои слитка и образует сульфид никеля. Это приводит к опасности растрескивания и появлению плен при горячей обработке.

Таблица 7.6

Интервалы горячей прокатки медноникелевых сплавов [9]

Сплав	$t_n$ , °C	$t_k$ , °C
МНМц40-1,5	1080-1130	1000(950)
МН19	980-1000(1030)	900(700)
МНЦ15-20	970(1000)	900(700)
МНА6-1,5	850-870(900)	700
МНМц3-12	820-850	-

Медноникелевые сплавы обрабатываются с большими степенями деформации как в режиме горячей обработки, так и в режиме холодной обработки(табл.7.7).

Таблица 7.7

Максимально допустимые режимы деформации медноникелевых сплавов[15]

Материал	Горячая деформация		Холодное волочение	
	$\varepsilon_{\max}$	$\lambda_{\max}$	$\varepsilon_{\max}$	$\lambda_{\max}$
МНМц40-1,5	99,51	202	99,5	200
МНМц43-0,5	99,51	202	98,5	66,7
МНМц3-12	99,51	202	98	50
МНЦ15-20	99,43	178	94,5	18
МН0,6	99,51	202	99,7	333

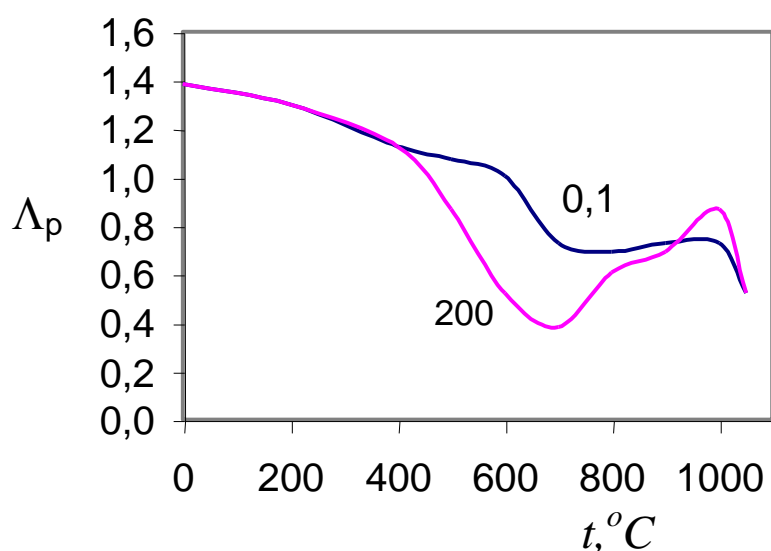


Рис.7.6. Зависимость степени деформации сдвига до разрушения при осадке мельхиора МН19[9] при различных скоростях деформации (числа при кривых,  $s^{-1}$ )

Как видно из приведенных выше данных, мельхиоры склонны к проявлению краснотомкости.

## Вопросы для самоконтроля

1. Какова классификация медноникелевых сплавов?
2. Какие химические элементы применяются для легирования медноникелевых сплавов?
3. Каково влияние углерода на никель в составе медноникелевых сплавов?
4. Какие медноникелевые сплавы обладают малыми температурными коэффициентами электрического сопротивления?
5. Каковы области применения медноникелевых сплавов?
6. Какими особенными свойствами обладают медноникелевые сплавы и какие элементы определяют эти свойства?
7. Каков цвет медноникелевых сплавов?
8. Почему сплавы меди, никеля и цинка получили название нейзильберов?
9. Какие марки медноникелевых сплавов применяются в электротехнике и в измерительной аппаратуре?
10. Каковы температуры горячей обработки медноникелевых сплавов?
11. Как влияет скорость деформации при горячей обработке медноникелевых сплавов на величину энергосиловых параметров?
12. В чем разница между мельхиорами и нейзильберами?
13. Проявляется ли свойство красноломкости при обработке медноникелевых сплавов?
14. Какова область применения копеля?
15. Возможна ли обработка мельхиоров при 1000°C?
16. Как влияет скорость деформации на пластические характеристики мельхиоров и нейзильберов в горячем состоянии?
17. Какие степени деформации и коэффициенты вытяжек допустимы при горячей и холодной обработке давлением медноникелевых сплавов?

## **8. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ В СФЕРЕ ПРОИЗВОДСТВА ДЕФОРМИРОВАННЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ**

### **4.5. Патентная классификация способов обработки в области производства полуфабрикатов из медных сплавов**

Ниже приведены классы Международной патентной классификации МПК (7-я редакция), относящиеся к производству полуфабрикатов из меди и медных сплавов.

Раздел С – ХИМИЯ; МЕТАЛЛУРГИЯ

C22 – Metallurgy (metallurgy of iron C21); alloys of black or colored metals; treatment of alloys or colored metals (methods or devices of general purpose for heat treatment of black or colored metals or alloys C21D; production of metals by electrolysis or electrorefining C25)

C22C – Alloys (silicon C06C 15/00; treatment of alloys C21D, C22F)

C22C 9/00 – Alloys based on copper

9/01 . with aluminum as the next major component

9/02 . with tin as the next major component

9/04 . with zinc as the next major component

9/05 . with manganese as the next major component

9/06 . with nickel or cobalt as the next major component

9/08 . with lead as the next major component

9/10 . with silicon as the next major component

Раздел В – РАЗЛИЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ.  
ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ. ФОРМОВАНИЕ

B21 - Mechanical treatment of metals without removal of chips; treatment of metals by pressure (cast production and powder metallurgy B22; cutting of metals B23D; treatment of metal by action of electric current of high concentration B23H; welding, brazing, cutting by flame B23K; combined and special methods of metal treatment B23P; stamping of sheet material in general B26F; change

физической структуры металлов С21D,С22F; электроформование С25D 1/00).

В21В - Прокатка металла (вспомогательные операции, связанные с обработкой металлов без снятия стружки В21, отнесены к В21С; гибка путем прокатки В21D; изготовление специальных изделий способом прокатки, например винтов, колес, подшипников, цилиндров, шаров В21Н; сварка давлением с помощью прокатных станков В23К 20/04)

*Примечание*

В данном подклассе используемые термины имеют следующие значения:

«прокатка»- такие процессы прокатки, при которых имеет место пластическая деформация металла;

«непрерывный процесс»- процесс прокатки на «прокатных станах», при котором подача заготовки к одной паре валков осуществляется до выхода ее из предыдущей пары [2].

В21С - Производство листового материала, проволоки, сортовой стали, труб и других профилей иначе, чем прокаткой; вспомогательные операции, применяемые при обработке металлов без снятия стружки.

В21D - Механическая обработка давлением листового, сортового, профильного материала или труб; перфорация (производство этих материалов В21В,В21С; обработка проволоки и изготовление изделий из нее В21F; режущие машины вообще В26; прессы вообще В30В).

Примечание 1. К данному подклассу отнесены способы резки и перфорирования листового металла или других заготовок.

2 Данный подкласс не включает обработку металлической фольги способами, подобными обработке бумаги, которые следует помещать в классы В26,В31.

В21F - Обработка проволоки и изготовление изделий из нее (прокатка металла В21В; волочение или экструдирование; вспомогательные операции, используемые в сочетании с обработкой металла без снятия стружки В21С; связывание изделий В65В 13/00).

В21G - Изготовление булавок, игл или гвоздей.

В21Н - Производство специальных изделий прокаткой или накаткой, например винтов, колес, колец, цилиндров, шаров (из листового металла В21D).

В21J - Ковка; штамповка; прессование; клепка; кузнечные горны (прокатка металла В21В; изготовление специальных изделий ковкой или прессованием В21К; плакирование или нанесение покрытий В23К; обработка или окончательная отделка поверхностей ковкой В23Р 9/04; уплотнение поверхности обдувкой с использованием частичек материала В24С 1/10; прессы общего назначения, прессы для уплотнения скрапа В30В; печи общего назначения F27).

B21K - Изготовление изделий ковкой или штамповкой, например подков, заклепок, болтов, колес (изготовление специальных изделий путем обработки листового металла без снятия стружки B21D; изготовление изделий из проволоки B21F; изготовление булавок, игл или гвоздей B21G; изготовление специальных изделий прокаткой B21H; устройства дляковки, прессования и клепки общего назначения B21J; изготовление цепей B21L; плакирование металлов B23K).

B22 - Литейное производство; порошковая металлургия материалов.

#### **4.6. Некоторые патенты из области обработки медных сплавов**

Таблица 8.1

Патенты из области обработки медных сплавов

Страна патентования	Номер патента, патентообладатель	Название	Индекс МПК	Дата приоритета или опубликования
1	2	3	4	5
США	US4736789 Kennecott Corporation (US)	Apparatus and method for continuous casting of metallic strands at exceptionally high speeds using an oscillating mold assembly	B22D 11/04	19.03.86
США	US3881965 Sumitomo Electric Industries, LTD (JP)	Wire product and method of manufacture	C22F 1/08	15.08.72
Великобритания	GB609900 London Electric Wire Comp(GB)	An improved method of treating precipitation-hardening copper alloys	C22C 9/00	10.07.48
США	US4290823 Metallurgie Hoboken-Overpelt (BE)	Manufacture of copper wire rod	C22F 1/08	25.10.75

Продолжение табл.8.1

1	2	3	4	5
США	US4521455 CSEPEL MUVEK FEMMUVE (HG)	Process and equipment for the production of alloyed copper wire rod by continuous casting	B05D 3/12	20.01.83
США	US2134400 JACOB JURGEN (DE)	Method for cleaning oxidized hot rolled copper rods	C23G 1/00	26.09.02
Великобритания	GB2123032 BICC PLC	Copper-base alloys	C22C 9/00	25.01.84
Великобритания	GB1536096 AU2595677, BE855712, CA1083017, DE2727055, FR2355085, IT1079044, JP53001669, SOUTH- WIRE CO	Method of producing a continuously processed copper or copper alloy rod	B23P 17/00	20.12.78
Япония	JP10017942 MITSUBISHI CABLE IND LTD	Annealing equipment for copper wire rod	C21D 9/52	20.01.98
США	US6077364 EP0888924 PHELPS DODGE INDUSTRIE S INC(US)	Copper trolley wire and method of manufacturing copper trolley wire	C22C 9/00	30.06.97
США	US6258187 PHELPS DODGE INDUSTRIE S INC(US)	Copper trolley wire and a method of manufacturing copper trolley wire	C22F 1/08	17.08.98,

Продолжение табл.8.1

1	2	3	4	5
США	US3773503 AMERICAN SMELTING AND REFINING COMPANY	Copper base alloy	C22C 9/00	04.11.71
США	US4067750 OLIN CORPORATION (US)	Method of processing copper base alloys	C22F 1/08	28.01.76
США	US5391243 MITSUBISHI MATERIALS CORPORATION (JP),	Method for producing wire for electric railways	C22F 1/08	28.10.93
РФ	SU1101323 ВНИИПКиТК П, ВНИИЖТ	Способ изготовления контактного провода	МКИ B22D 11/06	10.01.83
РФ	RU 2131942	Сплав на основе меди	C22C 9/00	26.02.98
РФ	RU 2102515	Термически упрочняемый медный сплав	C22C 9/06	24.12.91
РФ	RU2163855 ООО “ФИНАО” (RU)	Способ совмещенного непрерывного литья и прокатки медных сплавов	B22D 11/12	01.12.99
РФ	RU2048934 Антропов Вадим Николаевич (RU)	Калибровка прокатного стана для холодной прокатки фасонного контактного провода	B21B 01/16	27.11.95
Япония	JP3072042 FURUKAWA ELECTRIC CO LTD(JP)	Copper alloy for trolley wire	C22C 9/00	27.03.91
Япония	JP54079120 SUMITOMO ELECTRIC IND LTD (JP)	Copper alloy for trolley wire	C22C 9/02	23.06.79



1	2	3	4	5
Япония	JP6154838 MITSUBISHI MATERIALS CORPORATION (JP)	Production of copper alloy trolley wire and hanging stringing	B21C 1/00, B60m 1/30	03.06.94
Япония	JP6240426 FUJIKURA LTD(JP)	Production of high strength copper alloy trolley wire	C22F 1/08	30.08.94
Китай	CN1250816 CHEN PIWEN(CN)	Copper-base alloy and its prepn. Technology	C22C 9/00	19.04.00
Япония	EP1035227 TOTO LTD(JP)	Brass material, brass tube and their production method	C22F 1/08	13.09.00
США	US5445687 Toyo Valve Co LTD	Hot working material of corrosion resistant copper-based alloy	C22C 9/08	29.08.95
Германия	DE2253690 US3982933 VER DEUTSCHE METALLWER KE AG	Brass alloy	C22C 9/04	28.09.76
США	US4055445 HORACE POPS	Method for fabrication of brass alloy	C22F 1/08	25.10.77
США	US3963526 NORDISKE KABEL-OG TRAAADFABR IKER	Method of imparting increased dezincification resistance to brass	C22D 1/16	15.06.76
РФ	РФ№20031294 29 Мысик Р.К., Логинов Ю.Н.	Контактный провод	-	06.10.03
РФ	SU130155 Логинов Ю.Н., Мысик Р.К.	Устройство для ввода легирующих компонентов в кристаллизатор при непрерывном литье	B22D 11/10	07.04.87

## 9. ЦЕНЫ НА СЫРЬЕ И ПОЛУФАБРИКАТЫ ИЗ МЕДНЫХ СПЛАВОВ

### 9.1. Цены на медь

Таблица 9.1

Цены Лондонской биржи металлов (LME) на медь и компоненты медных сплавов

Дата 2003-10- 29	Поставка		История цены (с немедленной поставкой)		
	немедленно	3 месяца	1 месяц назад	3 месяца назад	1 год назад
Алюминий	1488.00	1493.50	1407.00	1470.00	1337.00
Медь	1988.50	1994.00	1784.50	1769.00	1530.00
Никель	11300.00	11300.00	10115.00	9210.00	7170.00
Олово	5320.00	5310.00	4985.00	4790.00	4225.00
Свинец	617.00	615.00	535.00	517.00	422.50
Цинк	922.00	938.00	829.50	847.00	767.00

### 9.2. Цены на продукцию заводов ОЦМ

Таблица 9.2

Цены на продукцию производства Ревдинского завода ОЦМ в 2003г. (при соотношении 1USD=30,7руб)

Наименование	Цена с НДС (руб/т)		
	> 1 т	0,3 - 1 т	< 0,3 т
1	2	3	4
<i>Прутки. Слитки</i>			
Прутки медные М1 - М3, диаметр от 3 мм в отрезках и бухтах (мягк, п/тв, тв) ГОСТ 1535	87 510	100 637	109 388
Шина медная М1, М2 тянутая, ГОСТ 434, прессованная ТУ 164	90 080	103 592	112 600
Прутки, слитки БрАЖ 9-4, ГОСТ 1628	76 950	88 079	95 738
Прутки, слитки БрАЖМц 10-3-1,5, БрАМц 9-2, ГОСТ 1628	79 375	91 281	99 219
Прутки, слитки БрАЖН 10-4-4, БрАЖНМц, ГОСТ 1628	97 225	111 809	121 531
Прутки Л63 тянутые диаметр от 5 мм, ГОСТ 2060	62 590	71 979	78 238
Пруток ЛС63-3 тянутые, прессованные, диаметр от 5 мм	72 315	83 162	90 394
Прутки прессованные ЛМцКНС	67 870	78 051	84 838
Прутки прессованные ЛМцСКА	60 110	69 127	75 138

Продолжение табл.9.2

1	2	3	4
Прутки ЛС59-1 тянутые, прессованные, диаметр от 5 мм, ГОСТ 2060, ГОСТ 6688	53 210	61 192	66 513
Прутки ЛЖМц59-1-1 тянутые, прессованные, диаметр от 5 мм	58 531	67 311	73 164
Прутки ЛС58-2 тянутые, прессованные, диаметр от 5 мм	54 300	62 445	67 875
Прутки ЛМц58-2 тянутые, прессованные, диаметр от 5 мм	59 730	68 690	74 663
Прутки, слитки БрО10Ф1	93 630		
Прутки, слитки БрОЦС3-13-4	69 205		
Прутки, слитки БрОЦС5-5-5	70 895		
Прутки, слитки БрО12	99 807		
Прутки сварочные из ДУКМ	229 400		
<i>Трубы</i>			
Волноводные М2	156 170		
Волноводные Л96	165 390		
Волноводные Л63	125 510		
Капиллярные Л96, М1 - М3, группа А, 1.2 - 2.75 вн. диам. 0,35 – 1,6 мм	135 510		
Капиллярные Л96, М1 - М3, группа Б, 2х1; 2х0,8; 2,1х0,8 – 0,85	134 150		
Общего назначения и водопроводные Л96 диам. от 3 мм, ст. от 0,8 мм в отрезках, бухтах;	88 625	101 919	110 781
Общего назначения и водопроводные М1 - М3, SF-Cu диам. от 3 мм, ст. от 0,8 мм в отрезках, бухтах	99 330	114 230	124 163
Общего назначения и водопроводные М1 - М3, SF-Cu диам. от 3 мм, ст. от 0,8 мм упорядоченная намотка по ГОСТ	105 120	120 888	131 400
Общего назначения и водопроводные М1 - М3, SF-Cu диам. от 3 мм, ст. от 0,8 мм, упорядоченная намотка по ТУ	107 370	123 476	134 213
Радиаторные плоскоовальные Л96, ГОСТ 2936	114 080		
Радиаторные плоскоовальные луженые Л96	136 895		
Радиаторные круглые Л96 4х0,1, 4х0,2	131 305		
Тонкостенные Л96 диам. от 3 мм, ст. 0,3 – 0,75 мм ГОСТ 11383, ГОСТ 617	112 130		
Тонкостенные М1 - М3 диам. от 3 мм, ст. 0,3 – 0,75 мм ГОСТ 11383, ГОСТ 617	112 130		
Тонкостенные Л63 ст. 0.15-0.20 мм, ГОСТ 11383, ст 0,5 – 0,75, ГОСТ 494	101 860		
Тонкостенные медные М1р в катушках 9,52х0,50 мм по ТУ	112 130	128 950	140 163
Тонкостенные медные М1р в катушках 9,52х0,35 мм по ТУ	122 400	140 760	153 000
Тонкостенные медные М1р в улитках 6,35-19,05 мм, ст. 0,5-0,9 по ТУ	119 330	137 230	149 163
Прессованные медные профильные Л96, М1, М2, М3 SF-Cu	99 330	114 230	124 163
Прямоугольные и квадратные медные Л96, М1, М2, М3 SF-Cu	102 940	118 381	128 675
Прессованные БрАЖМц 10-3-1,5, ГОСТ 1208	80 585	92 673	100 731

## Окончание табл.9.2

1	2	3	4
Прессованные БрАЖН 10-4-4, ГОСТ 1208	98 495	113 269	123 119
Тянутые Л63, Л68, стенка от 0.8 мм, ГОСТ 494, ГОСТ 21646	74 865	86 095	93 125
Прессованные Л63, стенка от 0.8 мм, ГОСТ 494	67 210	77 292	84 013
ЛАМш 77-2-0.05, ГОСТ 21646	91 335	105 035	114 169
ЛМш68-0.05, ГОСТ 21646	74 860	86 089	93 575
Тянутые ЛО70-1, ст. от 0,8 мм, ГОСТ 21646	83 895	96 479	104 869
Тянутые ЛОМш70-2-0,05, ст. от 0,8 мм, ГОСТ 21646	87 705	100 861	109 631
Прессованные ЛМцАЖКС, ЛМцАЖН	74 300	85 445	92 875
Прессованные ЛМцАЖНК	77 735	89 395	97 169
Прессованные ЛМцКНС	70 280	80 822	87 850
Прессованные ЛМцСКА	64 345	73 997	80 431
Прессованные ЛС 59-1	61 240	70 426	76 550
Тянутые, профильные ЛС 59-1	67 364	77 469	84 205
МНЖ 5-1 ГОСТ 17217, ТУ 48-21-465, ТУ 48-21-562	126 370	145 326	157 963
МНЖМц 10-1-1, ГОСТ 10092	146 120	168 038	182 650
МНЖМц 30-1-1, ГОСТ 10092	212 650		
Манометрические Л63, круглые, овальные, плоскоовальные	122 065		
Манометрические БрОФ4-0,25, круглые, овальные, плоскоовальные	151 125		
Манометрические ЛАНКМц, круглые, овальные, плоскоовальные	186 535		
<i>Проволока</i>			
Проволока М1 - М3, диаметр от 2 мм, ГОСТ 1535	93 690		
Проволока Л63, диаметр от 2 мм, ГОСТ 1066-90, ГОСТ 12920-67	73 915	85 002	92 394
Проволока Л63-3, диаметр от 2 мм	90 660		
Проволока ЛС59-1, диаметр 2-5 мм	73 340	84 341	91 675
Проволока ЛС58-2	79 180		
Проволока сварочная ЛАЖ 60-1	132 530		

Таблица 9.3

Цены на некоторые виды продукции Кировского завода ОЦМ в 2003г. (при соотношении 1USD=30,7руб)

Вид	Марка сплава	ГОСТ или ТУ	Толщина	Ширина	Состояние	Цена, у.е., без НДС
1	2	3	4	5	6	7
Лента	БрОФ6,5-0,15	ТУ 48-0808-14-92	0,4 - 0,8	60	ТВ	3200 - 3200
Лента	БрОФ6,5-0,15	ГОСТ 1761	0,15 - 2	10 - 200	Мягк, п/ТВ, ТВ, о/ТВ	3200 - 3200
Лента	Л63	ГОСТ 20707	0,05 - 0,1	14 - 200	ТВ	2260 - 2260

Продолжение табл.9.3

1	2	3	4	5	6	7
Лента	Л63	ГОСТ 2208	0,51 - 2	20 - 600	Мягк, п/ТВ, о/ТВ	ТВ 2000 - 2000
Лента	Л68	ГОСТ 5169	0,46 - 0,9	22,5 - 37	П/ТВ	3790 - 3790
Лента	Л68	ГОСТ 1018	0,35 - 1,5	20 - 150	Мягк	2000 - 3110
Лента	Л68	ГОСТ 2208	0,12 - 0,5	10 - 300	Мягк п/ТВ ТВ о/ТВ	2210 - 2210
Лента	Л70	ГОСТ 5169	0,46 - 0,9	22,5 - 37	П/ТВ	3850 - 3850
Лента	Л70	ТУ 48-21-5036-83	0,28 - 0,5	10 - 60	П/ТВ ТВ	3060 - 3060
Лента	М1-М3	ГОСТ 20707	0,05 - 0,25	14 - 200	Мягк ТВ	2610 - 2810
Лента	М1-М3 М1р-М3р М1ф	ГОСТ 1173	0,1 - 0,5	10 - 600	Мягк ТВ	2610 - 2700
Лента	МН19	ГОСТ 5187	0,25 - 2	20 - 300	Мягк ТВ	4000 - 4700
Листы г/к	Л63	ГОСТ 931	5 - 25	600 - 1000	Г/к	1950 - 1950
Листы г/к	ЛС59-1	ТУ 48-21-897-90	26 - 150	500 - 1100	Г/к	1950 - 1980
Листы г/к	ЛС59-1	ГОСТ 931	5 - 25	500 - 600	Г/к	1950 - 1950
Листы г/к	М1-М2 М1р-М3р М1ф	ГОСТ 495	5 - 25	600 - 1000	-	2450 - 2550
Полосы г/к	Л63	ГОСТ 931	5 - 25	600 - 1000	Г/к	1950 - 1950
Полосы х/к	БрОФ6,5-0,15	ГОСТ 1761	1 - 4	40 - 400	Мягк п/ТВ ТВ о/ТВ	3200 - 3200
Полосы х/к	Л68	ГОСТ 931	0,4 - 10	40 - 600	О/ТВ п/ТВ ТВ	2050 - 2110
Полосы х/к	МН19	ГОСТ 5063	0,5 - 5	40 - 600	Мягк ТВ	4000 - 4300
Полосы х/к	Л63	ГОСТ 931	0,4 - 4	40 - 600	О/ТВ п/ТВ ТВ Мягк	2000 - 2000
Полосы г/к	Л63	ГОСТ 931	5 - 25	600 - 1000	Г/к	1950 - 1950
Полосы х/к	БрОФ6,5-0,15	ГОСТ 1761	1 - 4	40 - 400	Мягк п/ТВ ТВ о/ТВ	3200 - 3200
Полосы х/к	Л68	ГОСТ 931	0,4 - 10	40 - 600	О/ТВ п/ТВ ТВ	2050 - 2110
Полосы х/к	МН19	ГОСТ 5063	0,5 - 5	40 - 600	Мягк ТВ	4000 - 4300
Проволока	БрОФ6,5-0,4	ТУ18469-106-082-2001	2 - 4		Мягк ТВ	3500 - 3500
Проволока	Л63	ГОСТ 12920	3 - 11,5		Мягк п/ТВ ТВ	2000 - 2000
Проволока	Л63 ЛС59-1	ГОСТ 1066	6 - 12		Мягк п/ТВ ТВ	2000 - 2000

## Окончание табл.9.3

1	2	3	4	5	6	7
Проволока	Л80	ТУ 18-459-106-081	2 - 7,2		Мягк тв	2313 - 2313
Пруток	Л63	ГОСТ 2060	18 - 120		Пресс.	1850 - 1860
Пруток	Л63	ГОСТ 2060	6 - 40		Мягк п/тв тв	1860 - 1897
Пруток	ЛС58-2	ТУ 48-21-5010-77	45 - 80		Пресс.	*
Пруток	ЛС58-2	ТУ 48-21-5010-77	6 - 41		Гянутое	*
Пруток	ЛС59-1	ГОСТ 2060	6 - 40		Мягк п/тв тв	1490 - 1525
Пруток	ЛС59-1	ГОСТ 2060	18 - 120		Пресс.	1480 - 1480
Пруток	М1-М3 М1р-М3р	ГОСТ 1535	6 - 40		Мягк тв	2500 - 2620
Пруток	М1-М3 М1р-М3р	ГОСТ 1535	20 - 120		Пресс.	2490 - 2500
Труба	Л68	ГОСТ 21646	10 - 15	Стенка 0,8 - 2	Мягк п/тв	1870 - 1900
Труба	Л68	ГОСТ 494	8 - 32	0,8 - 2	Мягк п/тв	1850 - 2000
Труба	Л68	ГОСТ 21646	16 - 19	0,8 - 2	Мягк п/тв	1860 - 1890
Труба	Л68	ГОСТ 21646	20 - 32	0,8 - 2	Мягк п/тв	1850 - 1880
Труба	ЛО70-1	ГОСТ 21646	20 - 32	1 - 2	Мягк п/тв	2135 - 2210
Труба	ЛО70-1	ГОСТ 21646	16 - 19	1 - 2	Мягк п/тв	2135 - 2230
Труба	М1 - М3	ГОСТ 617	40 - 80	5 - 20	Пресс.	2363 - 2401
Труба	М1 - М3	ГОСТ 617	5 - 30	0,8 - 2	Мягк тв	2382 - 2861
Труба	М1 - М3	ГОСТ 617	20 - 50	2,5 - 5	Мягк тв	2382 - 2861

## Библиографический список

1. Шевакин Ю.Ф., Грабарник Л.М., Нагайцев А.А. Прессование тяжелых цветных металлов. М.: Metallurgy, 1987. 246 с.
2. Третьяков А.В., Зюзин В.И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением: Справочник. М.: Metallurgy, 1973. 224 с.
3. Серебренников В.Н., Мельников А.Ф. Горячая прокатка тяжелых цветных металлов и сплавов. М.: Metallurgy, 1969. 243 с.
4. Смирягин А.П. Промышленные цветные металлы и сплавы. М.: Metallurgizdat, 1956. 559 с.
5. Справочник по обработке цветных металлов и сплавов/ Под ред. Л.Е. Миллера, М.: Metallurgizdat, 1961. 872 с.
6. Полухин П.И., Гун Г.Я., Галкин А.М. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов: Справочник. М.: Metallurgy, 1976. 487 с.
7. Бровман М.Я. Сопротивление деформации в процессах обработки давлением при высоких температурах //Технология легких сплавов. 1980. №8. С.26-30.
8. Худяков И.Ф., Кляйн С.Э., Агеев Н.Г. Metallurgy меди, никеля, сопутствующих элементов и проектирование цехов. М.: Metallurgy, 1993. 432 с.
9. Головин В.А., Кручер Г.Н. Листы и ленты из тяжелых цветных металлов. М.: Metallurgy, 1985. 384 с.
10. Жолобов В.В., Зверев Г.И. Прессование металлов. М.: Metallurgy, 1971. 456 с.
11. Популярная библиотека химических элементов/ Под ред. И.В.Петрянова-Соколова. М.: Наука, 1983.Т.1. 576 с.
12. Богатов А.А., Мижирицкий О.И., Смирнов С.В. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением. М.: Metallurgy, 1984. 144 с.
13. Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Metallovedenie и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М.: МИСИС, 2001. 416 с.
14. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. М.: Metallurgy, 1978. 392 с.
15. Брабец В.И. Проволока из тяжелых цветных металлов и сплавов. М.: Metallurgy, 1984. 296 с.
16. Хензель А., Шпиттель Т. Расчет энергосиловых параметров в процессах обработки металлов давлением. М.: Metallurgy, 1982. 360 с.
17. Райков Ю.Н. Экономика предприятий обработки цветных металлов. М.: Интернет-инжиниринг, 2003. 336 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

СООТВЕТСТВИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕРМИНОВ В  
ОБЛАСТИ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ

Annealing - отжиг  
Breaking strength – истинное сопротивление разрыву ( $S_k$ )  
Compression – сжатие  
Crack - трещина  
Deformation – деформация  
Deformation resistance – сопротивление деформации  
Hook's law – закон Гука  
Elongation – удлинение  
Elasticity – упругость  
Load - нагрузка  
Modulus of elasticity – модуль упругости (Юнга,  $E$ )  
Normal strain – относительное удлинение ( $\delta$ )  
Percentage reduction of area – относительное сужение ( $\psi$ )  
Plasticity – пластичность  
Poisson' ratio – коэффициент Пуассона  
Recrystallization – рекристаллизация  
Reduction – обжатие  
Reduction ratio – уков, коэффициент вытяжки  
Rupture, fracture – разрушение  
Shortness - хрупкость  
Strength – прочность  
Stress – напряжение  
Strain rate – скорость деформации  
Tensile strength – предел прочности при растяжении ( $\sigma_B$ )  
Tensile stress – растягивающее напряжение  
Tension – растяжение  
Yield strength tension - предел текучести при растяжении



## СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРИ ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛОВ

### 1. Определение температуры

В зарубежных стандартах (например, ASTM) температура часто выражается в градусах Фаренгейта, в физике температуру часто выражают в градусах Кельвина.

Формулы для перевода:

- градусов Фаренгейта ( $n^{\circ} F$ ) в градусы Цельсия ( $n^{\circ} C$ )

$$n^{\circ} C = \frac{5}{9} (n^{\circ} F - 32);$$

- градусов Кельвина ( $n^{\circ} K$ ) в градусы Цельсия ( $n^{\circ} C$ )

$$n^{\circ} C = n^{\circ} K - 273,2.$$

### 2. Определение величин, характеризующих силу

Соотношения между единицами силы в английской (американской) и метрической системах:

1 фунт силы (pound, lbf) = 4,44822 Н;

1 паундаль (poundal, pdl) = 0,138255 Н.

### 3. Определение величин, характеризующих напряжения

Соотношения между единицами напряжения в английской (американской) и метрической системах:

1 килофунт силы на квадратный дюйм (ksi, klbf/in<sup>2</sup>) = 6,89476 МПа;

1 паундаль на квадратный дюйм (psi) = 0,214296 МПа;

1 Н/мм<sup>2</sup> = 1 МПа = 6,4749 \* 10<sup>-2</sup> т/дюйм<sup>2</sup> = 145,038 lbf/in<sup>2</sup> = 0,101972 кгс/мм<sup>2</sup>

### 4. Определение величин, характеризующих деформацию

Относительное обжатие при осадке  $\varepsilon_{\%} = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \cdot 100\%$

Степень деформации при растяжении  $\varepsilon_{\%} = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\%$

Логарифмическая деформация при осадке  $\varepsilon = \ln \frac{h_0}{h_1}$

Логарифмическая деформация при растяжении  $\varepsilon = \ln \frac{l_1}{l_0}$

Степень деформации сдвига  $\Lambda = \int_t Hd\tau$

Степень деформации сдвига при однородной осадке цилиндра  
 $\Lambda = \sqrt{3} \ln \frac{h_0}{h_1}$

Степень деформации сдвига при однородном растяжении цилиндра  
 $\Lambda = \sqrt{3} \ln \frac{l_1}{l_0}$

При прессовании и волочении без учета дополнительных сдвигов

$$\varepsilon_{\%} = 100 \cdot \frac{\lambda - 1}{\lambda}; \quad \Lambda = 2\sqrt{3} \ln \frac{D_0}{d_1}.$$

##### 5. Определение величин, характеризующих скорость деформации

При однородной осадке скорость деформации  $\xi = \frac{v}{h}$ ; скорость деформации

сдвига  $H = \sqrt{3} \frac{v}{h}$ ; при однородном растяжении скорость деформации

$$\xi = \frac{v}{l}; \quad \text{скорость деформации сдвига } H = \sqrt{3} \frac{v}{l}.$$

При прокатке на гладкой бочке  $\xi = \frac{v_1 l}{Rh_0}$ ,  $v_1$  - скорость выхода металла из валков;  $R$  - радиус валков;  $l$  - длина очага деформации.

При прессовании и волочении  $\xi = \frac{6 \ln \lambda \cdot \operatorname{tg} \alpha}{(\lambda \sqrt{\lambda} - 1)} v_1$ .

ОБОЗНАЧЕНИЯ НЕКОТОРЫХ МАРОК МЕДИ И МЕДНЫХ СПЛАВОВ  
В СТАНДАРТАХ РАЗНЫХ СТРАН

ASTM	DIN	W-Nr	ISO	British standard	EN	NFA	Примечание
C10100	OF-Cu Grade 1	2.0040	Cu-OFE	C110	CW009A	Cu-c2	Oxygen-Free Electronic
C10200	OF-Cu Grade 2	2.0040	Cu-OF	C103	CW008A	Cu-c2	Oxygen-Free High Conductivity
C10300	SE-Cu	2.0070	Cu-OFXLP	C103	CW020A	Cu-c1	Oxygen-Free
C10700	CuAg0,1P	2.1191	Cu-OFS	-	CW016A	-	Oxygen-Free with Ag, P
C10800		2.0076	Cu-DLP	-	CW021A	-	Oxygen-Free with low P
C11600	STP	2.1203	CuAg0,1	CuAg4	CW013A	-	Tough Pitch with Ag
C12000	SW	2.0076	Cu-DLP	C106	CW023A	Cu-b2	Deoxidized, Low Residual Phosphorus
C14500	CuTeP	-	-	C109	CW118C	-	
C14700	CuSP	--		C111	CW114C	-	
C15000	CuZr	2.1580	-	-	CW120C	-	
C16200	CuCd1	-	-	C108	-	-	
C17000	CuBe1,7	2.1245	CuBe1,7	CB101	CW100C	CuBe1,7	
C17200	CuBe2	2.1247	CuBe2	CB101	CW101C	CuBe1,9	
C17300	CuBe2Pb	-	CuBe2Pb	-	CW102C	-	
C17500	CuCo2Be	2.1285	CuCo2Be	CB112	CW104C	-	
C17510	CuNi2Be	2.0850	CuNi2Be	-	CW110C	-	
C18150	CuCrZr	2.1293	CuCr1Zr	CC102	CW106C	-	
C18200	CuCrZr	2.1293	CuCr1Zr	CC102	CW106C	-	
C18400	CuCr	2.1291	CuCr1	A2M	CW105C	-	
C18700	CuPb1P	-	-	-	CW113C	-	
C65500	CuSi3Mn1	2.1525	CuSi3Mn1	CS101	CW116C	-	

Примечание. ASTM – стандарт США; DIN, W.-Nr.- стандарт Германии; ISO – международный стандарт; BS – стандарт Великобритании; EN – европейский стандарт; NFA – стандарт Франции.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ОБОЗНАЧЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ДЕФОРМИРУЕМЫХ МЕДНЫХ  
СПЛАВОВ ПРИ ХОЛОДНОМ ОБЖАТИИ ПО СТАНДАРТУ ASTM

Обозначение	Номер сортамента	Листовой прокат		Проволока		
		$\epsilon\%$ , %	$\epsilon$	$\epsilon_d$ , %	$\epsilon\%$ , %	$\epsilon$
1/4 твердое	1	10,9	0,116	10,9	20,7	0,232
1/2 твердое	2	20,7	0,232	20,7	37,1	0,463
3/4 твердое	3	29,4	0,347	29,4	0,347	0,694
Твердое	4	37,1	0,463	37,1	0,463	0,926
Сверхтвердое	6	50,1	0,696	50,1	0,696	1,39
Упругое	8	60,5	0,926	60,5	0,926	1,86
Сверхупругое	10	68,6	1,16	68,6	1,16	2,32
Особо упругое	12	75,1	1,39	75,1	1,39	2,78
Суперупругое	14	80,3	1,62	80,3	1,62	3,25

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

КОДЫ МАРКИРОВКИ СОСТОЯНИЯ ASTM B601 МЕДИ И МЕДНЫХ  
СПЛАВОВ

Маркировка	Состояние
<i>Состояние, полученное холодной нагартовкой</i>	
H00	1/8 твердое
H01	1/4 твердое
H02	1/2 твердое
H03	3/4 твердое
H04	Твердое
H06	Сверхтвердое
H08	Упругое
H10	Сверхупругое
H12	Особо упругое
H14	Суперупругое
<i>Состояние, полученное конкретными методами холодной нагартовки</i>	
H50	Выдавленный и тянутый
H52	Полученный прошивкой и тянутый
H55	Легкой протяжки, легкой холодной прокатки
H58	Тянутый общего назначения
H60	Холодной высадки, формовки

Продолжение таблицы

H63	Заклепка
H64	Винт
H66	Болт
H70	Изгиб
H80	Твердотянутый
H85	Среднетвердотянутый электропровод
H86	Твердотянутый электропровод
H90	Ребристый
<i>Состояние, полученное холодной нагартовкой со снятием напряжений</i>	
HR01	H01 и снятие напряжений
HR02	H02 и снятие напряжений
HR04	H04 и снятие напряжений
HR08	H08 и снятие напряжений
HR10	H10 и снятие напряжений
HR20	Ребристый
HR50	Тянутый со снятием напряжений
<i>Состояние, полученное холодной прокаткой и заданным упрочнением</i>	
HT04	H04 с заданной термообработкой
HT08	H08 с заданной термообработкой
<i>Состояние как произведено</i>	
M01	Литьем в песчаные формы
M02	Центробежным литьем
M03	Литьем в оболочковые формы
M04	Литьем под давлением
M05	Литьем в кокиль
M06	Точным литьем по выплавляемым моделям
M07	Непрерывной разливкой
M10	Горячей ковкой и охлаждением на воздухе
M11	Ковкой и закалкой
M20	Горячей прокаткой
M30	Горячим прессованием
M40	Горячей прошивкой
M45	Горячей прошивкой и раскаткой
<i>Состояние, полученное отжигом до заданного упрочнения</i>	
O10	Отлитый с отжигом (диффузионный отжиг)
O11	Как произведено литьем с дисперсионной термообработкой

## Продолжение таблицы

O20	Горячей ковкой с отжигом
O25	Горячей прокаткой с отжигом
O30	Горячим прессованием с отжигом
O31	Горячей ковкой с дисперсионной обработкой
O40	Горячей прошивкой с отжигом
O50	С легким отжигом
O60	С мягким отжигом
O61	С отжигом
O65	Протянутый с отжигом
O68	Протянутый большими обжатиями с отжигом
O70	С полным отжигом
O80	С отжигом до состояния, твердое $1/8$
O81	С отжигом до состояния, твердое $1/4$
O82	С отжигом до состояния, твердое $1/2$
<i>Состояние, полученное отжигом до заданного размера зерна</i>	
OS005	Средний размер зерна 0,005мм
OS010	Средний размер зерна 0,010мм
OS015	Средний размер зерна 0,015мм
OS050	Средний размер зерна 0,050мм
OS060	Средний размер зерна 0,060мм
OS070	Средний размер зерна 0,070мм
OS100	Средний размер зерна 0,1мм
OS120	Средний размер зерна 0,12мм
OS150	Средний размер зерна 0,15мм
OS200	Средний размер зерна 0,2мм
<i>Состояние, полученное обработкой на твердый раствор</i>	
TB00	Состояние, полученное обработкой на твердый раствор
<i>Состояние, полученное обработкой на твердый раствор с холодной обработкой</i>	
TD00	TB00 с холодной обработкой до твердого состояния $1/8$
TD01	TB00 с холодной обработкой до твердого состояния $1/4$
<i>Состояние, полученное обработкой на твердый раствор с термообработкой</i>	
TD02	TB00 с холодной обработкой до твердого состояния $1/2$
TD03	TB00 с холодной обработкой до твердого состояния $3/4$
TD04	TB00 с холодной обработкой до полностью твердого состояния

<i>Состояние, полученное обработкой на твердый раствор с дисперсионным твердением</i>	
TF00	TB00 с дисперсионным твердением
<i>Состояние, полученное холодной обработкой с дисперсионным твердением</i>	
TH01	TD01 с дисперсионным твердением
TH03	TD02 с дисперсионным твердением
TH03	TD03 с дисперсионным твердением
TH04	TD04 с дисперсионным твердением
<i>Состояние, полученное дисперсионным твердением с холодной обработкой</i>	
TL00	TF00 с холодной обработкой до твердого состояния 1/8
TL01	TF00 с холодной обработкой до твердого состояния 1/4
TL03	TF00 с холодной обработкой до твердого состояния 1/2
TL04	TF00 с холодной обработкой до полностью твердого состояния
TL08	TF00 с холодной обработкой до упругого состояния
TL10	TF00 с холодной обработкой до сверхупругого состояния
<i>Состояние, полученное дисперсионным твердением с холодной обработкой и термическим снятием напряжений</i>	
TR01	TL01 со снятием напряжений
TR02	TL02 со снятием напряжений
TR04	TL04 со снятием напряжений
TX00	С твердением
Примечание. Стандартом выделены также состояния, полученные упрочнением при холодной прокатке (TM), состояния, характерные для упрочнения закалкой (TQ), состояния, характерные для сварных труб (WH, WM, WO, WR)	

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

**СООТВЕТСТВИЕ ЕВРОПЕЙСКОГО СТАНДАРТА СТАНДАРТУ  
ВЕЛИКОБРИТАНИИ НА ПОЛУФАБРИКАТЫ ИЗ МЕДИ И МЕДНЫХ  
СПЛАВОВ (BS EN STANDARDS FOR COPPER AND COPPER  
ALLOYS)**

Британский стандарт (BS EN number)	Название (Title)	Ближайший эквивалент (Nearest old BS Equivalent)
1	2	3
Недеформированные полуфабрикаты (Unwrought products)		
1978	Медные катоды (Copper cathodes)	6017
1977	Тянутые прутки (Copper drawing stock - wire rod)	6926
1976	Литые недеформированные полуфабрикаты (Cast unwrought copper products)	6017
1982	Слитки и литые заготовки (Ingots and castings)	1400
1981	Лигатура (Master alloys)	-
Плоский прокат (Rolled flat products)		
1652	Плиты, листы, штрипсы и рулоны общего назначения (Plate, sheet, strip and circles for general purposes)	2870,2875
1653	Плиты, листы и рулоны для сосудов высокого давления и горячего водоснабжения (Plate, sheet and circles for boilers, pressure vessels and hot water storage units)	2870,2875
1654	Штрипсы для пружин и контактов (Strip for springs and connectors)	2870
1172	Листы и штрипсы строительного назначения (Sheet and strip for building purposes)	2870
1758	Штрипс для несущих конструкций (Strip for lead frames)	-
13148 (Draft)	Штрипс, покрытый оловом, для горячей вытяжки (Hot dip tinned strip)	-
(133/18)	Штрипс, покрытый оловом электролитическим способом Electrolytically tinned strip	



Продолжение таблицы

1	2	3
Трубы (Tubes)		
12449	Бесшовные круглые трубы общего назначения (Seamless, round tubes for general purposes)	2871 Pt.2
12451	Бесшовные круглые трубы для теплообменных аппаратов (Seamless, round tubes for heat exchangers)	2871 Pt.3
1057	Бесшовные круглые трубы для воды и газа (Seamless, round copper tubes for water and gas in sanitary and heating applications)	2871 Pt.1
12452	Катаные бесшовные оребренные трубы для теплообменных аппаратов (Rolled, finned, seamless tubes for heat exchangers)	-
12735 (Draft)	Бесшовные круглые медные трубы для кондиционеров и рефрижераторов (Seamless, round copper tubes for air conditioning and refrigeration)	-
	Часть 1. Трубы для систем (Part 1 : Tubes for piping systems)	
	Часть 2. Трубы для оборудования (Part 2 : Tubes for equipment)	
13348 (Draft)	Бесшовные круглые медные трубы для медицинских газов (Seamless, round copper tubes for medical gases)	-
12450	Бесшовные круглые медные капиллярные трубы (Seamless, round copper capillary tubes)	-
13349 (Draft)	Медные трубы с изоляцией (Pre-insulated copper tubes) :	-
	Трубы с твердым покрытием (Tubes with solid covering)	
Прутки, проволока, профили (Rod/bar, wire, profiles)		
12163	Прутки общего назначения (Rod for general purposes)	2874
12164	Прутки для обработки резанием (Rod for free machining purposes)	2874
12165	Деформированные и недеформированные заготовки дляковки (Wrought and unwrought forging stock)	2872
12166	Проволока общего назначения (Wire for general purposes)	2873

Продолжение таблицы

1	2	3
12167	Профили и заготовка прямоугольного сечения общего назначения (Profiles and rectangular bar for general purposes)	2874
12168	Полый пруток для обработки резанием (Hollow rod for free machining purposes)	-
13347 (Draft)	Пруток и проволока для сварки и наплавки (Rod and wire for welding and braze welding)	1453, 1845, 2901
Полуфабрикаты для электротехники (Electrical purposes)		
13599 (Draft)	Медные плиты, листы и штрипсы электротехнического назначения (Copper plate, sheet and strip for electrical purposes)	4608
13600 (Draft)	Бесшовные медные трубы электротехнического назначения (Seamless copper tubes for electrical purposes)	1977
13601 (Draft)	Медные прутки, заготовки и проволока общего электротехнического назначения (Copper rod, bar and wire for general electrical purposes)	1433, 1432
13602 (Draft)	Тянутая круглая медная проволока для изготовления проводников тока (Drawn round copper wire for the manufacture of electrical conductors)	4109, 6811
13604 (Draft)	Полуфабрикаты из высокопроводящей меди для труб в электронике, полупроводниковых устройств и вакуумной аппаратуры (Products of high conductivity copper for electronic tubes, semiconductor devices and vacuum applications)	3839
13605 (Draft)	Медные профили для электрических целей (Copper profiles for electrical purposes)	
Поковки и фиттинги (Forgings and fittings)		
12420	Поковки (Forgings)	2872
1254 - Pt.1 to 5	Фиттинги (Plumbing fittings)	864
Методы испытаний (Test methods)		
12893	Определение витков удлинения спирали (Determination of spiral elongation number)	DD79

## Окончание таблицы

1	2	3
12384	Определение упругого скручивания штрипса (Determination of spring bending limit on strip)	-
13147 (Draft)	Определение остаточных напряжений на кромках штрипса (Determination of residual stresses in the border area of strip)	-
1971	Испытание вихревыми методами труб (Eddy current test for tubes)	-
723	Определение углерода на внутренней поверхности труб или фиттингов (Combustion method for determination of carbon on the inner surface of copper tubes or fittings)	-
13603 (Draft)	Испытания оловянного покрытия на тянутой медной проволоке электротехнического назначения (Test methods for assessing protective tin coatings on drawn round copper wire for electrical purposes)	-
(133/110)	Методы химического анализа на основе стандартов ISO (Methods of chemical analysis to be based on existing ISO Standards)	-
ISO 196	Определение остаточных напряжений: ртутный и нитратный тест (Detection of residual stress – mercury, nitrate test ISO 196 : 1978)	-
ISO 2624	Измерение среднего размера зерна (Estimation of average grain size - ISO 2624 : 1990)	-
ISO 2626	Испытание на водородную хрупкость (Hydrogen embrittlement test - ISO 2626 : 1973)	5899
ISO 4746	Тест на адгезию окалины (Scale adhesion test - for Cu-OFE)	5909
ISO 6509	Определение сопротивления обесцинкованию для латуней (Determination of dezincification resistance of brass - ISO 6509 : 1981)	-
IEC 468	Испытание на электросопротивление (Mass resistivity)	5714

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

ОБОЗНАЧЕНИЯ СТАНДАРТОВ НА МЕДНЫЕ СПЛАВЫ И ПОЛУФАБРИКАТЫ ИЗ НИХ В РАЗЛИЧНЫХ СТАНАХ МИРА

Страна	Стандарт	Страна	Стандарт
Австралия	AS	Нидерланды	NEN
Австрия	ONORM	Новая Зеландия	NZS
Бельгия	NBN	Норвегия	NS
Болгария	BDS	Польша	PN
Бразилия	NBR	Португалия	DGQ
Великобритания	BS	Россия	GOST
Венгрия	MSZ	США	ASTM
Германия	DIN	Турция	TS
Дания	DS	Франция	NF
Европа	EN, EURONORM	Чехия	CSN
Индия	IS	Швеция	SS, SIS
Испания	UNE	Югославия	JUS
Канада	CSA	Южная Африка	SABS
Корея	KS	Япония	JIS
Международный	ISO		

ЗНАЧЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ  
И ПАРАМЕТРА ЛОДЕ В РАЗЛИЧНЫХ ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ  
МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ[12 ]

Способ обработки металла	Место определения показателя	$\sigma/T$	$\mu_\sigma$
Волочение проволоки	Вход в очаг деформации	-1,15	-1
	Выход из очага деформации	+0,5	
Волочение труб на оправке	Вход в очаг деформации	-1	-1
	Выход из очага деформации	+0,4	0
Безопрямочное волочение труб	Вход в очаг деформации	-0,58	-0,3
	Выход из очага деформации	+0,4	+0,3
Гидропрессование круглых прутков	Вход в очаг деформации	-6	-1
	Выход из очага деформации	-1,15	-0,3
Валковое редуцирование труб	Вход в очаг деформации	-1	-0,5
	Выход из очага деформации	-0,58	+0,5
Прокатка труб на станах ХПТ	Вершина калибра	-3,5	-0,6
	Выпуск калибра	+0,6	+0,5
Прокатка листа	В центре очага деформации	-5	-
	На входе или выходе (за исключением кромок)	-1	
Сортовая прокатка	В центре очага деформации	-3	-0,8
	На входе или выходе	+0,7	0

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ РОССИИ НА ПОЛУФАБРИКАТЫ ИЗ  
ДЕФОРМИРУЕМЫХ МЕДНЫХ СПЛАВОВ

- 10.ГОСТ 10025-78. Прутки оловянно-фосфористой бронзы. Технические условия. Tin-phosphor bronze rods. Specifications.
- 11.ГОСТ 10092-75. Трубы мельхиоровые для теплообменных аппаратов. Технические условия. Cupro-nickel tubes for heat-exchanging apparatus. Specifications.
- 12.ГОСТ 10155-75. Проволока манганиновая неизолированная. Технические условия. Manganin uninsulated wire. Specifications.
- 13.ГОСТ 1066-90. Проволока латунная. Технические условия. Brass wire. Specifications.
- 14.ГОСТ 10988-75. Прутки из бескислородной меди для электровакуумной промышленности. Технические условия. Oxygen-free copper bars for electrovacuum industry. Specifications.
- 15.ГОСТ 11383-75. Трубки медные и латунные тонкостенные. Технические условия Thin-walled copper and brass tubes. Specifications.
- 16.ГОСТ 1173-93. Ленты медные. Технические условия. Copper strips. Specifications.
- 17.ГОСТ 12920-67. Проволока латунная для холодной высадки. Технические условия. Brass wire for cold upsetting. Specifications.
- 18.ГОСТ 15040-77. Трубы из бескислородной меди. Технические условия. Oxygen-free copper pipes. Specifications.
- 19.ГОСТ 1535-91. Прутки медные. Технические условия. Copper rods. Specifications.
- 20.ГОСТ 15471-77. Полосы и ленты из бескислородной меди для электронной техники. Технические условия. Strips and ribbons of oxygen-free copper for electronics. Specifications.
- 21.ГОСТ 15527-70. Сплавы медно-цинковые (латуни), обрабатываемые давлением. Марки. Copper-zinc pressure treated alloys (brasses). Types.
- 22.ГОСТ 15834-77. Проволока из бериллиевой бронзы. Технические условия. Wire of beryllium bronze. Technical conditions.
- 23.ГОСТ 15835-70. Прутки из бериллиевой бронзы. Технические условия. Beryllium bronze bars. Specifications.
- 24.ГОСТ 15885-77. Ленты и полосы из оловянно-цинково-свинцовой бронзы. Технические условия. Tin-zinc-lead bronze ribbons and strips. Specifications.
- 25.ГОСТ 1595-90. Полосы и ленты из алюминиево-марганцевой бронзы. Технические условия. Aluminium-manganese bronze strips and ribbons. Specifications.

- 26.ГОСТ 16130-90. Проволока и прутки из меди и сплавов на медной основе сварочные. Технические условия. Welding wire and rods of copper and copper alloys. Specifications.
- 27.ГОСТ 1628-78. Прутки бронзовые. Технические условия. Bronze rods. Specifications
- 28.ГОСТ 16358-79. Ленты медные для коаксиальных магистральных кабелей. Технические условия. Copper strips for coaxial main cables. Specifications.
- 29.ГОСТ 16774-78. Трубы медные прямоугольного и квадратного сечения. Технические условия. Copper tubes of rectangular and square section. Specifications.
- 30.ГОСТ 17217-79. Трубы из медно-никелевого сплава марки МНЖ5-1. Технические условия. Tubes of copper-nickel alloy МНЖ5-1. Specifications.
- 31.ГОСТ 1761-92. Полосы и ленты из оловянно-фосфористой и оловянно-цинковой бронзы. Технические условия. Tin-phosphorus and tin-zinc bronze ribbons and strips. Specifications.
- 32.ГОСТ 1789-70. Полосы и ленты из бериллиевой бронзы. Технические условия. Beryllium bronze strips and ribbons. Specifications.
- 33.ГОСТ 1790-77. Проволока из сплавов хромель Т, алюмель, копель и константан для термоэлектродов термоэлектрических преобразователей. Технические условия. Wire of chromel, alumel, copel and constantan for thermoelectrodes of thermoelectrical transducers. Specifications.
- 34.ГОСТ 1791-67. Проволока из никелевого и медно-никелевых сплавов для удлиняющих проводов к термоэлектрическим преобразователям. Технические условия. Nickel and copper-nickel alloys wire for extension leads for thermoelectric temperature transducers. Specifications.
- 35.ГОСТ 18175-78. Бронзы безоловянные, обрабатываемые давлением. Марки. Tin-free pressure-worked bronzes. Grades.
- 36.ГОСТ 193-79. Слитки медные. Технические условия. Copper ingots. Specifications.
- 37.ГОСТ 20707-80. Ленты радиаторные медные и латунные. Технические условия. Copper and brass ribbons for radiators. Specifications.
- 38.ГОСТ 20900-75. Трубы волноводные медные и латунные прямоугольные. Технические условия. Copper tubing for waveguides and brass right angle tubes.
- 39.ГОСТ 21646-76. Трубы латунные для теплообменных аппаратов. Технические условия. Brass and copper tubes for heat exchanges. Specifications.
- 40.ГОСТ 2171-90. Детали, изделия, полуфабрикаты и заготовки из цветных металлов и сплавов. Обозначение марки. Pieces, products, semi-

finished products and billets of non-ferrous metals and alloys. Grade designation

- 41.ГОСТ 2205-71. Ленты и полосы томпаковые для плакировки. Технические условия. L-90 tapes and strips for plating. Specifications.
- 42.ГОСТ 2208-91. Ленты латунные общего назначения. Технические условия. Brass strips for general use. Specifications.
- 43.ГОСТ 22666-77. Проволока из меди и сплава копель для низкотемпературных термоэлектрических преобразователей. Технические условия. Copper wire and kopel alloy wire for low-temperature thermoelectrical transducers. Specifications.
- 44.ГОСТ 24048-80. Медь. Методы определения стойкости против водородной хрупкости Copper. Methods of determination of resistance to hydrogen embrittlement.
- 45.ГОСТ 2622-75. Трубы манометрические из бронзы марки БрОФ4-0,25 и латуни марки Л63. Технические условия. Manometric tubes made of bronzo БрОФ4-0,25 and brass Л63. Specifications.
- 46.ГОСТ 2624-77. Трубки медные и латунные капиллярные. Технические условия Capillary copper and brass tubes. Specifications.
- 47.ГОСТ 27450-87. Трубки из меди и медно-цинковых сплавов. Метод определения загрязненности внутренней поверхности. Tubes of copper and copper-zinc alloys. Method for determination of impurity of inner surface.
- 48.ГОСТ 27981.0-88. Медь высокой чистоты. Общие требования к методам анализа Copper of high purity. General requirements for methods analysis.
- 49.ГОСТ 28057-89. Сплавы медно-цинковые. Метод определения стойкости к обесцинкованию. Copper and zinc alloys. Method of determining resistance to dezincification.
- 50.ГОСТ 28873-90. Сплавы на основе тяжелых цветных металлов, обрабатываемые давлением. Унифицированные марки. Alloys on the basis of heavy non-ferrous metals treated under pressure. Unified grades.
- 51.ГОСТ 2936-75. Трубки радиаторные плоскоовальные бесшовные. Технические условия. Plane-oval seamless radiator tubes. Specifications.
- 52.ГОСТ 30608-98. Бронзы оловянные. Метод рентгенофлуоресцентного анализа. Tin bronzes. Method of X-ray fluorescent analysis.
- 53.ГОСТ 30609-98. Латунии литейные. Метод рентгенофлуоресцентного анализа. Brass castings. Method of X-ray fluorescent analysis.
- 54.ГОСТ 2584-86. Провода контактные из меди и ее сплавов.



ГЛОССАРИЙ АНГЛОЯЗЫЧНЫХ ТЕРМИНОВ (GLOSSARY OF TERMS),  
 ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ МЕДНЫХ СПЛАВОВ  
 (ПО ДАННЫМ <http://BUSBYMETALS.COM>)

ADMIRALTY (443) — 71% copper plus zinc with 1% tin; largely used for condenser tubes.

ALLOY — a composition of two or more commercially pure metals.

ALPHA BRASS — any brass containing more than approximately 64% copper which normally shows only Alpha crystals under the microscope.

ALTERNATING STRESS — the cyclical change from tension to compression and back again in the metal. Example — reversal of spring deflections.

ALUMINUM BRASS (687) REVALON® — a metal containing 77% copper, 21% zinc and 2% aluminum as its chief constituents.

ALUMINUM SILICON BRONZE (642) — alloy consisting chiefly of copper with aluminum and silicon added to give it additional qualities of strength and hardness.

AMORPHOUS— refers to absence of crystalline structure.

ANNEAL — process of softening metals by subjection to moderate or high temperatures. The hardness of annealed metals will vary with the degree of anneal.

ARCHITECTURAL BRONZE (385) — actually a special brass whose composition and properties render it suitable for extrusion into complicated shapes for architectural and industrial use.

ASME — American Society of Mechanical Engineers —a nationally recognized professional group of engineers whose fundamental purpose is to exchange engineering information among its membership.

ASTM — American Society for Testing and Materials—this is the foremost body of specification writers in the world.

BERYLLIUM COPPER (170, 172, 175) — a copper-base alloy whose chief addition is beryllium. The principal properties of the alloy are great hardness, resistance to fatigue failure and an ability to be tempered.

BETA BRASS — a copper zinc phase which forms when zinc is between about 36 and 50%. Very ductile at hot working temperatures. Contrast with “alpha” phase or gamma” etc.

BRASS — any alloy of copper with zinc as the principal alloying agent, with or without small quantities of some other metals.

BRINNELL — a test used for measuring the hardness of a specimen wherein a steel ball of standard diameter is pressed into the test sample under a given load.

“B” SCALE — (Rockwell) — a specific scale of numbers used in the Rockwell testing of specimens whenever a 1/16” ball with 100 Kg load is applied.

B. & S. GAUGE — The Brown and Sharpe or American Wire Gauge — the diameters of wires having successive numbers in this gauge are in the ratio of 1.123 to 1. also used for strip or sheet.

CARTRIDGE BRASS (260) — an alloy composed of 70% copper, 30% zinc providing combined strength ductility and resistance to corrosion. Is well — suited to deep drawing of all kinds.

CATALYSIS — acceleration of a chemical reaction by a substance (catalytic agent) which itself appears to remain unchanged.

CATHODE — the negative electrode of a cell.

COLD DRAWN — a term used to define the process of pulling a material through a set of dies designed to reduce the cross — sectional area of the metal at essentially room temperature — for tube, rod and wire.

COLD ROLLED — the reduction in gauge of metal by rolling at room temperatures — for strip, sheet and rolled bar.

COLD WORKING — a general term used to describe the variety of processes used to change the form of metals well below the softening temperature.

COMMERCIAL BRONZE (220) — an alloy containing 90% copper, 10% zinc; so called because of its bronze Color.

COMMERCIAL TOLERANCES — the “plus” and/or “minus” allowances that are acceptable on a specified dimension.

CONCENTRATION CELL— an electrolytic cell caused by concentration differences in the electrolyte.

CONDENSER TUBE (Also heat exchanger tube) — tube manufactured to special requirements as to straightness, tolerances, finish, temper and freedom from physical defects.

CORRODING MEDIUM — the chemical substance that corrodes.

CRYSTAL — a solid assembly of atoms, regularly arranged in three dimensional space.

CUPRO-NICKEL (See 700 Series.) — Several copper — nickel alloy compositions especially resistant to corrosion by salt water.

DEALUMINIFICATION — form of corrosion applying to Aluminum Bronzes of multi — phase crystal structure. (See Dezincification)

DEOXIDIZED — a term applied to any metal or alloy to indicate its having been treated to remove Oxygen. It is specially applied to copper and refers to removal of oxygen by means of phosphorus or other strong deoxidizing agents.

DEZINCIFICATION — a form of corrosion of brass characterized by solution followed by deposition of the copper back on the brass.

**DISSOCIATION** — breaking up of molecules into ions.

**DRAWING** — a process used to pull rod, tube, or wire through a set of dies for the purpose of reducing the cross — sectional area, hardening the metal, or changing its shape.

**DUCTILITY** — the inherent property of a metal denoting its ability to be cold or hot worked.

**ELASTIC LIMIT** — the unit stress to which metal can be put without permanent deformation.

**ELECTROLYSIS** — the decomposition of metals by means of an electric current.

**ELECTROLYTIC COPPER** — copper that has been refined by electrolytic deposition. Used for manufacture of tough pitch copper and copper alloys.

**ELECTROLYTIC TOUGH PITCH COPPER** — the remelted electrolytic copper containing about .03% oxygen comprising the bulk of copper” products.

**ELECTROMOTIVE SERIES** — a series in which the metals are arranged according to their normal electrode potentials.

**ELONGATION** — the stretch of metal under a tensile stress. The percentage of elongation is a measure of the ductility of metals.

**EROSION-CORROSION** — dual action taking place upon metal exposure to corrosive fluids which result in local perforation and due also to excessive velocity or turbulence.

**EXTRUSION** — the pushing of metal, usually at high temperature, through a die to form various shapes.

**FATIGUE** — the failure of metals by repeated or alternate stresses which are lower than static stresses which cause breakage.

**FORGING ROD (377)** — metal fabricated to rod or shape which will be later cut up, preheated and shaped while hot by the blow of a hammer or in a die.

**FREE-MACHINING** — ability to be cut easily by a cutting tool. Leaded brasses and tellurium copper exhibit this quality.

**“F” SCALE** — (Rockwell) — a specific scale of numbers adapted in the Rockwell test for measuring the surface hardness of a metal by use of a 1/16” steel ball with a 60 Kg load. (See “B” Scale.)

**FULL HARD** — the temper of metal cold rolled 4 B. & S. numbers or approximately 37%.

**GALVANIC ACTION** — a type of corrosion wherein decomposition of a metal takes place by means of an electric current that is set up whenever two dissimilar metals are in contact with each other in a conducting solution.

**GAUGE** — 1) a measure of the thickness of the metal,

2) an instrument used to measure the dimensions.

**GILDING METAL (210)** — a copper — zinc alloy containing 95% copper, 5% zinc. It is used chiefly on the basis of its color.

**GRAIN BOUNDARIES**...the boundaries between individual crystals or grains in metals.

**GRAIN GROWTH** — an increase in the grain size of metal.

**GRAIN SIZE** — the size of grains or crystals in metal, usually referred to in terms of average or mean diameter and expressed in millimeters, e.g., .010 mm is very small and .200 mm is very large.

**HARDNESS** — same as Temper.

**HERCULOY (655)** — a name applied to Revere Silicon Bronze. Its outstanding characteristics are high strength and resistance to corrosion.

**HOT ROLLING** — a process of fabrication used to reduce the cross — sectional area of metal at a temperature above the softening Point — usually above 1000°F for copper metals.

**HOT WORKED** — a term describing a metal that has been processed at a temperature above the softening point.

**INTERNAL STRESS** — the load per unit area developed inside a body by cold working or deformation.

**ION** — an electrically charged atom or radicle whose migration effects the transportation of electricity through electrolytes and occasionally through gases. Positively charged Ions are known as "Cations" and negatively charged Ions are known as 'Anions'.

**IONIZATION** — the production of Ions from molecules such as Salts, etc.

**LEADED BRASSES** — a special group of copper-zinc alloys that contain small amounts of lead which imparts free-machining properties to the metal. (See alloys in 300 series.)

**MERCUROUS NITRATE TEST** — an accelerated corrosion test whereby the use of mercury salts determines the presence of applied or residual stresses or their combination, which might bring about the failure of the metal in service or storage through 'season cracking'.

**MIXTURE** — a term used to denote an alloy or composition.

**MOLECULE** — a combination of two or more atoms.

**MONEL METAL** — a 66% nickel-copper alloy.

**MUNTZ METAL (280)** — a copper-zinc alloy having 60% copper content.

**NAVAL BRASS (464)** — a 60% copper-zinc alloy also containing 3/4% tin.

**NICKEL SILVER** — a name given to a group of copper-zinc nickel alloys which produce a metal of usually white color. (See 700 series.)

**NONFERROUS** — a term applied to metallic alloys not composed mainly of iron.

NON-OXIDIZING — a term used to describe resistance to oxidation.

OFHC\* — a combination of letters meaning “Oxygen Free High Conductivity.” \*A registered trademark of American Metal Climax, Inc. for their oxygen free copper.

ORANGE PEEL — a rough surface defect obtained on cold working brass that resembles orange peel.

PHOSPHOR BRONZE — copper-tin alloys deoxidized by phosphorus — highly useful as material for springs. (See 500 series.)

PHOSPHOR DEOXIDIZED COPPER (U0 & 122) — copper that has been deoxidized with phosphorus.

PIERCING — an initial mill operation used in making seamless tubes by means of rolling a pre-heated billet in a Mannesmann-type mill.

PRECIPITATION HARDENING — this term is often referred to as “accelerated age hardening,” and it is a process usually involving two heat treatment operations. The metal is heated to a high enough temperature to put elements into solution in more or less equilibrium. It is then quenched, trapping these elements in this state. A further heating to moderate temperatures will allow hard particles to precipitate from the solution throughout the crystalline structure. These particles interfere with the movement within the crystal and so impart hardness and strength. Beryllium Copper (170), Chrome Copper (182) and Zirconium Copper (150) are examples, as are many aluminum alloys.

PREFERRED ORIENTATION — a term describing a condition within the metal whereby the crystals are not arranged irregularly or “at random” but have a preferred or directional orientation.

READY-FINISH ANNEAL — a mill term referring to the anneal before the final cold working process.

RECRYSTALLIZATION — the transformation taking place in grain structure of cold worked metals during the process of annealing.

RED BRASS (230) — a copper-zinc alloy having an 85% copper content.

ROCKWELL — a term used to describe a hardness test reading on metal that was made by testing equipment called the “Rockwell Hardness Tester.”

ROLLING — a general term applied to various processes which work the metal by means of rolling between cylindrical or shaped rolls.

ROMAN BRONZE — a copper-zinc alloy having a small quantity of tin. (See 464A.)

S.A.E. — Society of Automotive Engineers.

SCELERSCOPE — a device used for testing hardness of metals wherein a small hammer is dropped onto the sample from a fixed height and the hardness determined by the height of the rebound of the hammer. Especially useful for checking rolls for strip or other rolling.

**SEASON CRACKING** — a term describing the failure taking place on metal possessing excessive internal or external stresses when in contact with a certain corroding atmosphere. This failure, which is seen as cracks, may take place after a few days, weeks or even longer.

**SINGLE PHASE ALLOYS** — alloys containing only one phase. e.g., cartridge brass.

**SLIP-PLANES** — planes in the metal of relatively easy slip or deformation.

**SPECTROSCOPE** — an instrument used for analyzing the spectra of rays emitted by luminous bodies, and hence the composition of an alloy or substance.

**STAMPING** — a process used to shape various articles by means of a die and a punch.

**STATIC-STRESS** — a steady force exerted in distinction to cyclic stresses.

**STRAIGHTENING MACHINES** — processing equipment used for taking out the bends and kinks in tube, rod and wire.

**STRESS CORROSION** — same as “season cracking.”

**SUPERFICIAL ROCKWELL** — using the 30T or 15T scales, which are lighter penetrating loads than for “B” & “F”, and are more suitable to testing of light gauge and/or annealed materials (see Rockwell).

**TELLURIDE** — a compound of tellurium.

**TELLURIUM COPPER** — copper containing a small amount of tellurium for purpose of improving machinability.

**TEMPER** — the condition of a metal or alloy determining its physical properties as produced by the mechanical and thermal treatments it has received.

**TENSILE STRENGTH** — the maximum breaking load per unit of original cross-section areas when tested in tension.

**VALENCE** — the number of ions that will combine with a given ion to form a molecule.

**YIELD STRENGTH** — as applied to nonferrous alloys, yield strength is an empirical value determined by the stress which will produce a certain amount of elongation, usually below the point of permanent deformation. (See ASTM E-8 for definitions and test methods).

АДРЕСА САЙТОВ РОССИЙСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ОБРАБОТКЕ  
ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

<a href="http://www.ocm.ru">http://www.ocm.ru</a>	Кировский завод ОЦМ
<a href="http://www.rzocm.mh.ru/">http://www.rzocm.mh.ru/</a>	Ревдинский завод ОЦМ
<a href="http://www.kv-spb.ru/">http://www.kv-spb.ru/</a>	Красный выборжец
<a href="http://www.gzocm-splav.ru/">http://www.gzocm-splav.ru/</a>	Гайский завод ОЦМ
<a href="http://www.zio.ru/ru">http://www.zio.ru/ru</a>	Кольчугинский завод ОЦМ
<a href="http://www.ucmo.ur.ru">http://www.ucmo.ur.ru</a>	Каменск -Уральский завод ОЦМ
<a href="http://www.mzocm.ru/">http://www.mzocm.ru/</a>	Московский завод ОЦМ
<a href="http://www.elem.ru/">http://www.elem.ru/</a>	Уралэлектромедь
<a href="http://www.tuim.ru">http://www.tuim.ru</a>	Туимский завод ОЦМ
<a href="http://www.ucmo1.ru/">http://www.ucmo1.ru/</a>	Уралцветметобработка

*Учебное издание*

Юрий Николаевич Логинов

Медь и деформируемые медные сплавы

Редактор *И.Г.Южакова*

Корректор *М.Ю.Петров*

Компьютерный набор *Ю.Н.Логинов*

ИД № 06263 от 12.11.2001 г.

---

Подписано в печать	19.08.2004	Формат 60x84 1/16
Бумага писчая		Печать офсетная
Уч.-изд.л. 8,6		Усл.печ.л. 7,9
Тираж 100	Заказ 285	Цена «С»

---

Редакционно-издательский отдел

ГОУ ВПО УГТУ-УПИ

620002, Екатеринбург, ул.Мира, 19

Ризография НИЧ ГОУ ВПО УГТУ-УПИ

620002, Екатеринбург, ул.Мира, 19