

ПРЕЦИЗИОННЫЕ СПЛАВЫ

КРАТКИЙ ОБЗОР

Подготовил: Чапала Ю. И.

Верстка: Горелик Н. Е.



Оглавление

I. ВВЕДЕНИЕ. РОЛЬ И МЕСТО ПРЕЦИЗИОННЫХ СПЛАВОВ В МЕТАЛЛУРГИИ	7
II. ПРЕЦИЗИОННЫЕ СПЛАВЫ: НАЗНАЧЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ, МАРКИРОВКА.....	8
II.1. Общая сущность прецизионных сплавов.	8
II.2. Классификационные группы и общие свойства согласно ГОСТ10994-74.....	9
II.3. Особенности маркировки	10
II.4. Технология и формы выпуска.....	12
III. ГРУППЫ ПРЕЦИЗИОННЫХ СПЛАВОВ: ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРИМЕНЕНИЕ	15
III.1. Магнитомягкие сплавы	15
III.1.1. Сплавы с наивысшей магнитной проницаемостью в слабых полях.....	17
III.1.2. Сплавы с высокой магнитной проницаемостью и повышенным удельным электросопротивлением.....	21
III.1.3. Сплавы с высокой магнитной проницаемостью и повышенной индукцией насыщения	22
III.1.4. Сплавы с прямоугольной петлей гистерезиса*	24
III.1.5. Сплавы с прямоугольной петлей гистерезиса (микронные толщины).....	27
III.1.6. Сплавы с высокой индукцией магнитного насыщения	28
III.1.7. Сплавы с низкой остаточной индукцией	31
III.1.8. Сплавы с повышенной деформационной стабильностью и износостойкостью	33
III.1.9. Магнитомягкие сплавы с заданным коэффициентом линейного теплового расширения.....	35
III.1.10. Сплавы с высокой коррозионной стойкостью.....	36
III.1.11. Сплавы с высокой магнитострикцией.....	37
III.1.12. Термомагнитные сплавы и материалы.....	38
III.2. Магнитотвердые сплавы.....	38
III.3. Сплавы с заданным температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР)	41
III.4. Сплавы с заданными свойствами упругости	46
III.5. Сплавы с высоким электрическим сопротивлением (удельное омическое сопротивление R)	53
III.6. Сверхпроводящие (криогенные) сплавы.....	57
III.7. Термобиметаллы.....	59
IV. МАРКИ ПРЕЦИЗИОННЫХ СПЛАВОВ В СОСТАВЕ КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ГРУПП	62
IV.1. Сплавы прецизионные магнитомягкие	62
IV.1.1. Сплав 16X-ВИ (ЭП638-ВИ).....	62
IV.1.2. Сплав 50НХС.....	64
IV.1.3. Сплав 83НФ (83НФ-Ш)	66
IV.1.4. Сплав 50Н	68
IV.1.5. Сплав 68НМ.....	69
IV.1.6. Сплав 35НХХСП	71
IV.1.7. Сплав 27КХ (ЭП685)	73
IV.1.8. Сплав 49К2ФА; 49К2ФА-ВИ	74
IV.1.9. Сплав 30НГ (ЭП456)	76
IV.1.11. Сплав 77НМД (ЭП264)	78
IV.1.12. Сплав 79НМ (79НМ-ВИ).....	80
IV.1.13. Сплав 80НХС.....	83
IV.1.14. Сплав 40Н	85
III.1.15. Сплав 50НП.....	86
IV.1.16. Сплав 68НМП	88
IV.1.17. Сплав 40НKM.....	89
IV.1.18. Сплав 49КФ.....	91
IV.1.19. Сплав 47НК.....	93
IV.1.20. Сплав 31НХЗГ (ЭП545)	95
IV.1.21. Сплав 36Н11Х (ЭП297)	96
IV.1.22. Сплав 77НМДП.....	97
IV.1.23. Сплав 79НЗМ.....	99
IV.1.24. Сплав 81НМА	101
IV.1.25. Сплав 45Н	103
IV.1.26. Сплав 64Н (65Н)	105
IV.1.27. Сплав 34НKMП	107
IV.1.28. Сплав 40НKMП	109

IV.1.29. Сплав 49К2Ф.....	111
IV.1.30. Сплав 36КНМ.....	113
IV.1.31. Сплав 32НХЗ; ЭП546	115
IV.1.32. Сплав 76НХД.....	116
Примечания к разделу «Сплавы прецизионные магнитомягкие»	117
IV.2. Сплавы прецизионные магнитотвердые.....	118
IV.2.1. Сплав 20НХГ (ЭП 298; СП13)	118
IV.2.2. Сплав 35КХ4Ф.....	119
IV.2.3. Сплав 52КФТМ	120
IV.2.4. Сплав 52К9Ф.....	121
IV.2.5. Сплав 52К12Ф (52КФБ)	122
IV.2.6. Сплав ЕВ6	123
IV.2.7. Сплав ЕХ9К15М2	124
IV.2.8. Сплав 22Х15КТФ (ЭК159)	125
IV.2.9. Сплав 35КХ6Ф.....	126
IV.2.10. Сплав 52К5Ф (52КФ5)	127
IV.2.11. Сплав 52К10Ф.....	128
IV.2.12. Сплав 52К13Ф.....	129
IV.2.13. Сплав ЕХ3.....	130
IV.2.14. Сплав 25Х15КЮБФ (ЭК33)	132
IV.2.15. Сплав 35КХ8Ф.....	133
IV.2.16. Сплав 52К7Ф.....	134
IV.2.17. Сплав 52К11Ф (52КФВ)	135
IV.2.18. Сплав 5Х14В (5ХВ14)	136
IV.2.19. Сплав ЕХ5К5	137
IV.3. Сплавы прецизионные с заданными свойствами упругости	138
IV.3.1. Сплав 45НХТ (ЭП218)	138
IV.3.2. Сплав 46НХТ (ЭП619)	139
IV.3.3. Сплав 36НХТЮ (ЭИ702).....	140
IV.3.4. Сплав 44НХТЮ.....	143
IV.3.5. Сплав 42НХТЮ.....	145

IV.3.6. Сплав 36НХТЮ5М (ЭП51)	148
IV.3.7. Сплав 36НХТЮ8М (ЭП52)	151
IV.3.8. Сплав 68НХВКТЮ-ВИ (ЭП578-ВИ).....	153
IV.3.9. Сплав 58НХВКТБЮ-ВИ (ЭП877-ВИ)	155
IV.3.10. Сплав 12ХНКМТЮ (СП22)	156
IV.3.11. Сплав 17ХНГТ-ВИ (ЭИ814-ВИ).....	157
IV.3.12. Сплав 40КНХМВТЮ-ВИ	158
IV.3.13. Сплав 40КХНМ (ЭИ995).....	159
IV.3.14. Сплав 97НЛ (ЭИ996).....	161
IV.3.15. Сплав 38ХНМ-ВИ (ЧС129-ВИ)	162
IV.3.16. Сплав 44НХМТ (ЭП977).....	163
IV.3.17. Сплав ХН50МГЮ (ЭК1)	164
IV.3.18. Сплав 40ХНЮ-ВИ (ЭП793-ВИ).....	165
IV.3.19. Сплав ХН85МЮ-ВИ (ЭП797-ВИ)	166
IV.3.20. Сплав 46ХНМ (47ХНМ; ЭП630).....	167
IV.3.21. Сплав 42ХНМ (ЭП630У).....	169
Примечания к разделу	171
IV.4. Сплавы прецизионные с заданным ТКЛР (температурным коэффициентом линейного расширения)	172
IV.4.1. Сплав 29НК (29НК-ВИ)	172
IV.4.2. Сплав 32НКД (ЭИ630А)	175
IV.4.3. Сплав 36НХ (ЭП713)	178
IV.4.4. Сплав 42НА-ВИ (ЭП333)	181
IV.4.5. Сплав 47НХ	183
IV.4.6. Сплав 52Н (52Н-ВИ)	185
IV.4.7. Сплав 30НКД (30НКД-ВИ)	187
IV.4.8. Сплав 33НК (33НК-ВИ)	189
IV.4.9. Сплав 38НКД (38НКД-ВИ)	191
IV.4.10. Сплав 47НД (47НД-ВИ)	193
IV.4.11. Сплав 47НХР	196
IV.4.12. Сплав 80НМВ-ВИ.....	198

IV.4.13. Сплав 32НК (32НК-ВИ; ЭП475-ВИ).....	200
IV.4.14. Сплав 36Н	201
IV.4.15. Сплав 42Н (ЭП318)	205
IV.4.16. Сплав 47Н3Х	208
IV.4.17. Сплав 48НХ (ЭИ693)	210
IV.5. Сплавы с высоким электрическим сопротивлением.....	212
IV.5.1. Сплав Х20Н80 (ЭХН80)	212
IV.5.2. Сплав Х20Н80-Н	215
IV.5.3. Сплав Х20Н80-ВИ	218
IV.5.4. Сплав Х20Н80-Н-ВИ	220
IV.5.5. Сплав Х15Н60 (ЭХН60)	222
IV.5.6. Сплав Х15Н60-Н	226
IV.5.7. Сплав Х15Н60-Н-ВИ	230
IV.5.8. Сплав ХН20ЮС (ЭК11).....	233
IV.5.9. Сплав ХН70Ю (ЭИ652).....	235
IV.5.10. Сплав ХН70Ю-Н.....	239
IV.5.11. Сплав Х20Н73ЮМ-ВИ	242
IV.5.12. Сплав Н80ХЮД-ВИ	243
IV.5.13. Сплав Х13Ю4 (ЭИ60).....	245
IV.5.14. Сплав Х15Ю5	246
IV.5.15. Сплав Х23Ю5 (ЭИ595).....	250
IV.5.16. Сплав Х23Ю5Т	254
IV.5.17. Сплав Х27Ю5Т (ЭИ626; Х27Ю5Т-Н-ВИ)	259
IV.6. Сверхпроводящие сплавы	264
IV.6.1. Сплавы 35БТ, 65БТ	264
IV.6.2. Сплав БТЦ-ВД	267
IV.6.3. Сплав 70ТМ-ВД	268
IV.7. Термобиметаллы. Сплавы прецизионные, составляющие термобиметаллов.	269
IV.7.1. ТБ 200/113 (ТБ 2013, ТБ 36).....	269
IV.7.2. ТБ 107/71 (ТБ 1132, ТБ 32).....	271

IV.7.3. ТБ 160/122 (ТБ 1613, ТБ 37).....	272
IV.7.4. ТБ 103/70 (ТБ 1032, ТБ 52).....	274
IV.7.5. ТБ 148/79 (ТБ 1523, ТБ 72).....	276
IV.7.6. ТБ 138/80 (ТБ 1423, ТБ 3).....	278
IV.7.7. ТБ 73/57 (ТБ 0831, ТБ 35).....	280
IV.7.8. ТБ 129/79 (ТБ 1323, ТБ 1).....	282
IV.7.9. ТБ 95/62 (ТБ 1031, ТБ 68).....	284
V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС И ПЕРСПЕКТИВЫ.....	286
VI. СПИСОК ИСТОЧНИКОВ	288

I. ВВЕДЕНИЕ.

РОЛЬ И МЕСТО ПРЕЦИЗИОННЫХ СПЛАВОВ В МЕТАЛЛУРГИИ

Постоянное совершенствование высокотехнологичных промышленных отраслей и производственных процессов обуславливает повышение требований в сфере химической чистоты выпускаемых сплавов и производству соединений с четко регламентированными физико-механическими свойствами. Сегодня промышленность нуждается в материалах с высокой степенью точности соответствующих регламентирующим параметрам, таких, как проводимость, ковкость, термостойкость и многие другие. Закономерным результатом новейших теоретических и экспериментальных разработок стало создание т. наз. прецизионных сплавов, используемых в целом ряде актуальных направлений, включая оптику, электронику, нанотехнологии и даже бытовую технику.

Главнейшей отличительной особенностью подобных материалов является максимально точное соответствие процентного соотношения входящих в состав сплавов химических элементов соответствующим табличным данным (в переводе с французского *precision* означает точность, откуда и название). Точность состава – важнейшее требование ко всем без исключения прецизионным металлическим соединениям.

Прецизионные сплавы представляют собой металлические высоко легированные соединения с заданным набором эксплуатационных свойств, производимые с тщательным соблюдением технологии и

не имеющие в своем составе чужеродных включений. Современные требования в отношении марок прецизионных сплавов, их классификации, химсостава и свойств регламентированы ГОСТ10994-74, а также целым рядом других стандартизирующих документов относительно конкретных марок и форм выпуска (сортамента).

Без прецизионных сплавов с заданным значением физико-химических свойств (сверхпроводимость, магнитная проницаемость, упругость, ковкость, электромагнитные характеристики и т.д.), точным химсоставом и высококачественной отделкой стало бы невозможным функционирование множества направлений в области высоких технологий, таких, например, как изготовление высокоточной автоматики, внутривакуумной аппаратуры, элементов электронно-измерительной и вычислительной техники.

Изделия и детали из прецизионных сплавов, несмотря на их подчас незначительные размерные параметры, призваны выполнять во многих приборах, устройствах и системах не вспомогательную, а ведущую функцию, являясь источниками, усилителями или фильтрами основного сигнала, приводя в действие всю систему, определяя ее точность и надежность. Поэтому вопросы качества, уровня свойств и особенностей технологии производственных процессов, интересуют широкий круг специалистов различных промышленных направлений.

II. ПРЕЦИЗИОННЫЕ СПЛАВЫ: НАЗНАЧЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ, МАРКИРОВКА

II.1. Общая сущность прецизионных сплавов.

Большая часть прецизионных сплавов создается на основе Fe, Ni, Co, Cu, Nb.

Эти соединения характеризует наличие широкого спектра заданных свойств, количественный уровень которых определяют точность химсостава, отсутствие посторонних примесей, структурное состояние и тщательное соблюдение технологического режима получения (включая выплавку, обработку давлением, промежуточную и финишную термообработку). Во многих случаях обязательным требованием к сплавам является незначительное изменение значений физических свойств на фоне изменяющихся показателей температурного режима, магнитных и электрических полей, механической нагрузки (подобные свойства присущи, например, манганину, константану, а также сплавам инварного, элинварного и перминварного типов). Нередко возникает необходимость добиться требуемых показателей физико-технических параметров в условиях изменения внешних условий (подобные свойства присущи пермаллою, алюмели, хромели, копели, пружинным сплавам, термометаллам).

Прецизионные сплавы являются незаменимыми материалами, без применения которых было бы невозможным создание высокоточных приборов и аппаратов. Они также широко используются в составе бытовой техники, такой, например, как теле- и радиоприёмники, таймеры, часовые механизмы, электронагревательные приборы и т.д. В зависимости от последующего использования для изготовления конечных изделий, прецизионные сплавы могут выпускаться в виде поковок, труб, листового и фасонного проката, ленты, фольги, прутков, проволоки. Для того чтобы достичь высших значений эксплуатационных характеристик, возникает необходимость в использовании особых способов плавки, деформирования, режимов термообработки и поверхностной отделки.

Основным отечественным стандартом, определяющим и регламентирующим критерии оценки химсостава и свойств прецизионных сплавов по их маркам, является ГОСТ10994-74 «Прецизионные сплавы. Марки.»



II.2. Классификационные группы и общие свойства согласно ГОСТ10994-74.

Прецизионные сплавы характеризуются точностью химического состава. От прочих металлических сплавов их отличают особые технические характеристики и свойства – химические, физические и механические. Именно сочетание указанных факторов обуславливает сферу целевого предназначения.

Официальным документом федерального уровня, объединяющим все типоразновидности и марки прецизионных сплавов в единый регламентирующий перечень, является ГОСТ 10994–74 «Сплавы прецизионные. Марки».

В сущности, данный государственный стандарт объединяет все разновидности прецизионных сплавов в целостную категорию по основополагающему принципу прецизионности – точности химического состава, являясь своеобразным справочником, где марки данных соединений распределены по группам исходя из установленного процентного содержания основных и дополнительных (легирующих) элементов Периодической таблицы, особенностей технологии изготовления и определяющих эксплуатационных свойств. Всего в ГОСТе описано 7 следующих групп подобных сплавов.

1. Магнитомягкие сплавы*¹, характеризуются такими определяющими свойствами, как высокие значения маг-

нитной проницаемости*² и малые – коэрцитивной силы*³ в условиях слабых полей.

**1Примечание. Магнитомягкие материалы – материалы с низкой коэрцитивной силой, которые намагничиваются до насыщения и перемагничиваются в относительно слабых магнитных полях напряжённостью около 8–800 А/м. После перемагничивания внешне они не проявляют магнитных свойств.*

**2Примечание. Магнитная проницаемость – зависимость между магнитной индукцией B и напряжённостью магнитного поля H в веществе. Коэффициент магнитной проницаемости (μ) – это физическая величина, показывающая, во сколько раз индукция магнитного поля в данном веществе отличается от индукции магнитного поля в вакууме ($\mu = B \div B_0$).*

**3 Примечание. Коэрцитивная сила – (от лат. coercitio «удерживание») – это значение напряжённости магнитного поля, необходимое для полного размагничивания ферро- или ферромагнитного вещества. Чем большей коэрцитивной силой обладает магнит, тем он устойчивее к размагничивающим факторам. Единица измерения в Международной системе единиц (СИ) – Ампер/метр, в СГС – эрстед.*

2. Магнитотвердые сплавы, которым присуще заданное сочетание значений таких параметров, как предельная петля

гистерезиса или петля гистерезиса*, соответствующая полю максимально допустимой проницаемости (в названиях марок они отмечены буквенным символом E, характеризующим мощную магнитную энергию).

**Примечание. Магнитный гистерезис – зависимость напряжённости внутреннего магнитного поля в веществе от внешнего магнитного поля.*

3. Сплавы с заданным ТКЛР* (аббревиатура расшифровывается как температурный коэффициент линейного расширения).

**Примечание. Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) [linear expansivity] – отношение изменения одного из линейных размеров тела к его начальному значению при нагревании на 1°C.*

4. Сплавы с заданными свойствами упругости (т. наз. пружинные сплавы), которым присущи высокие значения упругих свойств, сочетающиеся с рядом других специальных свойств (повышенная коррозионная стойкость, высокие значения прочности, низкая магнитная проницаемость*¹, заданные значения модуля нормальной упругости*² и температурного коэффициента модуля упругости)*³.

**1Примечание. Магнитная проницаемость – зависимость между магнитной индукцией и напряжённостью магнитного поля в веществе.*

**2Примечание. Модуль нормальной упругости (модуль Юнга) – физическая величина, характеризующая способность материала сопротивляться растяжению/сжатию при упругой деформации.*

**3Примечание. Температурный коэффициент модуля упругости – показатель отношения изменения сопротивляемости материала деформации растяжения/сжатия к начальному значению (в состоянии покоя) при нагревании на 1°C.*

5. Сплавы с высокими значениями электросопротивления (удельного омического сопротивления R), которым свойственно определенное сочетание заданных электрических параметров и ряда других полезных свойств.

6. Сверхпроводящие (криогенные) сплавы, характеризующиеся специальными электрическими свойствами в диапазоне низких температур (–269...+20 °C).

7. Термобиметаллы – материал, состоящий из сваренных по всей поверхности соприкосновения двух или более слоев металлов/сплавов с различными значениями ТКЛР, разность которых обеспечивает его упругую деформацию при изменении температуры.

II.3. Особенности маркировки

В соответствии с ГОСТ 10994-74 применяется цифробуквенная маркировка

сплавов, представляющая собой (за исключением термобиметаллов) двузначное число, обозначающее среднюю массовую долю элемента, в сочетании с расположенным позади цифры буквенным обозначением элемента. Fe в марке сплава не указывают. Буквенно-цифровая маркировка сплава (см. п.2.4. ГОСТ №10994-74) дает возможность определить, какие из химических элементов (обозначаются буквенными символами, напр., В – вольфрам (W), Н – никель (Ni), С – кремний (Si)) входят в состав того или иного сплава, а значит, и присущие ему свойства.

Химические элементы в марках обозначены следующими буквами:

- Б – ниобий (Nb);
- В – вольфрам (W);
- Г – марганец (Mg);
- Д – медь (Cu);
- К – кобальт (Co);
- Л – бериллий (Be);
- М – молибден (Mo);
- Н – никель (Ni);
- Р – бор (B);
- С – кремний (Si);
- Т – титан (Ti);
- Ю – алюминий (Al);
- Х – хром (Cr);

Ф – ванадий (V).

Литерой «А» в конце марки обозначаются повышенные требования в отношении чистоты металла (сплав изготовлен с зауженными пределами химсостава). Литера «Е» указывает на магнитотвердость сплава. Цифровой символ «1» в марках 29НК-1 и 29НК-ВИ-1 указывает на зауженные диапазоны норм ТКЛР. Знак «—» (в составе) таблиц обозначает, что массовая доля элемента не регламентирована.

В документе представлены важнейшие качественные характеристики и свойства сплавов, а также (в отдельной графе) рекомендуемая сфера практического использования.

Если технологией получения сплава предусмотрены специальные способы выплавки либо их сочетания (вакуумно-индукционный*¹, электронно-лучевой*², плазменный*³, а также электрошлаковый*⁴ и вакуумно-дуговой*⁵ переплав), после основной цифробуквенной маркировки ставится дефис, за которым следует указывающая на это соответствующая буквенная аббревиатура (ВИ, Эл, П, Ш, ВД).

**1 Примечание. Вакуумно-индукционный переплав (ВИП) – наиболее распространенный метод рафинирования сплавов, при котором плавка осуществляется в вакуумно-индукционных печах способом индукционного нагрева подготовленной шихты. Для*

получения металла наивысшего качества метод ВИП используется в основном для выплавки заготовок с целью дальнейшего переплава.

**2 Примечание. Электронно-лучевой переплав (ЭЛП). Нагрев металла осуществляется потоком ускоренных электронов, генерируемых в специальных устройствах (электронных пушках). Наплавленный слиток формируется в водоохлаждаемом кристаллизаторе по методу полунепрерывной разливки.*

**3 Примечание. Плазменно-дуговой переплав (ПДП) – электрометаллургический процесс, при котором плавка металла осуществляется в специальных плазменных печах, где источником энергии служит низкотемпературная плазма – разогретый до $T=10^5$ К ионизированный инертный газ (чаще всего аргон). Метод ПДП весьма эффективен для производства сталей с особо высоким содержанием азота, прецизионных сплавов, ряда жаропрочных сплавов и т.д.*

**4 Примечание. Электрошлаковый переплав (ЭШП) – электрометаллургический процесс, при котором металл переплавляется в ванне электропроводного шлака, нагреваемого электрическим током. При таком способе переплава повышается качество металлов и сплавов.*

**5 Примечание. Вакуумно-дуговой переплав (ВДП) – процесс расхода электрода в ва-кууме или инертном газе при давлении ниже атмосферного с формированием слитка в водоохлажденном кристаллизаторе. Источник тепла при расплавлении электрода – сильноточная электрическая дуга низкого на-пряжения. Металл ВДП характеризуется однородностью свойств, низким содержанием газов и вредных примесей, плотной макроструктурой.*

Химсостав сплавов обозначен в таблицах ГОСТ 10994-74 для каждой из групп. При этом (в зависимости от марки сплава) в пределах одной группы возможно значительное расхождение по процентным показателям. В отношении групп I, II, V стандартом допускается факультативность химсостава при условии соответствия свойств сплава установленному для него кругу технических требований. Для прочих групп, в соответствии с ГОСТ 10994-74, необходима высокая точность химсостава.

Маркировка термобиметаллов регламентируется в соответствии с ГОСТ 10533-86 «Лента холоднокатаная из термобиметаллов. Технические условия».

II.4. Технология и формы выпуска

Высокоточное производство прецизионных сплавов не имеет выработанного общепринятого технологического алгоритма, поскольку наличие высоких требований к чистоте соединений в ряде случаев обуславливает необходимость

применения специальных этапов внутри технологического процесса, включая, в частности:

- подбор шихты;
- работу в установленной среде, например водороде;
- применение электронно-лучевого, плазменного, зонного и других специфических видов переплава.

Наряду с получением соединений, имеющих строго заданные состав и эксплуатационные свойства, продолжают развиваться способы высокоточного производства деталей, в частности технология прецизионного литья, что также отображено в ГОСТ 10994-74. В рамках данной технология предусмотрена возможность применения различных методов.

1. Метод центробежного литья, в основу которого заложено однородное распределение расплава под воздействием центробежной силы. Металл заливают в полость вращающейся плиты со специальными каналами, по которым он равномерно поступает в отливочные формы.

2. Получение тугоплавких отливок, когда расплав заливается в формы, для изготовления которых применяют высокоочищенный песок в смеси со специальными тугоплавкими смолами.

3. Метод использования силикатных литейных форм.

Итоговым результатом является получение на выходе прецизионных изделий заданных геометрических очертаний и габаритных параметров.

ГОСТ 10994-74 также содержит рекомендации по подбору марок прецизионных сплавов для изготовления различных форм выпуска (в частности, проволоки и ленты).

Изделия из прецизионных сплавов подвержены сразу нескольким видам разрушения. Едва ли не основным среди них является окисление вследствие коррозии. Негативное воздействие коррозии нередко становится причиной ухудшения тех или иных эксплуатационных характеристик, обуславливая выход из строя сложных узлов оборудования, в частности, из-за перегорания проволоки вследствие замыкания.

Во избежание окисления компонентов сплава, технологическим процессом предусмотрена горячая обработка выплавляемых отливок в среде вакуума или инертных газов. В целях облегчения последующей обработки создаются условия направленной кристаллизации. Кроме того, достичь идеального сочетания необходимых свойств удается путем применения таких технологических операций, как термическая (в среде водорода или вакуума), термомеханическая или термомагнитная обработка.

Сортамент промежуточной продукции из прецизионных сплавов характеризуется, как правило, традиционными

формами выпуска. Это ленты, проволока, прутки, полосы, а также трубы.

Более того, прецизионными оказываются не только собственно сплавы, как материал, но и различные виды металлического проката. Например, сегодня в различных промышленных отраслях широко востребованы прецизионные трубы.

Однако трубы – это лишь одно из проявлений повсеместного применения прецизионных деталей, ассортимент которых весьма широк. Подобно трубной

продукции, они, при внешнем сходстве с аналогичными изделиями традиционного ассортимента, отличаются высокой точностью исполнения и наличием повышенных эксплуатационно-прочностных характеристик. Из ГОСТа редакции 74 года «Сплавы прецизионные. Марки», явствует, что прецизионные металлоизделия находят повсеместное применение в таких отраслях, как робототехника, фармацевтика, приборостроение и даже изготовление фасовочной продукции.

III. ГРУППЫ ПРЕЦИЗИОННЫХ СПЛАВОВ: ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРИМЕНЕНИЕ

III.1. Магнитомягкие сплавы

Магнитомягкими называют ферромагнитные сплавы, характеризующиеся высокой магнитной проницаемостью и узкой петлей гистерезиса, вследствие чего им присуща малая коэрцитивная сила (Hс) в слабых полях.

Официальное ограничение конкретных параметров коэрцитивной силы отсутствует, однако по умолчанию считается, что ее верхний предел колеблется в диапазоне 10...12 Э.

Магнитные свойства (в постоянном поле) сплавов данной классификационной группы определяет их химический состав, а также молекулярная структура и текстура после окончательной термообработки. Структурные и текстурные особенности, в свою очередь, во многом зависят от технологии производства.

Однако ряд свойств (в частности, значения намагниченности насыщения*¹ и температуры точки Кюри*²) при незначительных изменениях химсостава изменяется в незначительной степени и, как правило, мало зависит от способа изготовления и характера термообработки. Напротив, данные факторы оказывают существенное воздействие на такие структурно чувствительные свойства, как магнитная проницаемость, коэрцитивная сила и потери на гистерезис. На характеристику данных свойств также

влияет химический состав, содержание примесей и неметаллических включений, температуры испытаний, кристаллическая структура (включая сверхструктуру, наведенную анизотропию и ориентацию кристаллов), дефекты кристаллической решетки и напряжений.

**1Примечание. Магнитное насыщение – состояние парамагнетика или ферромагнетика, при котором его намагниченность (J) достигает предельного значения намагниченности насыщения (J_н), не изменяющейся при дальнейшем увеличении напряжённости намагничивающего поля.*

**2Примечание. Температура Кюри, или точка Кюри – тепловой порог (температура фазового перехода II рода), по достижении (превышении) которого ферромагнитные материалы утрачивают постоянное магнитное поле. При этом магнетизм полностью исчезает. Выше этой температуры материал ведет себя как парамагнетик.*

В зависимости от величины определяемых общим составом сплава констант анизотропии* и магнитоstriction вычисляются характеристики и параметры структурно чувствительных свойств. Именно поэтому в ходе производственного процесса изготовления

магнитомягких сплавов существует возможность, применяя определенные технологические приемы, оказывать целенаправленное воздействие на характер структуры, анизотропии (кристаллической или наведенной), объем неметаллических включений и целый ряд других важнейших факторов, достигая необходимого уровня свойств и их сочетания. К подобным технологическим операциям можно отнести, например, выплавку, горячую/холодную прокатку, промежуточную/финишную термообработку и др. Этим в большинстве случаев объясняется строгая регламентация всех этапов технологического процесса, начиная с подбора шихты и вплоть до окончательной термообработки.

**Примечание. Магнитная анизотропия – неодинаковость магнитных свойств в магнитном материале в различных направлениях.*

Константа магнитной анизотропии – один из коэффициентов при разложении свободной энергии магнитной анизотропии в ряд по степеням направляющих косинусов углов вектора самопроизвольной намагниченности относительно кристаллографических осей кристалла.

[ГОСТ 19693-74 «Материалы магнитные. Термины и определения.»]

Сегодня выплавка магнитомягких сплавов промышленными партиями осуществляется в открытых и вакуумных ин-

дукционных печах, а также в индукционных печах с контролируемой атмосферой. В ряде случаев достичь получения требуемых характеристик сплавов удается с помощью тех или иных видов переплава: электрошлакового (ЭШ), электронно-лучевого (ЭЛ) либо плазменно-дугового (ПД).

Трансформация слитков в полуфабрикаты (промежуточные формы выпуска), используемые для последующего изготовления конечной продукции в виде готовых изделий, осуществляется с применением различных способов обработки, к числу которых можно, в частности, отнести:

- ковку;
- прокатку (холодную, теплую, горячую);
- волочение;
- термообработку (в условиях вакуума либо контролируемых рафинирующих сред);
- термомагнитную обработку в продольных или поперечных магнитных полях.

В каждом конкретном случае технология выплавки и последующих операций определяется механизмом формирования конечных свойств сплава данной марки.

Регламентируемые соответствующими ГОСТами и ТУ эксплуатационные характеристики магнитомягких сплавов

гарантированно обеспечиваются после изготовления конечной продукции из промежуточных форм выпуска (прутков, проволока, нить, катаный лист, нагартанная лента) и завершающей термообработки. В связи с проявлениями высокой чувствительности важнейших магнитных свойств к воздействиям, вследствие которых возникает пластическая или упругая деформация (включая вырубку, рихтовку, порезку, навивку, механическую зачистку, штамповку, сварку и т.п.) эти и другие технологические операции проводятся перед завершающей термообработкой.

В некоторых случаях (например, изготовление головок магнитной записи) те или иные технологические операции (механическая полировка, пропитка и др.) применяются по завершении финишной термообработки. Возникающие вследствие этого напряжения вызывают снижение магнитных свойств, степень которых прямо пропорциональна величине напряжения.

Магнитомягкие сплавы изготавливают и поставляют в виде холоднокатаных лент толщиной от 0,0015 до 2,5 мм, горячекатаных листов, горячекатаных и кованых прутков. Сплав 50НП изготавливают только в виде лент толщиной 0,02; 0,05 и 0,1 мм. Поставляемые полуфабрикаты не проходят термообработку: ей подвергаются готовые конечные изделия в соответствии с параметрами, указываемыми для каждого из сплавов.

Размер и допускаемые отклонения для холоднокатаных лент толщиной 0,02...2,5 мм, а также горячекатаных листов и прутков нормируются ГОСТ 10160-75 «Сплавы железоникелевые с высокой магнитной проницаемостью». Аналогичные данные на ленту толщиной менее 0,02 мм регламентированные соответствующими ТУ, приводятся при описании сплавов.

По основным физико-техническим характеристикам и эксплуатационному назначению все сплавы магнитомягкой группы условно подразделяются на 12 подгрупп, которые будут рассмотрены ниже.

III.1.1. Сплавы с наивысшей магнитной проницаемостью в слабых полях Общие сведения

К сплавам данной подгруппы относятся следующие основные марки:

79НМ; 79НМУ; 80НХС; 80НХС-ВИ; 76НХД; 76НХД-ВИ; 80НМ; 77НМД; 72НМДХ; 72НМДХ; 77НВ; 80НХ; 83НФ; 81НМА.

Сплавы на ферроникелевой основе, содержащие 70...85% Ni. Характеризуются наивысшей* начальной ($\mu\alpha=20...100\cdot 103$ Гс/Э) и максимальной ($\mu\tau=100...1000\cdot 103$ Гс/Э) проницаемостью с малой коэрцитивной силой ($H_c = 0.05...0.005$ Э) при средних значениях индукции насыщения $B_s= 6000...8000$ Гс.

**Примечание. Наивысшая (максимальная) магнитная проницаемость – максимальное значение магнитной проницаемости как функции напряженности магнитного поля на основной кривой намагничивания по индукции. [ГОСТ 19693-74 «Материалы магнитные. Термины и определения.»]*

С целью достижения необходимого сочетания магнитных, электрических и механических полезных свойств возможно дополнительное легирование сплавов такими химическими элементами, как Mo, Cr, Cu, V, W, Si.

Основные технологические данные

Сплавы в виде поковок, прутков, и лент при толщине ≥ 0.05 мм. являются изотропными, а при толщинах < 0.05 мм. начинают проявлять анизотропию магнитных свойств. При намагничивании, вектор которого совпадает с направлением силы холодной деформации, сплавы обладают повышенными значениями отношения остаточной индукции к индукции насыщения.

Сплавы данной подгруппы можно подвергать таким технологическим операциям, как обработка резанием/давлением, сварка, а также прокатка до микронных толщин. С целью оптимизации технологических свойств при механической обработке возможна дополнительная термообработка в среде вакуума или водорода. Дальнейшее практическое применение возможно только по-

сле завершения процесса окончательной термообработки, которую для сплавов с наивысшей магнитной проницаемостью требуется проводить с особой тщательностью.

Сплавы устойчивы к воздействию коррозии в интервале температур 25 ± 10 °С и относительной влажности окружающего воздуха $\leq 40\%$.

По своей структуре магнитомягкие сплавы данной подгруппы представляют собой твердые растворы с градиентной решеткой (γ -фаза), склонные к образованию упорядоченной атомарной структуры при постепенном охлаждении в температурном диапазоне 600...300 °С. В упорядоченной структуре наблюдается снижение значений магнитных свойств и удельного электросопротивления.

Общее назначение

Изготовление сердечников малогабаритных трансформаторов, дросселей, реле, дефектоскопов, магнитных экранов, головок магнитозаписывающей аппаратуры. Из ленты толщиной $\leq 0,05$ мм. производят сердечники импульсных трансформаторов, компоненты магнитных усилителей, компоненты ЭВМ и другие бесконтактные магнитные элементы.



Рисунок 1. Трансформатор малогабаритный

При выборе сплава учитываются его магнитные свойства в постоянных/переменных магнитных полях, электрические, механические и другие эксплуатационные характеристики.

Сплавы, подвергнутые термообработке, проявляют высокую чувствительность к механическим напряжениям, могущим являться причиной необратимого ухудшения полезных свойств. При изготовлении сердечников особое внимание следует обратить на то, чтобы лента не имела заусенцев, а также на равномерность нанесения слоя защитно-изоляционного покрытия.

Основные марки: характерные особенности и применение

Сплав 79НМ, 79НМУ

Характерные особенности. Сочетание высоких значений начальной ($\mu\alpha=20...50\cdot 103$ Гс/Э) и максимальной ($\mu\tau=100...300\cdot 103$ Гс/Э) проницаемости с малой величиной коэрцитивной силы

($H_c=0,05...0,01\text{Э}$). Сплав с наивысшими свойствами маркируется как 79НМУ.

Применение. Чаще всего применяются для изготовления сердечников магнитопроводов всех типов, а также в качестве исходного материала для последующего изготовления сплавов с прямоугольной петлей гистерезиса.

Сплавы 80НХС, 80НХС-ВИ

Характерные особенности. Сочетание высоких значений начальной ($\mu\alpha=20...50\cdot 103$ Гс/Э) и максимальной ($\mu\tau=100...250\cdot 103$ Гс/Э) проницаемости с малой величиной коэрцитивной силы ($H_c=0,02...0,01\text{Э}$) с повышенным значением удельного электросопротивления ($\rho=0,62$ Ом·мм²/м). Не содержит легирующих включений из дефицитных металлов.

Применение. Для изготовления сердечников магнитопроводов, работающих при повышенных частотах, в т.ч. феррозондов.

Сплавы 76НХД, 76НХД-ВИ, 80НХ

Характерные особенности. Повышенная температурная стабильность в климатическом интервале температур ($-60...+60$ °С) с медленным охлаждением в области температур $500...300$ °С при уровне начальной проницаемости $\mu\alpha=100...180\cdot 103$ Гс/Э

Применение. Для изготовления сердечников магнитопроводов, работающих в климатическом интервале температур ($-60...+60$ °С).

Сплав 80НМ

Характерные особенности. Наиболее высокие значения проницаемости в слабых полях: ($\mu=50...300\cdot 103$ Гс/Э).

Применение. Изготовление сердечников магнитопроводов для высокоточной аппаратуры.

Сплав 77НМД

Характерные особенности. Высокая начальная проницаемость и пониженное отношение максимальной проницаемости к начальной (1.5-3.0).

Применение. Изготовление сердечников магнитопроводов для аппаратуры особо высокой точности.

Сплавы 83НФ, 77НВ

Характерные особенности. Высокая магнитная проницаемость в слабых постоянных ($\mu=50...100\cdot 103$ Гс/Э) и переменных магнитных полях, повышенное удельное электросопротивление ($\rho=0,70$ Ом·мм²/м). Сплав 83НФ характеризуется высоким значением модуля упругости.

Применение. Изготовление сердечников магнитопроводов высокочувствительной аппаратуры, работающей в переменных магнитных полях высокой частоты.

Сплав 81НМА

Характерные особенности. Высокая магнитная проницаемость в постоянных ($\mu=50...100\cdot 103$ Гс/Э) и переменных магнитных полях, повышенное удельное электросопротивление ($\rho=0,80$ Ом·мм²/м) и высокие прочностные характеристики. Отличительная особенность сплава – повышенная деформационная стабильность, обусловленная высокой прочностью при практически нулевой магнитострикции.

Применение. Изготовление сердечников магнитопроводов и головок магнитной записи изделий, работающих в переменных полях высокой частоты и испытывающих в процессе изготовления и эксплуатации различные механические воздействия.



Рисунок 2. Головка головок магнитной записи/чтения.

Сплав 72НМДХ

Характерные особенности. Повышенное значение проницаемости в слабых полях ($\mu=10\cdot 103$ Гс/Э) и низкая температура Кюри ($\theta_c=100...120$ °С).

Применение. Изготовление внутренних оболочек многослойных магнитостатических экранов, обеспечивающих высокую степень экранирования. Экраны из данного сплава размагничивают путем нагрева до температуры Кюри и последующего охлаждения вне магнитного поля.

III.1.2. Сплавы с высокой магнитной проницаемостью и повышенным удельным электросопротивлением

Общая характеристика

К сплавам данной подгруппы относятся следующие основные марки:

50НХС; 50НХС-ВИ; 38НС; 12Ю; 12ЮК.

Магнитомягкие сплавы данной подгруппы характеризуются высокой магнитной проницаемостью ($\mu=15-100\cdot 103$ Гс/Э) и повышенным удельным электросопротивлением ($\rho=0.9-1.0$ Ом·мм²/м) при индукции насыщения $B_s=9500\text{...}14000$ Гс.*

**Примечание. Сочетание данных параметров в магнитомягких сплавах обуславливает малую коэрцитивную силу и малые потери на гистерезис. Что, в свою очередь, позволяет широко использовать их в электромашиностроении благодаря способности достигать максимальных значений магнитной индукции при минимальном расходе энергии.*

Основные технологические данные

Сплавы 50НХС и 38НС поддаются обработке резанием и давлением, сварке. В лентах толщиной ≤ 0.05 мм. сплавы практически изотропны.

Сплавы 12Ю и 12ЮК можно подвергать штамповке, обработке резанием при щадящих режимах механической обработки (небольшая скорость подачи и обильное охлаждение с применением СОЖ). В поковках, листах и полосах сплавы практически изотропны.

Все сплавы данной подгруппы применяют в термически обработанном состоянии. Механические операции (резка, штамповка, сверление, фрезерование, токарная обработка, сверление, зачистка, шлифование, полировка и т.п.) проводят до финишной термообработки.

В структурном отношении сплавы 50НХС и 38НС представляют собой твердые растворы с гранецентрированной кристаллической решеткой (γ -фаза). Сплавы 12Ю и 12ЮК – однофазные твердые растворы с объемноцентрированной решеткой (α -фаза).

Общее назначение

Сплавы 50НХС и 38НС используют для изготовления сердечников аппаратуры, работающей в импульсном режиме намагничивания; сплавы 12Ю и 12ЮК –

для магнитопроводов в изделиях, испытывающих в ходе эксплуатации воздействие механических нагрузок.

Основные марки: характерные особенности и применение

Сплавы 50НХС и 38НС

Характерные особенности. Низкая остаточная индукция ($B_r = 4000\text{...}5000$ Гс), низкие удельные потери.

Применение. Изготовление сердечников импульсных трансформаторов и высокочастотной аппаратуры связи, работающей без подмагничивания либо с подмагничиванием в слабых полях.

Сплавы 12Ю и 12ЮК

Характерные особенности. Данные сплавы характеризуются высокими прочностными характеристиками, износостойкостью, жаростойкостью, устойчивостью к воздействию коррозии. Сплав 12Ю является радиационно стойким.

Применение. Изготовление сердечников трансформаторов с повышенной рабочей индукцией, магнитопроводов изделий, испытывающих при изготовлении и эксплуатации воздействие высоких температур, механических усилий и химически агрессивных сред. Сплав 12Ю применяют также как магнитострикционный* материал.

**Примечание. Магнитострикция (от лат. strictio — сжатие, натягивание) — явление, заключающееся в том,*

что при изменении состояния намагниченности тела его объем и линейные размеры изменяются. Магнитострикционные материалы – группа магнитных материалов, техническое применение которых основано на использовании магнитострикционного эффекта, заключающегося в изменении геометрических размеров тела в магнитном поле.

III.1.3. Сплавы с высокой магнитной проницаемостью и повышенной индукцией насыщения

Общие сведения

К сплавам данной подгруппы относятся следующие основные марки:

45Н; 50Н; 50НУ; 50Н-ПД; 33НКМС.

Сплавы на базе Fe, содержащие 40-45% Ni. Характеризуются высокой индукцией насыщения ($B_s \geq 15000$ Гс), повышенным значением магнитной проницаемости ($\mu_a = 2000\text{...}5000$ Гс/Э, $\mu_m = 20\text{...}100\cdot 103$ Гс/Э). Коэрцитивная сила $H_c = 0.1\text{...}0.3$ Э. Удельное электросопротивление $\rho = 0.45\text{...}0.54$ Ом·мм²/м.

Основные технологические данные

Сплавы в виде поковок, прутков и лент обладают изотропными свойствами. Легко подвергаются операциям сварки, штамповки, механообработки. Изготавливаемые изделия считаются готовыми к эксплуатации по завершению термообработки. В этом состоянии они

проявляют повышенную чувствительность к воздействию механических напряжений, способных, при экстремальных значениях, являться причиной необратимого ухудшения полезных качеств. Сплавы характеризуются коррозионной стойкостью в температурном режиме $25 \pm 10^\circ\text{C}$, когда предельная относительная влажность ϕ не превышает 40%. Сплавы являются нестареющими. В структурном отношении имеют вид однофазного твердого раствора, имеющего гранецентрированную кристаллическую решетку (γ -фаза)

Общее назначение

Сплавы данной подгруппы используются для изготовления трансформаторных сердечников, дросселей, реле и компонентов магнитоцепей, функционирующих в широкой полосе частот без подмагничивания либо с подмагничиванием в слабых постоянных полях. Их применяют также в электромагнитных экранах и различных магнитопроводах.



Рисунок 3. Дроссель на гантельном сердечнике.

Основные марки: характерные особенности и применение

Сплав 50Н

Характерные особенности. Высокая индукция насыщения ($B_s=15000$ Гс). Повышенная максимальная проницаемость ($\mu_m=55...95 \cdot 10^3$ Гс/Э).

Воздействие ударных нагрузок на комплекс магнитных свойств сплава 50Н в условиях постоянных полей (при толщине 0.08, 0.20 и 0.35 мм) заключается в следующем. Вследствие напряжения, возникающего при ударе образцов, заключенных в защитные каркасы, при падении на плиту из бетона с метровой высоты значение начальной магнитной проницаемости μ_a снижается в среднем на 6...9 %, а максимальной проницаемости μ_m – на 3...6 %. При этом коэрцитивная сила увеличивается на 1.5...2.0 %. При аналогичной ударной нагрузке образцов без защитного каркаса значение μ_a снижается на 12...15 %, а μ_m – на 8...10 %.

Сплав 50Н используется для изготовления сердечников, с применением которых создаются межламповые и малогабаритные силовые трансформаторы, дроссели, реле и компоненты магнитоцепей, функционирующие в условиях повышенных индукций с небольшим подмагничиванием. Применяется также как пассивный слой термометаллов, востребованных при изготовлении элементов КИПиА, чувствительных к изменениям температурных режимов.

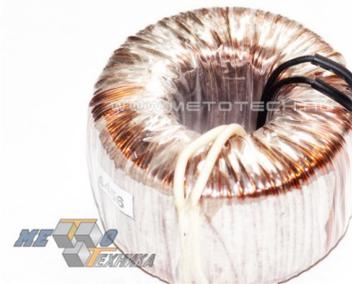


Рисунок 4. Торoidalный малогабаритный трансформатор 220-12V 2A.

Сплав 33НКМС (ЭП61)

Характерные особенности. Пониженные удельные потери в ходе перемагничивания с частотой 3000...5000 Гц при повышенном значении индукции насыщения. 33НКМС – единственный среди магнитомягких сплавов, который поставляется с гарантируемыми магнитными свойствами в переменных полях. Плотность сплава – 8.3 г/см³. Удельное электросопротивление $\rho = 0.7$ Ом·мм²/м.



Рисунок 5. Фильтрующий дроссель выпрямителя переменного тока.

Применение. Сердечники магнитных усилителей, коммутирующих дросселей, выпрямительных установок, элементов вычислительной техники, работающей при повышенных частотах.

III.1.4. Сплавы с прямоугольной петлей гистерезиса*

Общая характеристика

К сплавам данной подгруппы относятся следующие основные марки:

50НП; 50НПУ; 50НП-ВИ; 50НПУ-ВИ; 50НП-ЭЛ; 50НП-ПД; 65НП; 34НКМП; 68НМП; 35НКХСП; 35НКХСП-ВИ; 35НКХСП-ЭЛ; 37НКДП; 37НКДП-ВИ; 40НКМПЛ; 79НМ; 80Н2М.

В состав данной подгруппы входит линейка магнитомягких прецизионных сплавов, имеющих кристаллографическую либо магнитную текстуру, с прямоугольной петлей гистерезиса ($K_p=0.85...0.98$). Всем сплавам этой подгруппы присуща повышенная магнитная проницаемость ($\mu_m=40...1200 \cdot 10^3$ Гс/Э). Они характеризуются также высокой магнитной индукцией насыщения ($B_s = 12000...15000$ Гс).

Сплавы на базе системы Fe-Ni содержат 50...70 % Ni, на базе системы Fe-Ni-Co – 35...40 % Ni и 25...30 % Co. Для обеспечения заданного сочетания полезных свойств в химический состав могут вводиться легирующие добавки Cr, Mo, Si, Cu.

**Примечание. Прямоугольная петля гистерезиса – петля магнитного гистерезиса, у которой отношение магнитной индукции при нулевой напряженности магнитного поля к магнитной индукции, соответствующей*

напряженности магнитного поля, превышающего коэрцитивную силу в заданное число раз, составляет $\geq 0,85$. [ГОСТ 19693-74 «Материалы магнитные. Термины и определения.»]

Прецизионные сплавы с прямоугольной петлей гистерезиса ($K_p = 0.85...0.98$) характеризуются повышенной магнитной проницаемостью (40000...1200000 Гс/Э) и высокой индукцией насыщения (12000...156000 Гс), что позволяет использовать их для изготовления сердечников магнитных усилителей, импульсных трансформаторов, различных дросселей, реле и другой промышленно востребованной продукции.



Рисунок 6. Реле.

Основные технологические данные

Сплавы являются текстурованными, обладая анизотропией магнитных свойств при толщине заготовки 0.1...0.005 мм. При намагничивании в направлении, совпадающем с направлением холодной деформации, обретают наивысшие значения магнитных свойств. Их можно подвергать сварке,

обработке давлением и резанием. Сплавы проявляют устойчивость к коррозии при температуре 25 ± 10 °С и относительной влажности $\phi \leq 40\%$. Чувствительны к механическим напряжениям, которые в зависимости от величины могут приводить к необратимому ухудшению полезных свойств. Конечные изделия готовы к эксплуатации после соответствующей термообработки.

Текстурованные магнитомягкие сплавы с прямоугольной петлей гистерезиса характеризуются повышенной температурной стабильностью магнитных свойств в диапазоне $-60...+200$ °С, а также стойкостью к радиационным воздействиям. Не подвержены старению. В структурном отношении имеют вид однофазных твердых растворов с гранцентрированной кристаллической решеткой (γ -фаза).

Общее назначение

Сплавы с прямоугольной петлей гистерезиса используют для изготовления сердечников таких изделий, как магнитные усилители, бесконтактные реле, контактные выпрямители, дроссели, модуляторы, импульсные трансформаторы, магнитные компоненты ЭВМ.



Рисунок 7. Импульсный трансформатор.

Основные марки: характерные особенности и применение

Сплавы **50НП, 50НП-ВИ, 50НП-ЭЛ, 50НП-ПД**

Характерные особенности. Прямоугольная петля гистерезиса ($K_p=0.85...0.98$). Наивысшая индукция насыщения ($B_s=15-16 \cdot 10^3$ Гс). Высокий показатель максимальной магнитной проницаемости ($\mu_m=35...400 \cdot 10^3$ Гс/Э).

Сплавы с кристаллографической текстурой. Создание безупречной кубической текстуры обеспечивают, используя холодную прокатку при высокой степени обжатия (98...99 %) с последующей термообработкой. Кубическую текстуру характеризуют два направления при легком намагничивании – вдоль и поперек прокатки. В данных направлениях магнитные свойства проявляются в наивысшей степени.

Применение. Изготовление сердечников магнитных усилителей и реакто-

ров мощных выпрямителей, трансформаторов для особо точной аппаратуры магнитозаписи и связи.

Сплавы **65НП, 68НМП, 68НМП-ВИ, 37НКДП, 37НКДП-ВИ**

Характерные особенности. Наличие прямоугольной петли гистерезиса ($K_p=0.90...0.98$) при высоком уровне максимальной магнитной проницаемости ($\mu_m=100...1200 \cdot 10^3$ Гс/Э). ГОСТ 10994-74 не рекомендует применять сплав 65НП при создании новых разработок. Это объясняется наличием таких нежелательных факторов, как большая частотная зависимость магнитных свойств и высокие удельные потери вследствие малых значений удельного электросопротивления.

При термомагнитной обработке в условиях продольно направленного магнитного поля в этих сплавах наблюдается явление индуцированной одноосной анизотропии. Образец с одинаковой легкостью намагничивается в каждом из направлений вдоль данной оси, вследствие чего удается достичь наивысшего уровня магнитных свойств и высоких значений коэффициента прямоугольности петли гистерезиса.

Применение. Сердечники высокочувствительных и высокоточных магнитных элементов бесконтактного типа.

Сплавы **34НКМП, 35НКХСП, 35НКХСП-ВИ, 35НКХСП-ЭЛ, 40НКМПЛ**

Характерные особенности. Высокие значения коэффициента прямоугольности ($K_p=0,85...0,98$) при высокой максимальной магнитной проницаемости ($\mu_m=40...800\cdot 10^3$ Гс/Э). Высокие показатели удельного электросопротивления ($\rho=0,5...0,6$ Ом·мм²/м). При термомагнитной обработке в условиях продольно направленного магнитного поля в этих сплавах наблюдается явление индуцированной одноосной анизотропии. Образец с одинаковой легкостью намагничивается в каждом из направлений вдоль данной оси, вследствие чего удается достичь наивысшего уровня магнитных свойств.

Преимущественное применение. Сердечники обладающих высокой точностью и чувствительностью магнитных элементов бесконтактного типа, функционирующих в повышенном частотном диапазоне.

Сплавы **79НМ, 80Н2М**

Характерные особенности. Заготовки при толщинах 0,01...0,02 мм. имеют прямоугольную петлю гистерезиса ($K_p = 0,70—0,85$) и характеризуются высокими показателями максимальной проницаемости ($\mu_m=60...100\cdot 10^3$ Гс/Э). Время перемагничивания в импульсном режиме ($\tau=0,5—1,7$ Э·мк·с).

Применение. Сплавы применяют главным образом для изготовления сердечников магнитных усилителей.

III.1.5. Сплавы с прямоугольной петлей гистерезиса (микронные толщины)

Общая характеристика и основные технологические данные

К сплавам данной подгруппы относятся следующие основные марки:

79НМ; 77НМД; 91НМА; 80Н2М; 80НЮ.

Сплавы этой линейки выпускаются в виде ленты, имеющей толщины 0,0005...0,01 мм. Характеризуются высокими значениями коэффициента прямоугольности гистерезисной петли и кратким временем перемагничивания в импульсных полях. Такие свойства в одинаковой степени присущи как типовым сплавам 79НМ и 77НМД, так и специально созданным сплавам 80Н2М и 80НЮ, из которых изготавливают особо тонкие ленты.

В постоянных полях по петле гистерезиса, измеренной в полях $H_m = 5...10$ Нс определяют значения таких важнейших параметров, как:

-максимальная индукция B_m , соответствующая полю H_m ;

-остаточная индукция B_r ;

-коэрцитивная сила H_c ;

-обобщенные характеристики прямоугольности и квадратности петли гистерезиса, в частности, коэффициент прямоугольности $K_p = B_r/B_m$, коэффициент

«старта» $H_{ст}/H_c$ и коэффициент «фи-ниша» H_f/H_c .

По мере снижения толщины ленты (<0,01 мм) происходит существенное изменение конфигурации петли гистерезиса на фоне увеличения коэрцитивной силы, прямоугольности и квадратности петли, при одновременном уменьшении начальной и максимальной проницаемости.

Магнитная доменная структура лент микронных толщин (0,0005...0,01 мм) характеризуется как переходная от трехмерной, свойственной массивным материалам, к двумерной, присущей тонким пленкам. При уменьшении толщины лент и доменную структуру, и комплекс магнитных свойств все более характеризуют свойства пленок.

Общее назначение

Магнитомягкие сплавы микронных толщин с прямоугольной конфигурацией гистерезисной петли применяют для изготовления малогабаритных ленточных магнитных сердечников (микронные сердечники) переключающих устройств: логических элементов, регистров сдвига, триггерных схем, т. е. таких устройств, в которых магнитные сердечники подвержены воздействию полей, в разы превышающих показатели коэрцитивной силы.

III.1.6. Сплавы с высокой индукцией магнитного насыщения

Общая характеристика

К сплавам данной подгруппы относятся следующие основные марки:

27КХ; 49КФ2; 49КФ; 50КФ; 05НС

Основные физические свойства заключаются в наличии:

-высокой индукции магнитонасыщения* ($B_s \leq 24000$ Гс);

-высокой начальной ($\mu_a \leq 1200$ Гс/Э) или максимальной магнитопроницаемости ($\mu_m \leq 10000$ Гс/Э);

-малых удельных потерь при перемагничивании;

-высоких значений магнитострикции ($\lambda_s \leq 100 \cdot 10^{-6}$).

-высокой температуры Кюри ($\theta_c \leq 1050^\circ\text{C}$).

**Примечание. Магнитное насыщение – состояние парамагнетика или ферромагнетика, при котором его намагниченность (J) достигает предельного значения намагниченности насыщения (J_∞), не изменяющейся при дальнейшем увеличении напряжённости намагничивающего поля.*

Сплавам с высокой индукцией насыщения (≤ 24000 Гс) присущи высокая начальная (≤ 1200 Гс/Э) или максимальная (≤ 10000 Гс/Э) проницаемость, малые удельные потери на перемагничивание, высокая магнитострикция ($\leq 100\cdot 10^{-6}$) и высокая точка Кюри ($\leq 1050^\circ\text{C}$). Наличие данных характеристик идеально для изготовления таких

изделий, как сердечники соленоидов, силовых трансформаторов, магнитных усилителей, роторов и статоров электродвигателей.



Рисунок 8. Торoidalный трансформатор

Сплавы 49КФ и 50КФ характеризуются высокой индукцией насыщения (до 23500 Гс) и высокой индукцией в средних полях, а также малой константой анизотропии, высоким температурным порогом при переходе в неферромагнитную фазу (950—980°) и высокой магнитострикцией. Количественный уровень свойств может иметь различные значения, на изменение которых влияет способ выплавки и чистота исходных компонентов.

Основные технологические данные

Сплавы поддаются обработке способами давления и резания. Сварные операции можно осуществлять в случае соблюдения специальных условий. В форме холоднокатаных лент и листового проката их допускается подвергать штамповке или изготовлению сердечников путем навивки.

Сплавы с содержанием 49...50 % Со после постепенного охлаждения характеризуются низкими характеристиками пластичности (показатель удлинения < 1%). Финишные изделия готовы к эксплуатации по завершении термообработки в вакуумной среде. Сплавы в форме поковок, прутков и лент при толщинах >0.05 мм. обладают изотропными свойствами. В результате обработки термомагнитным методом возникает анизотропия магнитных свойств. Сплавы, прошедшие термообработку, становятся чувствительными к воздействию механических напряжений.

В структурном отношении сплавы данной подгруппы представляют собой линейку твердых растворов с кристаллической решеткой объемноцентрированного ($Co \leq 70\%$) или границентрированного ($Co \sim 92\%$) характера. Могут образовывать упорядоченную структуру в случае медленного охлаждения в температурном интервале 700...500 °С, вследствие чего сплавы с содержанием Со в пределах 49...50% становятся хрупкими.

Общее назначение

С применением сплавов данной подгруппы изготавливают:

-магнитопроводы разнообразных видов, в т.ч. для электровакуумных приборов/магнитодинамических устройств, эксплуатируемых в температурном режиме $\leq 1000^\circ\text{C}$;

- полюсные наконечники в электромагнитах;
- сердечники соленоидов;
- силовые трансформаторы;
- магнитные усилители;
- ультразвуковые генераторы и преобразователи;
- роторы/статоры электродвигателей;
- телефонные мембраны;
- магнитострикционные элементы для линий задержки/искровых камер;
- магнитоупругие датчики.

Основные марки: характерные особенности и применение

Сплав 50КФ (К50Ф2)

Применение. Данный сплав чаще всего применяют:

в виде поковок и прутков — для изготовления сердечников соленоидов, полюсных наконечников, магнитопроводов аппаратуры, работающей в постоянных полях;

из лент и полос изготавливают пакеты ультразвуковых преобразователей, телефонные мембраны и другие магнитопроводы.

Сплавы **49КФ (ЭП581), 49КФ2, 49КФ2-ВИ**

Сплав 49КФ (ЭП581). Основная сфера применения — производство роторов/статоров ($\varnothing \leq 70\text{мм}$) электрических машин.



Рисунок 9. Статор электродвигателя вентилятора

Сплав 49КФ2. Основная сфера применения — производство сердечников для силовых трансформаторов.

Сплав 49КФ2-ВИ. Основная сфера применения — производство магнитопроводов трансформаторов, а также роторов/статоров ($\varnothing \leq 250\text{мм}$) электрических машин.

Сплав 49КФ-ВИ (ЭП558)

Применение. Данный сплав чаще всего применяют:

в виде поковок и прутков — для изготовления магнитопроводов в вакуумной аппаратуре, а также магнитных линз электронных микроскопов;

в виде ленты и плющеньки — для изготовления магнитострикционных элементов в линиях задержки и искровых камерах.

Сплав 27КХ

Характерные особенности. Обладает высокой индукцией магнитного насыщения ($B_s \leq 24000$ Гс), высокой температурой перехода в неферромагнитное состояние ($\leq 950^\circ\text{C}$) и более высокими механическими, особенно пластическими свойствами, чем сплавы 49КФ и 50 КФ. Сплав практически изотропен. Хорошо поддается резке и обработке давлением (штамповка).

Применение. Роторы и статоры электрических машин, а также другие магнитопроводы, работающие при высоких температурах (до 900°C) и в условиях механических нагрузок.



Рисунок 10. Статор электродвигателя.

Сплав 92К

Характерные особенности. Магнитомягкий сплав с наиболее высокой точкой Кюри ($\theta_c \leq 1050^\circ\text{C}$). Однофазен при комнатной температуре и не имеет фазовых превращений до температуры плавления. Сплав характеризуется низкой магнитострикцией и очень высокими пла-

стическими свойствами. Показатель магнитной индукции насыщения B_s при $1000^\circ\text{C} \geq 5000$ Гс.

Применение. Изготовление магнитопроводов, работающих при высоких температурах – индукторов магнитогидродинамических насосов, роторов и статоров машин, работающих при температурах $\leq 1000^\circ\text{C}$. Может быть изготовлен в виде поковок, листов, лент и прутков. Хорошо обрабатывается на металлорежущих станках и хорошо штампуются.

Сплав 05НС

Характерные особенности. 05НС представляет собой слаболегированное малоуглеродистое железо, обладает хорошей технологичностью, допускает обработку давлением и резанием, хорошо сваривается.

Применение. Сплав поставляется в отожженном состоянии и предназначен для экранирования кабелей связи на линиях железных дорог, электрифицированных однофазным переменным током.

III.1.7. Сплавы с низкой остаточной индукцией

Общие сведения

К сплавам данной подгруппы относятся следующие основные марки:

47НК; 47НКХ; 64Н; 68НМ; 68НМ-ВИ; 79НМЗ; 40НКМ.

Сплавы обладают низкой остаточной индукцией*. Проявляют высокую стабильность магнитных свойств к воздействию магнитных полей и температурным колебаниям. Изготавливаются на основе систем Fe-Ni-Co и Fe-Ni с легирующими включениями Mo и Cr.

**Примечание. Остаточная магнитная индукция, или остаточная намагниченность (В) – явление намагниченности, наблюдаемое в ферромагнитном материале при нулевой напряженности внешнего магнитного поля ($H=0$). Напряженность поля, при которой индукция становится равной нулю, называется коэрцитивной силой H_c . Чем больше H_c , тем в меньшей степени материал способен размагничиваться.*

Величина остаточной намагниченности определяется точкой пересечения петли гистерезиса с осью магнитной индукции ферромагнетика.

Сплавы с низкой остаточной индукцией (коэрцитивная сила по индукции $H_c \leq 4$ кА/м) являются магнитомягкими [ГОСТ 19693-74 «Материалы магнитные. Термины и определения.».]. Обладая высокой способностью к размагничиванию и перемагничиванию, они широко используются для изготовления сердечников различной электроаппаратуры.

По особенностям магнитных свойств и условиям эксплуатации сплавы данной подгруппы подразделяются на следующие типы.

1. Сплавы с постоянством проницаемости (47НК, 47НКХ, 64Н, 40НКМПЛ).

Характеризуются высокой линейностью кривой намагничивания в интервале индукций от 0 до $10...12$ кГс. Отличаются друг от друга, главным образом, по уровню магнитной проницаемости ($\mu=1000...2500$ Гс/Э) и степени линейности в малых полях. Магнитные характеристики практически одинаковы для лент толщиной $0.1...0.01$ мм. Сердечники, изготовленные из сплава одного состава, но разных плавок, имеют близкие свойства (разброс величины начальной проницаемости μ_a обычно не превышает $\pm 10\%$). Уровень проницаемости можно регулировать в определенных пределах, изменяя скорость охлаждения при термомагнитной обработке (ТМО). Закономерностью для данных сплавов является снижение μ_a и улучшение линейности в слабых полях по мере уменьшения скорости охлаждения.

2. Сплавы с высокими значениями проницаемости и приращенной индукции при однополярном импульсном намагничивании (79НМЗ-ВИ, 68НМ-ВИ).

Магнитные свойства. Для сплава 68НМ-ВИ охлаждение со скоростью $5...10$ $^\circ\text{C}/\text{час}$ в диапазоне $500...400$ $^\circ\text{C}$ обеспечивает малую зависимость про-

нищаемости от поля при уровне проницаемости 3000...4000 Гс/Э и величине температурного коэффициента проницаемости β в пределах $-60...+120\text{ }^\circ\text{C} \leq 8 \cdot 10^{-4}$ 1/град. Магнитные свойства можно регулировать в определенных пределах, изменяя скорость охлаждения при термомагнитной обработке (ТМО).

Основные технологические данные

Сплавы этой подгруппы хорошо свариваются, обрабатываются давлением и резанием. Возможна прокатка до микронных толщин. Не подвержены коррозии при температуре $25 \pm 10^\circ\text{C}$ и относительной влажности $\leq 40\%$. После финишной обработки чувствительны к механическим напряжениям. В структурном отношении представляют собой однофазные твердые растворы с гранецентрированной кристаллической решеткой (γ -фаза).

Общее назначение

Сплавы первого типа используют для изготовления сердечников катушек постоянной индуктивности, а также различных дросселей и фильтров.



Рисунок 11. Дроссели закрытого типа.

Сплавы второго типа применяют для изготовления сердечников широкополосных трансформаторов.

III.1.8. Сплавы с повышенной деформационной стабильностью и износостойкостью

Общая характеристика

К сплавам данной подгруппы относятся следующие основные марки:

-16ЮХ и 16ЮИХ (типа «алфенол») на основе системы Fe (84%) – Al (16%);

-10СЮ (типа «сендаст») на основе системы Fe-Si-Al;

-81НМА (типа «пермаллой») на основе системы Ni-Fe.

Данные сплавы характеризуются как высокопрочные ($\sigma_{\text{в}} \leq 70$ кгс). Им также присуща высокая твердость (≤ 450 HV) и износостойкость в сочетании с высоким уровнем магнитных свойств ($\mu \leq 50$ кГс/Э). Значения удельного электросопротивления могут достигать $\rho \leq 1.5$ Ом·мм²/м.

Высокие прочностные свойства в сочетании с низкой магнитострикцией обуславливают повышенную деформационную стабильность, а значит, пониженную чувствительность к механическим воздействиям. Это способствует более полному сохранению исходного уровня магнитных свойств данных сплавов в

процессе изготовления из них и дальнейшей эксплуатации конечных изделий. Сплав 81НМА можно использовать в сердечниках малогабаритных трансформаторов, дросселей, реле, магнитных экранах, а при толщинах проката ≤ 0.05 мм – в сердечниках импульсных трансформаторов, магнитных усилителей и в других магнитных элементах.

Сплавы 16ЮХ и 16ЮИХ наряду с высокими магнитными свойствами характеризуются также самыми высокими среди деформируемых магнитомягких сплавов показателями прочности, твердости, износостойкости, удельного электросопротивления. В отличие от 16ЮХ сплав 16ЮИХ имеет повышенную магнитную проницаемость в постоянных и переменных полях, обладает большей устойчивостью к износу и лучшей деформационной стабильностью.

Сплав 10СЮ обладает наивысшими в группе магнитомягких сплавов показателями твердости и износостойкости.

81НМА – высокопроницаемый сплав с повышенной деформационной стабильностью. Вследствие вакуумного отжига в стандартном интервале температур 1100-1150 °С достигается наивысший уровень магнитной проницаемости ($\mu_{\text{т}}=100 \cdot 10^3$ Гс/Э) при повышенной прочности.

Дополнительное упрочнение и деформационная стабилизация достигаются при снижении температуры от 1100°С до 700°С. Температура отжига

определяет характер сочетания магнитных и прочностных свойств. Оптимальную температуру отжига выбирают в зависимости от конструкции, технологии изготовления и условий эксплуатации конечных изделий (сортамент металла, вид и величина механических воздействий, сфера рабочих частот). Так, низкие температуры отжига (700...800 °С) более предпочтительны для деталей из тонкого листового проката (≤ 0.1 мм), эксплуатируемых под воздействием механических нагрузок в области высоких рабочих частот.

Применение по отношению к сплаву 81НМА низкотемпературного отжига вместо высокотемпературного позволяет значительно повысить прочностные характеристики на фоне некоторого снижения магнитной проницаемости в постоянных полях. При этом высокий уровень комплексной проницаемости в интервале частот от 1 кГц и выше остается неизменным.

Основные технологические данные

Сплавы 16ЮХ и 16ЮИХ – труднодеформируемые. Полосы конечных толщин получают методом теплой прокатки с подогревом до 650°С. Образцы и детали из них изготавливают путем прокатки, используя твердосплавные штампы, что обеспечивает отсутствие сколов и расслоения. Поверхностная оксидная пленка, образующаяся в ходе горячей/теплой прокатки полос, защищает детали от спекания при финишной высо-

котемпературной обработке и выполняет дополнительную электроизоляционную функцию при эксплуатации.

10СЮ – недеформируемый сплав. Представляется в литом состоянии в виде пластин (сутунок) толщиной 15...30 мм. Центральную зону и поверхностный слой сутунки не используют вследствие наличия в них неизбежных в ходе литья макро- и микродефектов. Ввиду высокой хрупкости сплав не подлежит механической обработке, за исключением шлифования. Детали изготавливают из литой заготовки методом электроискровой резки с последующим грубым и тонким шлифованием. Высокая хрупкость и малая теплопроводность сплава требуют разработки прецизионной технологии изготовления, исключающей возможность концентрации напряжений и возникновения микротрещин. В отличие от этих марок сплав 81НМА является высокотехнологичным, допуская обработку давлением, механообработку, сварку.

По своей структуре сплавы данной подгруппы являются однофазными твердыми растворами. Кристаллическая решетка – кубическая, в сплаве 81НМА границентрированная, в сплавах марок 16ЮХ и 16ЮИХ – объемноцентрированная.

При медленном охлаждении с температурном диапазоне $\leq 600^\circ\text{C}$ сплавы склонны к образованию упорядоченной атомарной структуры. Упорядочение структуры происходит на фоне измене-

ния физических констант, определяющих уровень магнитных свойств и удельного электросопротивления.

Так, для сплава 10СЮ высокие магнитные свойства отвечают упорядоченному состоянию атомарной структуры, что достигается в результате высокотемпературного отжига с последующим медленным охлаждением. Для сплавов упорядочение атомарной структуры сопровождается снижением уровня магнитных свойств, во избежание чего возникает необходимость ускоренного охлаждения в критическом диапазоне температур. Оптимальная степень разупорядочения и соответствующее высокопрочное состояние достигаются для сплава 81НМА при охлаждении от 600°C со скоростью 400...500 град/ч, для сплавов 16ЮХ и 16ЮИХ – при закалке с температуры 650...700 $^\circ\text{C}$.

Общее назначение

Сердечники магнитных головок аппаратуры магнитной записи звука, кода, видеоизображения при контактных и бесконтактных способах записи.

III.1.9. Магнитомягкие сплавы с заданным коэффициентом линейного теплового расширения

Общая характеристика

К сплавам данной подгруппы относятся следующие основные марки:

52Н; 47НД; 47Н5К.

Сплавы имеют железоникелевую основу. Для получения требуемых сочетаний ТКЛР, магнитных и механических свойств легируются добавками Си и Со.

ТКЛР данных магнитомягких сплавов близок к ТКЛР мягких стекол в температурном диапазоне 20...500 $^\circ\text{C}$ и составляет $\alpha=(8.5...11.0)\cdot 10^{-6}\text{град}^{-1}$. Сплавам данной подгруппы присуща высокая индукция магнитного насыщения ($B_s=13...16\cdot 10^3$ Гс) в сочетании с малой коэрцитивной силой $H_c=0.13...0.2$ Э. Сплавы не подвержены старению.

Основные технологические данные

Сплавы можно подвергать обработке давлением и резанием. Они хорошо поддаются сварке со стеклом, образуя прочный вакуум-плотный спай. Эксплуатация осуществляется после термообработки. Прошедшие термообработку сплавы становятся чувствительными к механическим напряжениям, которые, в зависимости от величины, могут приводить к необратимому ухудшению полезных свойств.

В структурном отношении сплавы данной подгруппы являются собой однофазные твердые растворы с границентрированной кристаллической решеткой (γ -фаза).

Общее назначение

Изготовление герметизированных магнитоуправляемых контактов (герконы).

III.1.10. Сплавы с высокой коррозионной стойкостью

Общие сведения

К сплавам данной подгруппы относятся следующие основные марки:

36КНМ; 16НХ.

Сплавы данной подгруппы характеризуются нормированными магнитными свойствами и коррозионной стойкостью в агрессивных средах.

Сплав 36КНМ – устойчив к коррозии в морской воде.

Сплав 16НХ успешно противостоит коррозионным воздействиям в следующих средах:

- в аммиачной, кислотной, щелочной и других агрессивных средах;

- в условиях повышенной влажности (до 98%);

- в бидистилляте воды при температурах до 200°C и давлении до 200 кг/см²;

- в растворе едкого калия при температурах до 110°C в присутствии кислорода;

- в тропических условиях;

- при воздействии тумана (в т.ч. морского), а также инея и росы.

Основные технологические данные

Сплавы практически изотропны. Их можно подвергать обработке давлением и резанием. Хорошо свариваются с нержавеющими немагнитными сталями. Применяются в термообработанном состоянии.

Все операции по изготовлению конечных изделий (обработка на металлорежущих станках, шлифование, штамповка и т.д.) осуществляют до финишной термообработки.

В структурном отношении сплавы данных марок представляют собой однофазные твердые растворы. При этом сплав 36КНМ обладает гранецентрированной кристаллической решеткой (γ -фаза), а сплав ферритного класса 16НХ – объемцентрированной кристаллической решеткой (α -фаза).

Сфера применения

36КНМ применяют в основном для изготовления изделий и деталей, эксплуатируемых в среде морской воды.

16НХ применяют для изготовления изделий, эксплуатируемых в условиях высокой влажности, аммиачной, кислотных, щелочных и других агрессивных средах при обычных и повышенных показателях температуры и давления. Он, в частности, используется при изготовлении магнитопроводов пневматических, электропневматических и электромагнитных запирающих устройств, якорей и электромагнитов управления, роторов и

статоров электрических машин без защитных покрытий.



Рисунок 12. Ротор электродвигателя

III.1.11. Сплавы с высокой магнито-стрикцией

Общие сведения

К сплавам данной подгруппы относятся следующие основные марки:

8Ю; 12Ю; 14Ю; 65К; 50КФ.

В них сочетаются высокая магнито-стрикция насыщения ($\lambda_s=35\div 80\cdot 10^{-6}$) и низкая коэрцитивная сила ($H_c=0.3\div 3.0$ Э).

В сплавах на базе Fe-Al содержится 8...14 % Al, на базе Fe-Co – 35...70 % Co.

Магнито-стрикционным материалом служит Ni, как в чистой форме, так и с легирующими включениями Co/Si.

Основные технологические данные

Сплавы этой подгруппы допускаются обрабатывать методами давления и механической обработки. Кроме того, они

хорошо поддаются сварке. Технологические свойства конечной продукции можно значительно улучшить, если механической обработке будет предшествовать термообработка в вакууме или водороде в температурном интервале 800...900 °С. Конечные изделия считаются готовыми к эксплуатации после соответствующей финишной термообработки. Сплавы, подвергнутые термообработке, становятся чувствительны к воздействию механических напряжений, результатом чего может стать необратимое ухудшение полезных качеств.

Общее назначение

С применением магнито-стрикционных сплавов магнитомягкой группы производят сердечники магнито-стрикционных преобразователей в ультразвуковой и гидроакустической аппаратуре, в составе электро-механических фильтров и линий задержки. Сплавы на ферроалюминиевой основе используют также в качестве магнитомягких материалов высокой прочности с высоким удельным электросопротивлением, а ферробальтовые сплавы – в качестве магнитомягких материалов, имеющих высокую индукцию насыщения. Сплав для тех или иных конкретных целей подбирают исходя из сочетания его полезных качеств.

III.1.12. Термомагнитные сплавы и материалы

Общая характеристика

К сплавам данной подгруппы относятся следующие основные марки:

31НХГ; 31НХ; 32НХ; 33НХ; 38НХ; 33НЮ; 30НГ; 32НХЮ.

Все они характеризуются сильной зависимостью магнитной индукции от температуры вследствие близости точки Кюри к температуре окружающей среды. Индукция убывает с ростом температуры по закону, близкому к линейному, с крутизной снижения индукции в рамках 30...60 Гс/град в области магнитных полей 30...1500 Э. Интервал рабочих температур составляет – 60...+170°С.

Основные технологические данные

Сплавы можно обрабатывать давлением и резанием. При нелокальном дополнительном наклепе наблюдается искажение свойств. Ни один из термомагнитных сплавов нельзя подвергать сварке/пайке. Сплавы, как правило, применяются без термообработки.

Общее назначение

Магнитные шунты и дополнительные магнитные сопротивления в сфере приборостроения и электронной техники, предназначенные для устранения изменения температурной зависимости показаний приборов, содержащих магнитные цепи, бесконтактные температурные датчики, элементы тепловых реле.

III.2. Магнитотвердые сплавы

К группе магнитотвердых* (магнитожестких) причисляют прецизионные

сплавы, имеющие достаточно высокие индексы прямоугольности гистерезисной петли и большую коэрцитивную силу H_c .

**Примечание. Магнитотвердые материалы — материалы с высокой коэрцитивной силой по индукции ($H_c > 4$ кА/м), которые намагничиваются до насыщения и перемагничиваются в сравнительно сильных магнитных полях напряжённостью в тысячи и десятки тысяч А/м. После намагничивания магнитно-твердые материалы остаются постоянными магнитами из-за высоких значений коэрцитивной силы и магнитной индукции.*

Основные марки магнитотвердых прецизионных сплавов приведены в разделе IV. Химический состав и прочие требования к ним регламентируются согласно ГОСТ 10994-74.

Важнейшими качественными критериями свойств сплавов магнитотвердой группы являются показатели:

- коэрцитивной силы H_c ;
- остаточной индукции B_r ;
- максимальной удельной магнитной энергии, отдаваемой во внешнюю среду W_{max} .

Магнитопроницаемость μ магнитожестких сплавов характеризуется значительно более низкими значениями в сравнении с магнитомягкими. Здесь наблюдается следующая зависимость: с

повышением магнитной «твердости» увеличивается значение коэрцитивной силы H_c и уменьшается значение магнитопроницаемости.

Намагничивание до полной насыщенности и перемагничивание магнитожестких сплавов происходит в условиях полей значительной силы, напряженность которых может достигать тысяч и даже десятков тысяч А/м. Процесс перемагничивания заключается в изменении направленности намагничивания образца на противоположную под воздействием внешних полей.

Характерными особенностями являются высокие значения таких параметров, как коэрцитивная сила, остаточная магнитная индукция, магнитная энергия на размагничиваемом участке («спинке» гистерезисной петли). В качестве магнитотвердых используют, к примеру, сплавы типа «магнико», «ални», «викаллой», ряд ферритов, а также композиции Co с редкоземельными металлами.

Основами магнитожестких материалов, применительно к сфере эксплуатации, могут являться следующие химические системы.

1. Fe-Ni-Al, Fe-Co-Ni-Al, Fe-Cr-Co, Fe-Co-V, Fe-Cr-Ni – сплавы для постоянных магнитов.

2. Fe-Co-V, Fe-Co-Ni-V, Fe-Co-Cr-V, Fe-Cr-W, Fe-Co-W-Mo – сплавы для гистерезисных двигателей.

3. Fe-Co-Cr, Fe-Ni, Fe-Co-Ni – сплавы для элементов памяти и носителей магнитной записи.

К первому типу относятся:

а) сплавы марок 52K11Ф (52КФВ), 52K12Ф (52КФБ), 52K13Ф (52КФА), у которых значение коэрцитивной силы по индукции находится в диапазоне $H_{cB}=15\div 40$ кА/м, магнитной энергии - $(BH)_{max}=12\div 28$ Тл·кА/м (применение – малогабаритные магниты толщиной или $\varnothing 0,2\text{...}3$ мм).

б) сплавы марок EX3, EB6 (E7B6), EXK5, EX9K15M2 (EX9K15M), у которых значение коэрцитивной силы по индукции находится в рамках интервала $H_{cB}=5\div 12$ кА/м, магнитной энергии – $(BH)_{max}=1\div 2$ Тл·кА/м (применение – создание недорогих магнитов, имеющих неотвечественное назначение).

Использование постоянных магнитов необходимо для того, чтобы обеспечить требуемую напряженность магнитного поля или заданный магнитный поток в сфере рабочего пространства.

Ко второму типу относятся:

а) сплавы марок 52K10Ф (52КФ10), 52K11Ф (52КФВ), 52K12Ф (52КФБ), 52K13Ф (52КФА), 35KФ10Н, у которых диапазон значений напряженности поля при максимальной проницаемости составляет $H_{cmax}=12\div 33$ кА/м, индекс выпуклости гистерезисной петли –

$\mu_{max}=0,5\div 0,6$ (применение – изготовление шихтованных роторов электродвигателей, имеющих среднюю и высокую мощность).

б) сплавы марок 35KX4Ф, 35KX6Ф, 35KX8Ф, у которых диапазон значений напряженности поля при максимальной проницаемости составляет $H_{cmax}=3,2\div 8,6$ кА/м, индекс выпуклости гистерезисной петли – $\mu_{max}=0,55\div 0,68$ при повышенном удельном электросопротивлении $\rho=0,8$ мкОм·м и пониженной в сравнении со сплавами типа 52КФ чувствительности к температуре отпуска (применение – изготовление шихтованных роторов электродвигателей, имеющих невысокую мощность и функционирующих на частотах >1000 Гц).

В роторах гистерезисных ЭДВ задачей магнитотвердых сплавов является создавать крутящий момент роторов машин при работе в условиях переменных магнитных полей, напряженностью 1,6...32 кА/м в зависимости от конструктивных особенностей и эксплуатационного предназначения ЭДВ.

К третьему типу причисляют линейку сплавов марок: 35KX12, 35KX15, 37KX12. Значения их характеристик при измерении в поле составляют:

максимальная напряженность магнитного поля для данного цикла намагничивания $H_{max}=16$ кА/м;

коэрцитивная сила $H_c=2,0\div 5,6$;

максимальная индукция для данного цикла намагничивания $B_{\max}=1,6 \div 1,9$ Тл;

коэффициент прямоугольности $B_t/B_{\max}>0,85$.

Применение – элементы с внешней памятью типа феррит.

Широкое распространение в промышленности получили используемые главным образом для изготовления постоянных магнитов литые сплавы на основе систем Fe-Co-Ni-Al и Fe-Ni-Al, имеющие (при высокой) остаточной индукции ($B_r=13.5 \dots 6.5$ кГс) показатели:

коэрцитивной силы – $H_c = 400 \dots 2000$ Э;

магнитной энергии – $(BH)_m = 1 \dots 13 \cdot 10^{-6}$ Гс·Э.

Такие сплавы, как правило, являются дисперсионно твердеющими. Распад высокотемпературной β_2 -фазы приводит к образованию частиц сильномагнитной β -фазы. Высокая коэрцитивная сила сплавов обеспечивается малыми размерами (близкими к однодоменному) и высокой анизотропией формы этих частиц. Поликристаллические сплавы подвергаются термомагнитной обработке, при которой частицы сильномагнитной β -фазы выделяются вдоль тех направлений слабомагнитной β_2 -фазы, которые совпадают с направлением приложенного магнитного поля или близки к нему.

Магниты из этих сплавов применяются в электромашинах, электроизмерительных, радиотехнических и других приборных устройствах, а также изделиях специального назначения.

Особое место среди магнитотвердых материалов занимают деформируемые сплавы, которые удается получать в малых (вплоть до микронных) сечениях при самых различных магнитных и высоких механических свойствах.

В состав сортамента выпускаемой первичной продукции входят формы плоского (лента, лист) и круглого (провода, прутки) проката. Виды заготовок выбирают сообразно конкретной сфере применения.

III.3. Сплавы с заданным температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР)

Общие сведения

Основной технический критерий, характеризующий сплавы данной группы – показатели ТКЛР в определенных интервалах температур применительно к условиям практического использования. Таким образом, эти сплавы обеспечивают требуемое изменение линейных размеров изделия в тех или иных терморежимах.

Температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР) называют физическую величину, характеризую-

щую относительное изменение линейных параметров тела при повышении температуры на 1°K в условиях постоянного давления. Условно его значения подразделяют на минимальные, низкие, средние, высокие. Величина значений определяется исходя из базисной основы химического состава сплава.

Сплавы с заданными значениями ТКЛР создаются на базе следующих химических систем.

Магнитные материалы имеют железоникелевую (Fe-Ni) и железохромовую (Fe-Cr) основу, отличаясь минимальными, низкими и средними значениями коэффициента.

Немагнитные материалы – это композиции на базе Cr с легирующими включениями Fe, Mn, Re, Ta и других химических элементов. Они имеют минимальные и низкие значения ТКЛР.

Средними показателями температурного коэффициента характеризуются сплавы:

-на базе Ni с включениями Mo, W, Cr, Mn;

-на базе Zr в сочетании с Ti;

-на базе Ti, легированного Mo и V.

Высокими значениями ТКЛР характеризуются сплавы на основе Mn-Ni-Cu.

Основные марки прецизионных сплавов с с заданным ТКЛР приведены в разделе IV настоящего обзора. Химический состав и прочие требования к ним регламентируются согласно ГОСТ 10994-74.

Классификация

Сплавы с заданными значениями ТКЛР по их магнитным свойствам подразделяют на типовые категории магнитных и немагнитных. Внутри каждой из категорий выделяют соответствующие подтипы материалов, имеющих минимальные, низкие, средние и высокие значения ТКЛР. В приведенной ниже таблице отображены основные линейки марок сплавов рассматриваемых категорий с указанием значений ТКЛР и практического назначения.

Таблица 1. Примерное назначение и основные технические характеристики сплавов с заданным ТКЛР

Группа	Марка	Общая техническая характеристика	Назначение
Ферромагнитные сплавы			
Минимальный ТКЛР	36Н 36Н-ВИ 32НҚД 32НК-ВИ 32НК-ЭЛ 36НХ 35НКТ 35НКГ 39Н 36НГ6 36НГТ	Имеют ТКЛР ниже $3,5 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ до температуры не выше $100 \text{ }^\circ\text{C}$	Для различных деталей измерительных приборов, в метрологии, геодезии, в качестве составляющих термобиметаллов, для базисных устройств газовых лазеров, трубопроводов криогенных жидкостей и т. п. Выбор сплава производится с учетом его температурного коэффициента, механических свойств, устойчивости к фазовым превращениям в интервале рабочих температур и нагрузок
	Низкий ТКЛР		
	30НДК 29НК 30НКФ	ТКЛР от 4 до $7 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ и низким тепловым расширением после температуры перегиба	Широко применяются для вакуумноплотных соединений со стеклами С39-1, С48-1, С52-1, С59-3 и т. д.

Таблица 1. (продолжение)

Группа	Марка	Общая техническая характеристика	Назначение			
Ферромагнитные сплавы						
Средний ТКЛР	34НК 31НК 24НК 33НК	Имеют ТКЛР $5,5-8,0 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ до температуры перегиба и минимальный температурный коэффициент выше температуры перегиба	Для соединения с керамикой типа «22ХС» и «поликор», лейкосапфиром и т. п. высокотемпературными припоями с температурой плавления $800-1000 \text{ }^\circ\text{C}$			
	38НҚД 47НХ 48НХ 47Н3Х 47НХР 50Н3ХЮ 18ХТФ 52Н 47НД			ТКЛР от $7-12 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$	Для соединения с мягкими стеклами С80-1, С72-1, С76-4, С95-3, С94-1, С93-2, С93-4, С90-1 и т. д.	
	58Н-ВИ	ТКЛР $11 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$	Для штриховых мер с постоянством размеров во времени			
Немагнитные сплавы						
Минимальный ТКЛР	95ХК 96Х	Имеют ТКЛР от 1 до $6 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ до температуры не выше $100 \text{ }^\circ\text{C}$	Для изготовления деталей, от которых требуется высокая стабильность размеров, повышенная твердость, коррозионная стойкость и отсутствие искажений магнитных полей			
	75НМ-ВИ 80НМВ 80НМВХ3 76НХВГ			ТКЛР от 10 до $15 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ до температуры $900 \text{ }^\circ\text{C}$	Для соединения с «мягкими» стеклами и керамикой, как конструкционный материал с заданным ТКЛР	
	93ЦТ					ТКЛР $6 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ до температуры $700 \text{ }^\circ\text{C}$
	72ТФ 75ТМ					ТКЛР $8-10 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ до температуры $900 \text{ }^\circ\text{C}$
Высокий ТКЛР	56ДГНХ 70ГНДХ	ТКЛР выше $15 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ в интервале температур от $20 \text{ }^\circ\text{C}$ до температуры плавления	Для деталей, согласованных по тепловому расширению с алюминиевыми сплавами, и для активных составляющих термобиметаллов			

Формы выпуска

Промышленностью сплавы с заданным ТКЛР выпускаются, главным образом, в форме плоского (лента, полоса), а также круглого проката (проволока, прутки, трубы). Та или иная форма выпуска выбирается применительно к конкретной сфере эксплуатации.

Сфера применения

Наряду с показателями ТКЛР, для практического применения изделий из данных сплавов важное значение имеет комплекс технологических, физических, механических и химических свойств. Первые определяют, какой тип продукции и каким способом можно изготовить. Прочие обеспечивают наличие требуемых эксплуатационных характеристик (режимы рабочих температур, величину механических нагрузок, характер среды и т. д.). Кроме того, все сплавы данной линейки имеют достаточную прочность и высокую пластичность (определяется возможностью обработки давлением), что позволяет изготавливать из них продукцию широкой заготовочной номенклатуры.

В метрологической, криогенной, радиоэлектронной и геодезических областях востребованными являются сплавы с показателями ТКЛР ~10-6 К-1 и менее. Материалы со значениями ТКЛР, близкими к нулевой отметке, используют с целью создания высокоточных измерительных приборов и инструментов, стабильных эталонов длины, газолазерного

оборудования, а также для изготовления трубопроводов безкомпенсационного типа, по которым перекачивают сжиженные газы.

Множество разновидностей электровакуумной, газоразрядной и полупроводниковой техники имеет в своей конструкции спаи металла и диэлектрика неорганического генеза (стекло, керамика, слюда и т. п.), которые должны обеспечивать высокую герметичность. Чтобы получить вакуум-плотные спаи, стекла, керамики или полупроводников со сплавами, требуется добиться соответствия значений ТКЛР в компонентах пары металл-диэлектрик. Допустимые различия в показателях коэффициентов определяются конструкцией и качеством спая (плотность, пластичность), а также свойствами оксидной пленки. При значительном несоответствии значений ТКЛР в спае могут возникнуть напряжения, приводящие к образованию микротрещин и, как следствие, к утрате герметичности.

Сплавы с ферромагнитными свойствами, имеющие минимальные значения ТКЛР, используют при создании ответственных составляющих высокоточных КИПиА, в качестве компонентов термометаллов, в конструкции газозерных устройств, криогенных трубопроводов и т.п. Марку сплава выбирают исходя из значения его ТКЛР, устойчивости к фазовым преобразованиям и различным нагрузкам в рабочем температур-

ном диапазоне. Сплавы рассматриваемой группы с низкими и средними показателями ТКЛР используют при изготовлении электровакуумного оборудования, в частности, ламповых усилителей, магнетронов, клистронов, телевизионных кинескопов, герметичных вводов и корпусов полупроводниковой техники.

III.4. Сплавы с заданными свойствами упругости

Общие сведения

Прецизионные сплавы с заданными свойствами упругости – соединения, которым присущи высокая сопротивляемость к малым значениям пластической деформации и релаксационная устойчивость при статических и циклических нагрузках.

Релаксационной стойкостью называют свойство сплава оказывать сопротивление релаксационным воздействиям, например, механическим напряжениям. Сущность явления релаксации в данном случае заключается в самопроизвольно и постепенно затухающем падении напряженности материала благодаря тому, что упругая деформация преобразуется в пластическую. В качестве типичного примера данного явления можно привести уменьшение напряженности во внутренней и поверхностной структуре болтов и шпилек, скрепляющих фланцевые соединения. Изначальный момент затяжки болтов и гаек со временем несколько уменьшается (осо-

бенно в режиме повышенных температур), поскольку часть упругой деформации преобразуется в пластическую.

Сплавы данной группы служат для изготовления пружинных изделий, упругочувствительных компонентов КИПиА, часовых механизмов, различных мембран, а также резонаторов фильтрующих устройств. С их помощью осуществляется выбор, генерирование и настройка заданных частот.

Основные марки прецизионных сплавов с заданными свойствами упругости приведены в разделе IV данного обзора. Химический состав и прочие требования к ним регламентируются согласно ГОСТ 10994-74.

Классификация

По химическому составу, способам упрочнения и основным физико-механическим свойствам материалы с заданной упругостью подразделяют на три основные типовые категории.

1. Дисперсионно-твердеющие сплавы*:

- основа – Fe-Ni-Cr;
- основа – Fe-Ni-Cr-Mn;
- основа – Ni-Cr;
- основа – Co-Ni;
- основа – Nb-Ti.

*Примечание. Дисперсионно-твердеющие сплавы (англ. dispersion hardened

alloys) — сплавы, прочность которых определяется дисперсными частицами, выделяющимися из пересыщенного твёрдого раствора в виде новой фазы.

Дисперсионное твердение — упрочнение за счёт выделения из пересыщенного твердого раствора большого количества частиц второй (мелкодисперсной) фазы. За счёт того, что частицы мелкодисперсной фазы препятствуют перемещению дефектов кристаллической решётки (дислокаций), сплав упрочняется. Дисперсионно-упрочненные материалы (англ. dispersion-strengthened materials) — композитные материалы, в связующий компонент которых (матрицу) включены армирующие элементы в виде специально вводимых частиц (примесных или дисперсных фаз). Оптимальным образом подобранным распределением включений достигается значительное повышение прочности такого

материала по сравнению с материалом матрицы.

2. Деформационно-твердеющие сплавы:

-основа – Co-Cr-Ni;

-основа – Fe-Cr-Ni;

-основа – Mo-Re.

3. Сплавы с температурно-стабильным модулем упругости:

-основа – Fe-Ni-Cr;

-основа – Fe-Ni-Co.

В приведенной ниже таблице отображены основные линейки марок сплавов рассматриваемых категорий с указанием важнейших свойств и их количественных параметров, а также практического назначения.

Таблица 2. Примерное назначение и основные технические характеристики сплавов с заданными свойствами упругости

Марка	Общая техническая характеристика	Назначение
Дисперсионно-твердеющие сплавы		
36НХТЮ (ЭИ702) 36НХТЮ5М (ЭП51) 36НХТЮ8М (ЭП52) 30НГХТЮМ 30НГХТЮМД 70НХБМЮ 52НХХБМЮ 40НХХТЮМД 47ХНМ-ВИ (ЭП530)	Повышенные прочностные и упругие свойства, релаксационная стойкость при температурах от -269 до 250-700 °С, коррозионная стойкость в атмосферных условиях и ряде агрессивных сред, немагнитность	Упругие чувствительные элементы - мембраны, сильфоны, трубки Бурдона, anerоидные коробки, витые и плоские пружины, детали электровакуумных приборов, узлов автоматики, работающие в агрессивных средах и в широком интервале температур
40ХНЮ-ВИ (ЭП793)	Высокая твердость, коррозионная стойкость в условиях морского и тропического климата, немагнитность	Керны, подшипники приборов, режущие медицинские инструменты
67КН5Б-ВИ	Высокие прочностные, упругие свойства и релаксационная стойкость до 400-450 °С, низкое удельное электросопротивление	Токоведущие упругие элементы, контактные пружины для электромагнитных и ртутных реле
55БТЮ	Релаксационная стойкость до 500 °С, низкий модуль упругости, пониженный ТКМУ, высокая коррозионная стойкость в агрессивных средах, немагнитность	Упругие чувствительные элементы ответственного назначения для работы в агрессивных средах и до 400-500 °С

Таблица 2. (продолжение)

Марка	Общая техническая характеристика	Назначение
Деформационно-твердеющие сплавы		
40КХНМ 40КХНМВ 40КХНМИ 40КНХМВТЮ	Высокие прочностные и упругие свойства, немагнитность, коррозионная стойкость, долговечность, износостойкость	Заводные пружины пружинных двигателей и наручных часов, витые цилиндрические пружины, керны электроизмерительных приборов, хирургические детали, растяжки и торсионы (40КХНМВ)
45КХВН	Высокая твердость, износостойкость, свойства упругости, теплостойкость до 500-600 °С, коррозионная стойкость, немагнитность	Пишущие элементы аппаратов связи, каркасы искусственных клапанов сердца
40К27ХНМ с Та	Электрохимическая стойкость в физиологическом растворе и организме человека, долговечность	Жилы и детали кардиостимуляторов, противотромбозные фильтры, иглы для иглоукалывания
14Х6Н4Г 14Х6Н4ГДМ	Высокие прочностные свойства, теплостойкость до 250 °С, коррозионная стойкость в ряде сред	Пружины общего назначения, рулонные пружины
12ХНКМТЮ	Высокие прочностные и упругие свойства, высокая живучесть, коррозионная стойкость	Заводные пружины автомобильных ремней безопасности, рулонные пружины щеткодержателей электрических машин
50МИ	Высокие прочностные и упругие свойства, релаксационная стойкость до 900 °С	Растяжки, торсионы, работающие при высоких температурах

Таблица 2. (продолжение)

Марка	Общая техническая характеристика	Назначение
Сплавы с температурно-стабильным модулем упругости (элинвары)		
42НХТЮ 44НХТЮ 42НХТЮА	Температурная стабильность модуля упругости от -269 до +100-200 °С, повышенные прочностные и свойства упругости	Упругие чувствительные элементы прецизионных приборов, расходомеры, регуляторы скорости, датчики линейных ускорений, измерители плотности жидкостей, динамометры электронных весов, волосковые спирали часовых механизмов (42НХТЮА)
43НКТЮ 30Н25КТЮ (ЭК4)	Температурная стабильность модуля упругости до 300-400 °С. Повышенный уровень механических характеристик	Датчики давления и температуры глубоководных приборов, расходомеры
43НХВТ	Большой положительный температурный коэффициент частоты (ТКЧ), $(+50)-(+70) \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$	Электромеханические фильтры с пьезокерамическими преобразователями
45НХТ (ЭП218)	Минимальный ТКЧ $(\pm 5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1})$ в интервале от -40 до +60 °С	Резонаторы электромеханических фильтров
37Н11Х (ЭП297) 36Н11Х	Малый температурный коэффициент модуля упругости до 100 °С, повышенная коррозионная стойкость	Прецизионные упругие чувствительные элементы, работающие в слабоагрессивных средах
У8/75Н34Х8Г3 (ЭП636) У8А/40Н35Х8Г	Камертонный биметалл с минимальным ТКЧ (менее $3 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$)	Камертонные генераторы, стабилизаторы частоты
90БТ	Немагнитный элинвар с низким модулем упругости	Упругие чувствительные элементы, линии задержки, электромеханические фильтры

(Источник: www.metotech.ru)

Технологические требования

Сплавы данной группы должны соответствовать ряду специальных требований.

Необходимо, в частности, чтобы они обладали высокими или, напротив, низкими количественными значениями модуля упругости, небольшим температурным коэффициентом упругости, малым упругим гистерезисом*.

**Примечание: Теорией упругости предусмотрено явление гистерезиса, наблюдаемое по отношению к поведению «умных» упругих материалов, способных сохранять деформированность при высоком давлении и обретать исходную форму и упругое последствие под воздействием обратного давления (напр., вытягивание сжатых стержней).*

Кроме того, такие сплавы должны обладать высокой усталостной прочностью, пластичностью, ковкостью, хорошей свариваемостью, коррозионной и износостойкостью, а также свойствами немагнитности и электропроводности, причем необходимо, чтобы данные характеристики проявляли стабильность количественных значений в условиях эксплуатационных температурных режимов.

Формы выпуска

Промышленностью сплавы с заданным коэффициентом упругости производятся в следующем сортаменте:

-плоский прокат (в формах лент, полос, листов);

-круглый прокат (в формах прутков, проволоки, труб).

Заготовки тех или иных разновидностей выбирают применительно к назначению конечной продукции.

Сфера применения

Сфера промышленного применения изделий, для изготовления которых используют прецизионные сплавы с заданными свойствами упругости, весьма обширна, включая в себя целый ряд упругочувствительных элементов, датчиков, разнообразных пружин, а также медицинского инструментария.



Рисунок 13. Пружина медицинского иглодержателя.

Из дисперсионно-твердеющих сплавов производят продукцию в виде:

упругочувствительных элементов, эксплуатируемых в широчайшем температурном интервале ($-250...400$ °С) применительно к конкретным маркам;

датчиков давления, используемых в диапазоне температур $-253...250$ °С;

пружин силового и тарельчатого типа, используемых в подземном оборудовании скважин, где добывается природный газ, содержащий высокий процент H_2S .

Некоторые из коррозионно-стойких марок также применяют как конструкционных материалы.

Из деформационно-твердеющих материалов изготавливают:

-теплостойкие и заводные пружины;

-кernы приборов электроизмерительного назначения;

-геодезические и гироскопические устройства (упругие элементы микронных сечений);

-плоские мембраны;

-упругие торсионные элементы, эксплуатируемые при высоких температурах в вакуумной, инертно-газовой и водородной средах.

Материалы, имеющие температурно-стабильный модуль упругости, востребованы для изготовления:

-упругочувствительных компонентов высокоточных безкомпенсационных КИ-ПиА;

-волосковых и спиральных часовых пружин;

-пружин геликоидального типа;

-датчиков давления;

-резонаторов в электромеханических фильтрах;

-барокоробок, сильфонов, звукопроводов, регуляторов скорости вращения коленвалов ДВС.

Отдельного внимания заслуживает сфера применения упругих материалов в медтехнике, в частности, для изготовления имплантатов и инструментов. Общее и обязательное требование, предъявляемое к таким материалам, особенно к имплантатам, которые вживляются в человеческий организм – полная химическая нейтральность и отсутствие реакции отторжения со стороны живых тканей. Материалы, обладающие всем необходимым комплексом требуемых физико-механических свойств (предел упругости, усталостные характеристики и др.), не должны способствовать развитию воспалений, тромбообразованию, некрозам.

С применением сплава марки 36НХТЮ (тонкостенные трубки $\varnothing 0,8...2,0$ мм) изготавливают иглы для инъекций.

Из сплава 40КХНМ производят:

-сшивные скобы и клипсы для операций на кровеносных сосудах;

-элементы протезов глазных яблок;

-специальные «гвозди», используемые при скреплении костных тканей;

-протезы суставов;

-витые пружины, при помощи которых осуществляется барическое сращивание переломов;

кратковременные стимуляторы сердечной деятельности и др.

Сплав марки 40K27XHM с включением тантала имеет более высокую коррозионную стойкость в тканях организма и физрастворе, нежели сплав 40KXHM.

Основная сфера применения:

-в виде проволоки $\varnothing 0,15...0,2$ мм с деформацией 30-40% – для изготовления электродов, при помощи которых осуществляется продолжительная либо постоянная стимуляция работы тканей и органов (сердце, головной мозг, органы малого таза, желудочно-кишечный тракт и др.);

-в виде ленты толщиной 0,13-0,15 мм с деформацией 30-40% – для изготовления фильтров, препятствующих образованию тромбов;

-в виде умягченного горячекатаного листа толщиной 5...12 мм и проволоки $\varnothing 0,9...1,1$ мм с деформацией 30-40% – для изготовления искусственных сердечных клапанов (каркасы);

-иглы для иглотерапии;

-упругие элементы для коррекции искривлений оси позвоночника и конечностей, лечения костных травматических патологий.

Из сплава марки 40XНЮ-ВИ, отличающегося высокой износо- и коррозионной стойкостью в стерилизующих средах изготавливают хирургические инвазивные инструменты (скальпели, зажимы, пинцеты, зонды и т.п.) с более высокими эксплуатационными характеристиками, чем у обычных стальных аналогов.



Рисунок 14. Диссектор и Ножницы-лапароскопические медицинские.

III.5. Сплавы с высоким электрическим сопротивлением (удельное омическое сопротивление R), обладающие трубчатым сочетанием заданных электрических параметров, жаростойкости и ряда других полезных свойств

Общие сведения

К группе прецизионных сплавов, характеризующихся высокими показателями удельного электросопротивления, относятся материалы, которые, помимо этого основного свойства, обладают также заданными значениями температурного модуля электросопротивления.

Подробное описание основных марок представлено в разделе IV настоящего обзора. Химический состав указан согласно ГОСТ 10994-74.

Классификация

Прецизионные сплавы высокого электросопротивления обычно подразделяют на две основные категории исходя из химического состава, основных физико-механических свойств и практического назначения, предусматривающего использование для изготовления электронагревательных или резистивных элементов.

Для нагревательных элементов:

-основа – Ni-Cr: марки X15H60, X20H80

-основа – Fe-Cr-Al: марки X23Ю5Т, X27Ю5Т

Для резистивных элементов:

-основа – Ni-Cr: марки H80XЮД-ВИ, X20H75Ю-ВИ

-основа – Ni-Mo: марки HM23XЮ-ВИ

-основа – Fe-Cr-Al: марки X21Ю5ФМ-ВИ

В приведенной ниже таблице отображены основные линейки марок сплавов рассматриваемых категорий с указанием важнейших свойств и их количественных параметров, а также практического назначения.

Таблица 3. Примерное назначение и основные технические характеристики сплавов с высоким электросопротивлением

Марка	Общая техническая характеристика	Назначение
Для нагревателей на основе Fe-Cr-Al		
15 X Ю5 X23Ю5 (0X23Ю5A) X23Ю5T (0X23Ю5TA) X27Ю5T (0X27Ю5A)	Жаростойки в атмосферах: окислительной, содержащей серу и сернистые соединения, углеродсодержащей, водороде, вакууме. Работают в контакте с высокоглиноземистой керамикой с низким содержанием окислов железа. Склонны к ползучести при больших температурах	Электронагреватели печей, быто-вых приборов и аппаратов тепло-вого действия. Токовводы
Для нагревателей на основе Ni-Cr		
X15Н60-Н X20Н80-Н	Жаростойки в окислительной атмосфере, в азоте, аммиаке. Неустойчивы в атмосфере, содержащей серу и сернистые соединения. Более жаропрочны, чем материалы на основе Fe-Cr-Al	Электронагреватели печей и бытовых приборов
XН70Ю XН60Ю3 X15Н60Ю3А	Жаростойки в окислительной атмосфере, водороде, вакууме. Более жаропрочны, чем сплавы на основе Fe-Cr-Al	Электронагреватели печей. Крюки для подвески нагревателей
XН20ЮС (ЭКИ)	Жаростоек в окислительной атмосфере. Более жаропрочен, чем сплавы на основе Fe-Cr-Al	Электронагреватели печей, аппаратов теплового действия и бытовых приборов. Токовводы для нагревателей из Ni-Cr

Таблица 3. (продолжение)

Марка	Общая техническая характеристика	Назначение
Материалы для резисторов		
ЭП277-ВИ	Предельный интервал рабочих температур: 20-300 °С	Для малогабаритных резистивных элементов
Н63ГХ с Ga	(-70)-200 °С	
Н80ХЮД-ВИ	(-70)-350 °С	
НМ10ХС	(-269)-300 °С	
X20Н75Ю-ВИ	(-70)-350 °С	Для прецизионных печатных резисторов
НМ23ХЮ-ИЛ	(-196)-540 °С	Для прецизионных проволочных и печатных резисторов
НМ20ЮФ с Ge	(-269)-500 °С	Для резистивных элементов высшего класса точности, низко- и высокотемпературных тензорезисторов
X20Н73ЮМ-ВИ	(-196)-400 °С	Для высокотемпературных тензорезисторов и прецизионных печатных резистивных элементов
НМ10ХЮ с Ge	(-196)-450 °С	Для низко- и высокотемпературных тензорезисторов и прецизионных печатных резисторов
НМ23ЮФ-ВИ	(-269)-500 °С	
X13Ю5ФМ-ВИ	(-269)-400 °С	Для низко- и высокотемпературных элементов сопротивления и тензорезисторов
НМ23ХЮ-ВИ	(-269)-400 °С	Для высокотемпературных тензорезисторов

Технологические требования

Показатели наиболее значимых в практическом отношении технологических параметров во многом определяются промышленным назначением изделий. Так, значения температурного модуля электросопротивления сплавов, из которых производят резистивные элементы, должны варьироваться в интервале $10^{-6} \dots 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ применительно к конкретному применению той или иной марки в составе конечной продукции.

У сплавов для элементов нагрева при обязательном высоком электрическом сопротивлении должен также обеспечиваться минимальный уровень колебаний на всем протяжении элемента.

Общими требованиями для всех сплавов данной классификационной группы являются обеспечение стабильности электрических свойств во время эксплуатации, линейной зависимости электросопротивления от температурного фактора, высокой пластичности и ковкости, требуемой предельной рабочей температуры в заданных пределах, и, как следствие, продолжительного срока службы.

Формы выпуска

Промышленностью сплавы с высоким электросопротивлением производятся в следующем сортаменте:

-плоский прокат (в формах плющенных лент, полос, листов);

-круглый прокат (в формах прутков, проволоки, труб).

Заготовки тех или иных разновидностей выбирают применительно к назначению конечной продукции.

Сфера применения

Сплавы данной группы используют преимущественно для изготовления таковой конечной продукции:

-элементы сопротивления (для резисторов, реостатов, термометров электросопротивления, различных датчиков, контролирующих и регулирующих устройств);

-элементы нагрева для промышленной и бытовой теплотехники (электропечи, токовводы, электроотопительные приборы и устройства).

III.6. Сверхпроводящие (криогенные) сплавы

Общие сведения

Группа сверхпроводящих прецизионных сплавов – проводниковые материалы особого типа, характеризующихся нулевым значением электросопротивления в пределах определенного интервала температур при заданных характеристиках магнитного поля и плотности электротока.

Основными сверхпроводящими параметрами являются показатели:

-критической температуры перехода от сверхпроводящего к нормальному состоянию (ТК);

-верхнего критического магнитного поля (Нк2);

-критической плотности тока (j_k) в условиях заданного поперечного поля и температуре более низкой в сравнении с ТК (эталонный критерий – температура жидкого He 4.2°K).

Стабильное функционирование продукции из сплавов, обладающих свойством сверхпроводимости, возможно при одновременном соблюдении таких условий:

$T < \text{TK}$;

$H < H_{k2}$;

$j < j_k$.

Задачами разработки сверхпроводящих изделий и компонентов является также выполнение определенного комплекса требований в отношении их механических, электрических и тепловых характеристик.

Общее назначение

Сверхпроводящие материалы находят применение в физике высоких энергий для создания сильных источников поля, в криогенной электротехнике и энергетике (МГД-генераторы, вращающиеся электромашины, накопители энергии, линии передачи и др.), в элек-

тронно-вычислительной технике для создания быстродействующих сверхпроводящих элементов.

Сплавы 35БТ, 50БТ и 65БТ

В промышленности широко востребованными являются сверхпроводящие сплавы марок 35БТ, 50БТ и 65БТ, обладающие высокими показателями критической плотности тока в заданном поперечном магнитном поле при температуре 4.2°K. Являясь сверхпроводниками I рода, они созданы на базе системы Nb-Ti-Zr, характеризуясь значениями:

$j_k = 3 \cdot 10^4 - 10^5 \text{ A/cm}^2$;

$H_{k2} \sim 100 \text{ кЭ}$;

$\text{TK} \sim 8 \dots 10 \text{ }^\circ\text{K}$.

Основные технологические данные. Сплавы 35БТ, 50БТ и 65БТ можно подвергать горячему деформированию в пределах заданного температурного интервала, а также операции холодного волочения до $\varnothing 0.27 \text{ мм}$ с применением промежуточных этапов термообработки. Проволока из данных сплавов может поставляться с покрытием из меди и электроизолирующего лака.

Применение. Данные сплавы применяются, главным образом, с целью производства таких изделий, как сверхпроводящие соленоиды и тепловые ключи для включения/отключения сверхпроводящих магнитных устройств.

Сплавы 70ТМ и 70ТМ-ВД

Данные сплавы созданы на базе системы Ti-Mo, обладая значением ТК, близким к температуре жидкого He (4.2°K), а также малым температурным коэффициентом электросопротивления в нормальном состоянии.

Основные технологические данные. Сплавы можно подвергать горячему деформированию в заданном температурном интервале, а также операции холодного волочения до \varnothing 0.20 мм применением промежуточных этапов термообработки. Сплавы поставляют в холоднодеформированном состоянии, в форме проволоки \varnothing 0.25...0.35 мм с медным покрытием.

Применение. Для датчиков температуры и уровнемеров жидкого гелия.

Сплавы БТЦ и БТЦ-ВД

Данные сплавы на основе системы Nb-Zr характеризуются высокими значениями пластичности/прочности в нормальном состоянии.

Основные технологические данные. Сплавы допускают горячую и холодную деформацию. Поставляются в виде ленты толщиной 15...20 мкм.

Применение. Для изготовления сверхпроводниковых генераторов, коммутаторов в системах ввода/вывода сверхпроводящих магнитов, других криогенных устройств.

III.7. Термобиметаллы

Общая характеристика и маркировка

Термобиметалл – материал, состоящий, как правило, из двух сваренных между собой по всей поверхности соприкосновения слоев-компонентов, изготовляемых из прецизионных сплавов с различным значением ТКЛР.

Маркировка термобиметаллов регламентируется в соответствии с ГОСТ 10533-86 «Лента холоднокатаная из термобиметаллов. Технические условия», где, в частности, указано:

«Обозначение марок термобиметаллов состоит из буквенной аббревиатуры ТБ и последующих двух чисел, первое из которых означает удельный изгиб в °С, умноженный на 10, а второе – удельное электрическое сопротивление в Ом·м, умноженное на 10. Совпадение чисел в обозначении с номинальными значениями удельного изгиба и удельного электрического сопротивления не обязательно»

При этом марки сплавов, применяемых для активного и пассивного слоя термобиметалла, в основной маркировке не указываются, а представлены в соответствующих таблицах.

Основные марки термобиметаллов

Наиболее востребованными в промышленности являются следующие

представленные в 10533-86 и ГОСТ 10994-74 марки термобиметаллов:

ТБ200/113 (ТБ2013);

ТБ160/122 (ТБ1613);

ТБ148/79 (ТБ1523);

ТБ138/80 (ТБ1423);

ТБ129/79 (ТБ1323);

ТБ107/71 (ТБ1132);

ТБ103/70 (ТБ1032);

ТБ73/57 (ТБ0831);

ТБ103/70 (ТБ1032);

ТБ73/57 (ТБ0831);

ТБ95/62 (ТБ1031, ТБ68).

Сплавы-составляющие

Составляющую термобиметалла с более высоким значением ТКЛР называют активным слоем, с менее высоким – пассивным слоем.

Составляющие должны иметь резко отличающиеся ТКЛР, стабильность фазового состава сплавов в процессе деформации при рабочих температурах, а также возможно близкие механические свойства. В зависимости от назначения и требований к изготовлению для составляющих термобиметаллов (активный и пассивный слой) используются различные прецизионные сплавы. В наибольшей степени соответствуют этим требо-

ваниям сплавы на ферроникелевой основе с различными легирующими включениями.

Для активной составляющей используются в основном прецизионные сплавы типа Fe – Ni – Cr.

Для пассивного слоя применяются, главным образом, сплав 36Н (инвар), ТКЛР которого при 0°С равен $1 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Однако при нагреве выше точки Кюри (температура скачкообразного фазового перехода II рода) инвар утрачивает свои магнитные свойства, и для работы термобиметалла при температурах свыше 200°С используют сплавы с 42-50% Ni, имеющие более высокую точку магнитного превращения.

Марки сплавов, используемых в качестве активного и пассивного слоя термобиметаллов.

Для активного слоя:

75ГНД;

20НГ;

19НХ;

24НХ;

27М;

28НХТЮ.

Для пассивного слоя:

36Н;42Н;

46Н;

50Н;

45НХ;

45НХТЮ;

52НТЮ.

Эксплуатационные свойства и применение

Эксплуатационные характеристики термобиметаллов определяются физико-механическими свойствами составляющих компонентов и соотношением их толщин. Наиболее распространенные виды применяемых термобиметаллических элементов – плоские и U-образные пластины, диски, спирали, а также изделия более сложных конфигураций. Выбор термобиметаллических элементов для конкретных целей обусловлен выполняемой функцией и условиями эксплуатации в составе изделия.

При изменении температурного режима термобиметалл вследствие разницы ТКЛР активной и пассивной составляющей изгибается по дуге окружности. При этом возникают внутренние напряжения, которые при повышении температуры и нагрузки могут превысить предел упругости составляющих термобиметалла и вызвать их остаточную деформацию. Термобиметалл сохраняет свою работоспособность в области упругих деформаций.

Максимальные напряжения в нагреваемой биметаллической полосе возникают в месте соединения слоев, в поверхностной области их значения гораздо ниже. При нагреве в активном

слое действуют сжимающие напряжения, вследствие чего он располагается с выпуклой стороны, а пассивный – с вогнутой. При охлаждении полоса изгибается в противоположном направлении.

Благодаря простоте принципа действия термобиметаллы находят широкое применение в приборостроении для аппаратуры промышленного и бытового назначения. Как чувствительные элементы их используют для измерения не только непосредственно температуры окружающей среды, но также опосредованных процессов и параметров, связанных с изменением температуры. В этом случае термобиметаллы могут выполнять измерительные, термокомпенсационные, защитные или регулирующие функции. Так, например, в составе измерительных приборов термобиметаллические элементы используются в термометрических устройствах для измерения температуры воздуха, пара, жидкостей, в электрических и газовых печах, термостатах, радиаторах, датчиках давления масла, газа, нефти, в компенсаторах нагрева ДВС, в автоматических регуляторах напряжения, в системах контроля процесса циркуляции охлаждающих жидкостей. Применяют их также в качестве защитных элементов в автоматических переключателях, предохранителях, тепловых и защитных реле.

IV. МАРКИ ПРЕЦИЗИОННЫХ СПЛАВОВ В СОСТАВЕ КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ГРУПП

IV.1. Сплавы прецизионные магнитомягкие

ГОСТ 10160-75 Сплавы прецизионные магнитомягкие)

Прецизионный магнитомягкий феррохромовый сплав, легированный Mn, Ni.

IV.1.1. Сплав 16Х-ВИ (ЭП638-ВИ)

ГОСТ 10994-74 (Сплавы прецизионные. Марки);

Таблица 4. Химический состав сплава 16Х-ВИ (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr
Основа	до 0.015	до 0.2	до 0.3	до 0.3	до 0.015	до 0.015	15.5 - 16.5

Изготовление

Прецизионный магнитомягкий сплав 16Х-ВИ (или ЭП638ВИ) изготавливают методом вакуумно-индукционной выплавки (ВИ).

Техническая характеристика

Для данного сплава характерна высокая коррозионная стойкость в ряде кислотных и агрессивных сред и в средах с повышенной влажностью (до 98%), а также высокие магнитные свойства.

Сплав с высокой индукцией в слабых и средних полях и низкой коэрцитивной силой, с коррозионной стойкостью в ряде кислотных и агрессивных сред.

У сплава 16Х-ВИ высокая коррозионная стойкость.

За счёт того, что в сплаве практически отсутствуют вредные примеси, его можно отнести к изотропным материалам. Поддается обработке давлением и резанием, отлично сваривается с коррозионностойкими сталями, не обладающими магнитными свойствами.

Таблица 5. Механические свойства сплава 16Х-ВИ

Температура отпуса (°С)	Предел пропорциональности (МПа)* - σ_T	Предел кратковременной прочности (МПа) - σ_B	Относительное удлинение при разрыве (%) - δ_5	Ударная вязкость (кДж/м ²) КСУ
≥ 196	≥ 250	≥ 25	≥ 65	≥ 109

**Примечание: Предел пропорциональности – максимальное механическое напряжение, при котором выполняется закон Гука, т. е. деформация материала прямо пропорциональна приложенной силе.*

Формы выпуска: поковки, круг, прут, проволока листовой прокат, лента, полоса.

Применение

16Х-ВИ применяется для изготовления магнитопроводов различных систем управления якорей и электромагнитов; деталей электрических машин без защитных покрытий, в т.ч. работающих в сложных условиях воздействия агрессивных сред, экстремальных значений температуры и давления.

Таблица 6. Химический состав сплава 50НХС (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
42.03 - 45	до 0.03	1.1 - 1.4	0.6 - 1.1	49.5 - 51	до 0.02	до 0.02	3.8 - 4.2	до 0.2

Изготовление

Сплав 50НХС выплавляют в специальных электродуговых печах. Он обладает небольшими изменениями электрического сопротивления (не более 5%), которые определяются силой, направлением существующего магнитного поля. С целью усиления электромагнитных качеств этот сплав легируют такими элементами как медь, марганец, кремний. Плавку производят в вакууме или нейтральном газе. Полуфабрикаты минимальной толщины производят способом холоднокатаной штамповки с последующим отжигом — для повышения магнитных свойств. Пермаллой данной

IV.1.2. Сплав 50НХС

ГОСТ 10994-74 (Сплавы прецизионные. Марки);

ГОСТ 10160-75 (Сплавы прецизионные магнитомягкие)

Прецизионный магнитомягкий железоникелевый сплав (пермаллой), легированный Cr, Mn, Cu.

марки имеет улучшенные свойства, повышенную намагничиваемость. Этому сплаву присуща значительная магнитная чувствительность по отношению к внешним изменениям.

Техническая характеристика

Сплав с высокой магнитной проницаемостью* и высоким удельным электросопротивлением при индукции не менее 1,0 Т.

**Примечание: Магнитная проницаемость — физическая величина, коэффициент (зависящий от свойств среды), характеризующий связь между магнитной индукцией и напряженностью магнитного поля в веществе.*

Таблица 7. Механические свойства при T=20 °С

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5
-	МПа	МПа	%
Лента, ГОСТ 10160-75	490	145	40
Лента нагартованная ГОСТ 10160-75	880	835	2
Твердость 50НХС, Лента ГОСТ 10160-75			
HV 10 ⁻¹ = 125 МПа			
Твердость 50НХС, Лента нагартованная ГОСТ 10160-75			
HV 10 ⁻¹ = 190 МПа			

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

HV - Твердость по Бринеллю, [МПа]

Таблица 8. Физические свойства

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	2.1			8200		900

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода (Модуль Юнга*), [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения (диапазон 20° - T) , [1/Град]

λ - Коэффициент теплопроводности (теплоемкость материала) , [Вт/(м·град)]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

C - Удельная теплоемкость материала (диапазон 20° - T) , [Дж/(кг·град)]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

*Примечание: Модуль Юнга (модуль продольной упругости) — физическая величина, характеризующая способность материала сопротивляться растяжению/сжатию при упругой деформации.

Применение

50НХС применяется для сердечников импульсных трансформаторов и аппаратуры связи звуковых и высоких частот, работающих без подмагничивания или с небольшим подмагничиванием, для сердечников трансформаторов и магнитных головок, компонентах памяти к компьютерам, магнитопроводов*, которые эксплуатируются в морской воде, для деталей электромашин, магнитных антенн.

*Примечание: Магнитопровод — деталь или комплект деталей, предназначенных для прохождения с определенными потерями магнитного потока, возбуждаемого электрическим током, протекающим в обмотках устройств, в состав которых входит магнитопровод.

Таблица 9. Химический состав сплава 83НФ (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	V
9.57 - 13.2	до 0.01	0.5 - 1	до 0.5	82.5 - 84.2	до 0.01	до 0.01	до 0.5	3.8 - 4.2

Изготовление

Сплав 83НФ выплавляют в специальных электродуговых печах. Плавку производят в среде вакуума или инертного газа.

Техническая характеристика

Сплав 83НФ с наивысшей начальной проницаемостью в постоянных и переменных полях.

Наивысшая магнитная проницаемость в слабых полях.

Магнитопроводы являются составными частями электромагнитных схмотехнических элементов: трансформаторов, катушек индуктивности, реле, пускателей, контакторов, а также магнитных головок, запоминающих устройств, электрических машин: генераторов, электродвигателей.

IV.1.3. Сплав 83НФ (83НФ-Ш)

ГОСТ 10994-74 (Сплавы прецизионные. Марки);

ГОСТ 10160-75 (Сплавы прецизионные магнитомягкие);

Прецизионный магнитомягкий железоникелевый сплав (пермаллой), легированный V, Mn, Cr.

Таблица 10. Механические свойства при T=20°C

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5
-	МПа	МПа	%
Лента, ГОСТ 10160-75	490	145	45
Лента нагартованная ГОСТ 10160-75	930	-	2

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

Таблица 11. Физические свойства

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	2.2	-	-	8700	-	700
110	-	12.6	-	-	-	-

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода (Модуль Юнга*), [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения (диапазон 20° - T) , [1/Град]

λ - Коэффициент теплопроводности (теплоемкость материала) , [Вт/(м·град)]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

C - Удельная теплоемкость материала (диапазон 20° - T) , [Дж/(кг·град)]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: поковки, прутки, круг, проволока, лист, полоса, лента, фольга.

Применение

83НФ применяется для сердечников малогабаритных трансформаторов и дросселей, работающих в слабых полях, а также при изготовлении магнитных экранов.

IV.1.4. Сплав 50Н

ГОСТ 10994-74 (сплавы прецизионные. Марки);

ГОСТ 10160-75 (сплавы прецизионные магнитомягкие)

Прецизионный магнитомягкий железоникелевый сплав (пермалой), легированный Si, Mn, Cu.

Таблица 12. Химический состав сплава 50Н (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cu
48.33 - 50.55	до 0.03	0.15 - 0.3	0.3 - 0.6	49 - 50.5	до 0.02	до 0.02	до 0.2

Изготовление

Сплав 50Н выплавляют в специальных электродуговых печах. Плавку производят в среде вакуума или инертного газа.

Техническая характеристика

Сплав с повышенной магнитной проницаемостью, обладающий наивысшим значением индукции насыщения из всей группы железоникелевых сплавов, не менее 1,5 Т.

Твердость 50Н, НВ 10⁻¹ = 130-170 МПа.

Таблица 13. Физические свойства 50Н

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	1.6			8200		450
100		8.9				

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода (Модуль Юнга*), [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения (диапазон 20° - T) , [1/Град]

λ - Коэффициент теплопроводности (теплоемкость материала) , [Вт/(м·град)]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

C - Удельная теплоемкость материала (диапазон 20° - T) , [Дж/(кг·град)]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: поковки, прутки, круг, лист, полоса, лента, проволока.

Применение

50Н применяется для производства сердечников межламповых и малогабаритных силовых трансформаторов, дросселей, реле и деталей магнитных цепей, работающих при повышенных индукциях без подмагничивания или с небольшим подмагничиванием; в качестве пассивного слоя при изготовлении термобиметаллов, используемых для изготовления чувствительных к изменению температуры элементов контрольно-измерительных приборов и аппаратов.

При использовании сплава марки 50Н и активного слоя из сплава 24НХ изготавливается термобиметалл марки ТБ73/57 (ТБ0831), который применяется для изготовления термочувствительных элементов с малой величиной изгиба.

IV.1.5. Сплав 68НМ

ГОСТ 10994-74 (Сплавы прецизионные. Марки);

ГОСТ 10160-75 (Сплавы прецизионные магнитомягкие)

Прецизионный магнитомягкий железоникелевый сплав, легированный Мо, Мп.

Таблица 14. Химический состав сплава 68НМ (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Mo
27.33 - 31.1	до 0.03	до 0.3	0.4 - 0.8	67 - 69	до 0.02	до 0.02	1.5 - 2.5

Техническая характеристика

Сплав с высокими значениями проницаемости и приращений индукции при однополярном импульсном намагничивании*, обладающий магнитной текстурой.

**Примечание: Однополярное импульсное намагничивание – намагничивание постоянных магнитов однополярным импульсом тока с целью приращения индукции и напряженности поля.*

Таблица 15. Механические свойства 68НМ при T=20 °C

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ
-	МПа	МПа	%	%
Лента, ГОСТ 10160-75	540	145	50	-
Лента нагартованная ГОСТ 10160-75	930	-	3	5
Твердость 68НМ, Лента ГОСТ 10160-75	HV 10 ⁻¹ = 120 МПа			
Твердость 68НМ, Лента нагартованная ГОСТ 10160-75	HV 10 ⁻¹ = 230 МПа			

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

HV - Твердость по Бринеллю, [МПа]

ψ - Относительное сужение, [%]

Таблица 16. Физические свойства 68НМ

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	-	-	-	8400	-	450

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: поковки, круг, труба, прутки, проволока листовой прокат, лента, полоса.

Применение:

68НМ применяется для изготовления сердечников магнитных усилителей, коммутирующих дросселей, выпрямительных установок, импульсных и широкополосных трансформаторов.

IV.1.6. Сплав 35НХХСП
ГОСТ 10994-74 (Сплавы прецизион-
ные. Марки);

ГОСТ 10160-75 (Сплавы прецизион-
ные магнитомягкие)

Прецизионный магнитомягкий сплав
на основе Fe-Ni-Co, легированный Cr,
Mn.

Таблица 17. Химический состав сплава 35НХХСП (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Co
29.93-35.1	до 0.03	0.8 - 1.2	0.3 - 0.6	35 - 37	до 0.02	до 0.02	1.8 - 2.2	27 - 29

Изготовление

Выплавка в специальных металлургических печах в среде инертных газов или вакуума. Для получения необходимых форм слитки впоследствии подвергаются ковке или прокатке.

Техническая характеристика

Сплав 35НХХСП с магнитной текстурой и прямоугольной петлей гистерезиса*, высокой магнитной проницаемостью и индукцией насыщения не менее 1,2 - 1,5 Т.

**Примечание: Магнитный гистерезис – зависимость напряжённости внутреннего магнитного поля в веществе от внешнего магнитного поля. Петля гистерезиса - кривая в прямоугольной системе координат, отображающая ход зависимости намагничивания от напряженности внешнего магнитного поля. Чем больше площадь петли, тем большую работу на перемагничивание надо затратить. Таким образом, по форме петли гистерезиса можно судить об особенностях свойств различных магнитных материалов.*

Таблица 18. Механические свойства 35НХХСП при T=20 °C

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ
-	МПа	МПа	%	%
Лента, ГОСТ 10160-75	490	145	40	-
Лента нагартованная ГОСТ 10160-75	880	-	4	-
Твердость 35НХХСП, ГОСТ 10160-75		HV 10 ⁻¹ = 130-170 МПа		

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

HV - Твердость по Бринеллю, [МПа]

Таблица 19. Физические свойства 35НХХСП

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	1.7	-	-	8400	-	600
100	-	10.8	-	-	-	-

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: поковки, круг, труба, прутки, проволока листовой прокат, лента, полоса.

Применение

35НХХСП применяется для изготовления сердечников магнитных усилителей, коммутирующих дросселей, выпрямительных установок, импульсных и широкополосных трансформаторов, элементов вычислительной аппаратуры счетно-решающих машин. Сплав 35НХХСП не рекомендуется применять при создании новых и модернизации существующих разработок (ГОСТ 10160-75).

IV.1.7. Сплав 27КХ (ЭП685)

ГОСТ 10994-74 (Сплавы прецизионные. Марки);

ГОСТ 10160-75 (Сплавы прецизионные магнитомягкие)

Железо-никеле-кобальтовый магнитомягкий прецизионный сплав, легированный Cr, Mn.

Таблица 20. Химический состав сплава 27КХ (%)

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Co
до 0.04	до 0.25	0.2 - 0.4	до 0.3	до 0.015	до 0.015	0.3 - 0.6	26.5 - 28

Изготовление

Выплавка в специальных металлургических печах в среде инертных газов или вакуума. Для получения необходимых форм слитки впоследствии подвергаются ковке или прокатке.

Техническая характеристика

27КХ - сплав с высокой магнитной индукцией в средних и сильных полях, высокой точкой Кюри* 950 °С и повышенными механическими свойствами.

Высокая магнитная индукция технического насыщения. В соответствии с ГОСТ-19 693-74 он имеет не превышающую 4 кА/м коэрцитивную силу по индукции.

**Примечание: Точка Кюри, или температура Кюри, — температура фазового перехода II рода, связанного со скачкообразным изменением свойств симметрии вещества (например, магнитной — в ферромагнетиках).*

Формы выпуска: поковки, круг, труба, прутки, проволока листовой прокат, лента, полоса.

Применение

Электромашиностроение, производство магнитопроводов переменного магнитного поля, в т.ч. для изготовления роторов и статоров электрических машин и других магнитопроводов, работающих при обычных и высоких температурах и в условиях механических нагрузок. Широко используется в трансформаторостроении, радиотехнической, электротехнической промышленности, системах автоматики, телемеханики, вычислительной измерительной техники.

IV.1.8. Сплав 49К2ФА; 49К2ФА-ВИ

ГОСТ 10994-74 (Сплавы прецизионные. Марки);

ГОСТ 10160-75 (Сплавы прецизионные магнитомягкие)

Железо-кобальтовый магнитомягкий прецизионный сплав, легированный V, Ni, Mn

Таблица 21. Химический состав сплава 49К2ФА (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	V	Co
47.2 - 50.3	до 0.03	до 0.15	до 0.3	до 0.3	до 0.01	до 0.01	1.7 - 2	48 - 50

Техническая характеристика

Сплав с магнитным насыщением не менее 2,35 Т, с высокой точкой Кюри 950 °С и высокой магнитострикцией*.

**Примечание: Магнитострикция (от лат. strictio — сжатие, натягивание) — явление, заключающееся в том, что при изменении состояния намагниченности тела его объем и линейные размеры изменяются.*

Таблица 22. Механические свойства 49К2ФА при T=20 °С

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ
-	МПа	МПа	%	%
Лента, ГОСТ 10160-75	490	345	1	-
Лента нагартованная ГОСТ 10160-75	1320	-	1	-

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

ψ - Относительное сужение, [%]

Таблица 23. Физические свойства 35НХХСП

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	2.2	-	-	8150	-	400
100	-	9.2	-	-	-	-

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: поковки, круг, прутки, проволока листовой прокат, лента, полоса.

Применение

49К2ФА применяется для трансформаторов, магнитных усилителей, роторов и статоров электрических машин, элементов печатающей головки знаковсинтезирующих устройств ПК.

IV.1.9. Сплав 30НГ (ЭП456)

ТУ 14-1-1168-75 (Лента холоднокатаная из сплава 30НГ (ЭП456))

Прецизионный магнитомягкий сплав на основе Fe-Ni, легированный Mn

Таблица 24. Химический состав сплава 30НГ (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P
Основа	до 0.05	до 0.05	1.5 - 2.5	29.5 - 31.5	до 0.025	до 0.03

Техническая характеристика

Термомагнитный (термокомпенсационный) сплав, ферромагнетик, имеющий резко выраженную температурную зависимость намагниченности в заданном магнитном поле

Физические свойства

Тепловое расширение: 10,1 - 17,1 Е-6/К

Теплопроводность: 55,4-75,5 Вт/м·К

Удельная теплоемкость: 456 Дж/кг·К

Температура плавления: 1370 - 1400 °С

Рабочая температура: 0 - 500 °С

Плотность 8000 кг/м³

Формы выпуска: прутки, проволока, круг, поковка, вал, лист, пластина, полоса, лента, труба, отводы и фланцы, изделия различного технического назначения по индивидуальным заказам.

Применение

30НГ применяется для изготовления:

- приборов щитка автомобилей и др. средств транспорта;
- деталей и элементов магнитных систем;
- изделий в сфере микроэлектроники;
- холоднокатаной ленты, используемой в производстве деталей и элементов различных магнитных систем.

IV.1.10. Сплав 33НХЗ (ЭП547)

Прецизионный железо-никелевый магнитомягкий сплав, легированный Cr, Mn

ТУ14-1-1187-75 Прутки из сплавов марок 31НХЗГ (ЭП545), 32НХЗ (ЭП546), 33НХЗ (ЭП547)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr
Ост.	≤ 0.05	0.3-0.6	≤0.4	32.5-34	≤0.02	≤0.02	2.0-3.8

Техническая характеристика

Термомагнитный (термокомпенсационный) сплав, ферромагнетик, имеющий выраженную температурную зависимость намагниченности в заданном магнитном поле.

Физические свойства

Тепловое расширение: 10,1 - 17,1 Е-6/К

Теплопроводность: 55,4-75,5 Вт/м·К

Удельная теплоемкость: 456 Дж/кг·К

Температура плавления: 1370 - 1400 °С

Рабочая температура: 0 - 500 °С

Плотность 8000 кг/м³

Формы выпуска: прутки, проволока, круг, поковка, вал, лист, пластина, полоса, лента.

Применение

33НХЗ применяется главным образом для изготовления горячекатаного листового проката, используемого в электровакуумной промышленности.

IV.1.11. Сплав 77НМД (ЭП264)

ГОСТ 10994-74 (Сплавы прецизионные. Марки);

Прецизионный магнитомягкий сплав на никелевой основе с добавками Fe Cu Mo Mn.

ГОСТ 10160-75 (Сплавы прецизионные магнитомягкие)

Таблица 25. Химический состав сплава 77НМД (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Mo	Cu
9.74 - 15.7	до 0.03	0.1 - 0.3	до 1.4	75.5 - 78	до 0.01	до 0.02	3.9 - 4.5	4.8 - 6.0

Техническая характеристика

Сплав с высокой магнитной проницаемостью в слабых полях при индукции насыщения 0,65-0,75 Т.

Таблица 26. Механические свойства 77НМД при T=20 °С

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ
-	МПа	МПа	%	%
Лента, ГОСТ 10160-75	540	145	40	-
Лента нагартованная ГОСТ 10160-75	980	980	2	-
Твердость 77НМД, Лента ГОСТ 10160-75	HV 10 ⁻¹ = 110 МПа			
Твердость 77НМД, Лента нагартованная ГОСТ 10160-75	HV 10 ⁻¹ = 230 МПа			

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

НВ - Твердость по Бринеллю, [МПа]

ψ - Относительное сужение, [%]

Таблица 27. Физические свойства 77НМД

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	-	-	-	8600	-	550
100	-	12.7	-	-	-	-

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: прутки, проволока, круг, поковка, вал, лист, пластина, полоса, лента.

Применение

77НМД применяется для сердечников малогабаритных трансформаторов, дросселей и реле, работающих в слабых полях магнитных экранов. В малых толщинах (0,05— 0,02 мм) — для сердечников импульсных трансформаторов, магнитных усилителей и бесконтактных реле.

IV.1.12. Сплав 79НМ (79НМ-ВИ)

ГОСТ 10994-74 (Сплавы прецизионные. Марки);

ГОСТ 10160-75 (Сплавы прецизионные магнитомягкие)

Прецизионный магнитомягкий железоникелевый сплав (пермаллой), легированный Mo, Mn, Ti, Cu, Al.

Таблица 28. Химический состав сплава 79НМ (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Mo	Ti	Al	Cu
13.73 - 16.8	до 0.03	0.3 - 0.5	0.6 - 1.1	78.5 - 80	до 0.02	до 0.02	3.8 - 4.1	до 0.15	до 0.15	до 0.2

Техническая характеристика

Сплав 79НМ относится к термоэлектродным сплавам на никелевой основе, который обладает магнитной индукцией насыщения приблизительно 0,8 Т. У таких сплавов, как правило, обычная устойчивость к механическим воздействиям, но существуют модели, которые устойчивы к вибрациям.

Сплавы с высокой магнитной проницаемостью в слабых полях при индукции насыщения 0,65 - 0,75 Т. Сплав при другом обозначении(79НМП), обладает высокой прямоугольностью петли гистерезиса и низким коэффициентом перемагничивания.

Таблица 29. Механические свойства 79НМ при T=20 °С

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ
-	МПа	МПа	%	%
Лента, ГОСТ 10160-75	490	145	50	-
Лента нагартованная ГОСТ 10160-75	1030	980	3	-
Твердость 79НМ, Лента ГОСТ 10160-75				
HV 10 ⁻¹ = 120 МПа				
Твердость 79НМ, Лента нагартованная ГОСТ 10160-75				
HV 10 ⁻¹ = 210 МПа				

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

HV - Твердость по Бринеллю, [МПа]

ψ - Относительное сужение, [%]

Таблица 30. Физические свойства 79НМ

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	2.1	-	-	8600	-	550
100	-	10.5	-	-	-	-

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: прутки, проволока, круг, поковка, вал, лист, пластина, полоса, лента.

Примечание

1. Размеры и предельные отклонения по размерам должны соответствовать требованиям:

- холоднокатаных листов - ГОСТ 19904-74;
- кованых прутков – ГОСТ 2590-88;
- горячекатаных прутков – ГОСТ 1133-71.

2. Лента по ТУ 14-1-1708-76 поставляется в нагартованном состоянии без термической обработки.

Применение

Благодаря пониженной магнитострикции сплав 79НМ применяется в производстве магнито-механических прецизионных устройств и других высокоточных элементов, требующих сохранения стабильности размеров в условиях изменяющегося электромагнитного поля.

Марка сплава 79НМ используется в производстве сердечников малогабаритных трансформаторов, реле, дросселей, элементов записывающих магнитных головок, трансформаторных пластин, магнитных экранов, функционирующих в слабых полях. При небольших толщинах, составляющих 0,05-0,02 мм, из материала 79НМ изготавливаются сердечники магнитных усилителей, импульсных трансформаторов, магнитных усилителей и бесконтактных реле.

Сплав в виде ленты 79НМ характеризуется небольшими (в пределах 5%) изменениями электрического сопротивления, которые определяются силой и направлением полей. Магниторезистивные свойства пермаллоя используют в датчиках поля, для защиты микросхем, изготовления чувствительных катушек, а также для экранирования приборов от магнитного поля.

IV.1.13. Сплав 80НХС

ГОСТ 10994-74 (Сплавы прецизионные. Марки);

ГОСТ 10160-75 (Сплавы прецизионные магнитомягкие)

Прецизионный магнитомягкий сплав на никелевой основе с добавкой железа (пермаллой), легированный Cr, Mn, Cu, Ti, Al.

Таблица 31. Химический состав сплава 80НХС (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Al	Cu
12.33	- до	1.1	- 0.6	- 79	- до	до	2.6	- до	до	до
16.7	0.03	1.5	1.1	81.5	0.02	0.02	3	0.15	0.15	0.2

Техническая характеристика

Сплав с наивысшей магнитной проницаемостью в слабых полях при индукции насыщения 0,65-0,75 Т.

Таблица 32. Механические свойства 80НХС при T=20 °С

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ
-	МПа	МПа	%	%
Лента нагартованная ГОСТ 10160-75	930	885	4	15
Лента ГОСТ 10160-75	540	145	40	
Твердость 80НХС, Лента ГОСТ 10160-75				
НВ 10 ⁻¹ = 130 МПа				
Твердость 80НХС, Лента нагартованная ГОСТ 10160-75				
НВ 10 ⁻¹ = 240 МПа				

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

НВ - Твердость по Бринеллю, [МПа]

ψ - Относительное сужение, [%]

Таблица 33. Физические свойства 80НХС

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20				8500		620
100		12.9				

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства, [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения, [1/Град]

ρ - Плотность материала, [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: прутки, проволока, круг, поковка, трубы, лист, пластина, полоса, лента.

Применение

80НХС применяется для сердечников малогабаритных трансформаторов, дросселей и реле, работающих в слабых полях магнитных экранов. В малых толщинах (0,05— 0,02 мм) — для сердечников импульсных трансформаторов, магнитных усилителей и бесконтактных реле, для сердечников магнитных головок.

Магнорезистивные свойства пермаллоя 80НХС используют в датчиках магнитного поля, в частности в микросхемах, как например в двухосном магнитометре НМС1002

IV.1.14. Сплав 40Н

ГОСТ 10994-74 (Сплавы прецизионные. Марки);

ГОСТ 10160-75 (Сплавы прецизионные магнитомягкие)

Прецизионный магнитомягкий железоникелевый сплав (пермаллой), легированный Mn, Cu

Таблица 34. Химический состав сплава 40Н (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cu
Основа	до 0.05	0.15 - 0.3	0.3 - 0.6	39 - 41	до 0.02	до 0.02	до 0.2

Техническая характеристика

Сплав с высокой магнитной проницаемостью и индукцией насыщения.

Устойчив к воздействию коррозии. Сплав хорошо подходит для работы на повышенных частотах в переменных магнитных полях. При этом он дешевле высоконикелевых аналогов и значительно меньше подвержен влиянию примесей, а в отличие от электротехнических сталей, имеет более высокие магнитные свойства. Обрабатываемость сплава 40Н еще одно дополнительное преимущество этого материала.

- повышенная индукция насыщения;
- низкая магнитострикция;
- малая коэрцитивная сила (не более 4 кА/м);
- высокая магнитная проницаемость;
- имеет свойства ферромагнетика;
- небольшие потери на гистерезис.

Физические свойства:

- теплопроводность в пределах: 55,4 – 75,5 Вт/м·К;
- рабочая температура: 0 – 500 °С;
- температура плавления: от 1370 до 1400 °С;
- плотность: 8000 кг/м³.

Формы выпуска: труба, лента, проволока, лист, круг.

Применение

Используется в электротехнике, в производстве элементов систем зажигания автомобилей, для сердечников помехоподавляющих проводов, в измерительных и других прецизионных приборах. Также, ввиду способности создавать большой магнитный поток, может применяться для создания сердечников малогабаритных трансформаторов.

III.1.15. Сплав 50НП

ГОСТ 10994-74 (Сплавы прецизионные. Марки);

ГОСТ 10160-75 (Сплавы прецизионные магнитомягкие)

Прецизионный магнитомягкий железоникелевый сплав (пермаллой), легированный Mn, Cu.

Таблица 35. Химический состав сплава 50НП (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cu
48.33 - 50.55	до 0.03	0.15 - 0.3	0.3 - 0.6	49 - 50.5	до 0.02	до 0.02	до 0.2

Техническая характеристика

Сплав марки 50Н относится к группе пермаллоев. Чувствителен к перепадам напряжения и частоте, с высокой магнитной проницаемостью, наивысшей индукцией насыщения. Имеет кристаллографическую структуру и ярко выраженные магнитные свойства – прямоугольная петля гистерезиса (кривая намагничивания) и характерная только для него магнитная проницаемость. Коррозионные свойства сплава 50Н из-за никеля в его составе достаточно высоки.

Физико-механические свойства

Молекулярная и химическая структура определяют основные параметры физических и механических свойств материала. Механические свойства характеризуют поведение сплава под воздействием внешних нагрузок, а физические – в состоянии покоя.

Физические свойства 50НП (характеризуются показателями при T 200 °C):

- теплоёмкость: 456 Дж/кг·К;
- теплопроводность: 55,4-75,5 Вт/м·К;
- температура кристаллизации: 1370 – 1400 °C;
- термическое расширение: 10,1-17,1 Е-6/К;
- плотность: 8000 кг/м³.
- электросопротивление: $\rho=0,45 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$.

Механические характеристики:

- прочность на растяжение при максимальной нагрузке: $\sigma_b - 780/440 \text{ МПа}$;
- прочность при остаточной деформации, после устранения нагрузки (предел текучести): $\sigma_T-685/145 \text{ МПа}$;
- относительно удлинение: $\delta_5-35\%$ (при испытании на разрыв характеризуется 35% удлинением пробы к первоначальной длине);
- относительное сужение: $\varphi -60\%$;
- твёрдость: 170/130 НВ;
- упругость: 160 кН/мм².

Формы выпуска: поковки, прутки, листовой прокат, лента, проволока.

Применение

- детали магнитных цепей с высокой индукцией;
- конструкции установок, работающих при высоких температурных режимах (до 900 °C);
- производство дисков, пружин для температур <650 °C;
- высокоточные механизмы;
- используется 50НП пермаллой для трансформаторов и прочих преобразователей.

В частности, 50НП широко применяется для изготовления сердечников магнитных усилителей, коммутирующих дросселей, выпрямительных установок, элементов вычислительных аппаратов счетно-решающих машин.

IV.1.16. Сплав 68НМП

ГОСТ 10994-74 (Сплавы прецизионные. Марки);

ГОСТ 10160-75 (Сплавы прецизионные магнитомягкие)

Прецизионный магнитомягкий железоникелевый сплав (пермаллой, основа – Ni), легированный Mo, Mn.

Таблица 36. Химический состав сплава 68НМП (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Mo
27.33 - 31.1	до 0.03	до 0.3	0.4 - 0.8	67 - 69	до 0.02	до 0.02	1.5 - 2.5

Получение

Выработка сплава 68НМП осуществляется из первичной шихты в открытых индукционных условиях или с применением специальных вакуумных печей. Заготовки формируются в виде слитков или ленты (толщина 0,03-0,2 мм), после чего готовый материал подвергается термической обработке при температуре – 1000-1100°C.

Техническая характеристика

Сплав 68НМП с магнитной текстурой и прямоугольной петлей гистерезиса, высокой магнитной проницаемостью и индукцией насыщения не менее 1,2 - 1,5 Т. Сплав 68НМП обладает отличной способностью намагничиваться и размагничиваться даже при слабых электромагнитных полях. При повышении температурного режима хорошо сохраняет свои свойства при длительном нахождении в магнитном поле. Устойчив к коррозии. Обладает небольшой коэрцитивной силой при слабо выраженном магнитном поле. Электрическое сопротивление материала меняется в пределах 4-5% в зависимости от направления и силы действующего поля.

Физико-механические свойства

- прочность (предельная), МПа (σ_b) – 540,0 – 929,9;
- значение текучести (предельное), МПа (σ_T) – 144,9;
- относительное удлинение до разрыва, % (δ_5) – 50,1 – 3,0;
- относительное сужение, % (φ) – до 5,0;
- твёрдость 68НМ – 120,0 – 250,1;
- плотность сплава, кг/м³ – 8399 – 8400;
- удельное сопротивление, Ом·м – 450,0;
- индукция магнитного насыщения – 1-1,6.

Формы выпуска: слитки, поковки, прутки, листовой прокат, лента, проволока.

Применение

68НМП применяется в электротехнике для изготовления шунтов, сердечников магнитных усилителей и широкополосных трансформаторов (высоковольтных, трехфазных), коммутирующих дросселей. Используется также в ЭСУ (электросиловых выпрямительных установках), в катушках индуктивности в виде Ш-образного или же линейного стержня, в микросхемах, магнитометрах.

IV.1.17. Сплав 40НKM

ГОСТ 10994-74 (Сплавы прецизионные. Марки);

Прецизионный магнитомягкий сплав на основе Ni, Fe, Co, легированный Mo, Mn.

ГОСТ 10160-75 (Сплавы прецизионные магнитомягкие).

Таблица 37. Химический состав сплава 40НKM (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Mo	Co
28.13 - 32.1	до 0.03	до 0.3	0.3 - 0.6	39.3 - 40.7	до 0.02	до 0.02	3.8 - 4.2	24.5 - 26

Техническая характеристика

Сплав с анизотропией магнитных свойств* и низкой остаточной магнитной индукцией насыщения не менее 1,2–1,5 Т. Характеризуется постоянством магнитной проницаемости в широком интервале полей, обладающих магнитной текстурой.

**Примечание 1: Анизотропия - это физическое явление, заключающееся в том, что физические свойства тела отличаются по различным направлениям. Магнитная анизотропия – зависимость магнитных свойств (в т.ч. намагниченности) от выделенного направления в образце (магнетике).*

Примечание 2: с 01.01.1991 сплав не допускается к применению во вновь создаваемой и модернизируемой технике.

Таблица 38. Механические свойства 40НKM при T=20 °C

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ
-	МПа	МПа	%	%
Лента, ГОСТ 10160-75	540	145	50	-
Лента нагартованная ГОСТ 10160-75	980	980	4	-
Твердость 40НKM, Лента ГОСТ 10160-75		HV 10 ⁻¹ = 110 МПа		

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

HV - Твердость по Бринеллю, [МПа]

ψ - Относительное сужение, [%]

Таблица 39. Физические свойства 40НKM

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	1.8	-	-	8550	-	550
100	-	11	-	-	-	-

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства, [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения, [1/Град]

ρ - Плотность материала, [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: слитки, поковки, прутки, листовой прокат, лента, проволока.

Применение:

40НKM применяется для сердечников катушек постоянной индуктивности, дросселей фильтров, широкополосных трансформаторов.

Примечание: С 01.01.1991 сплав не допускается к применению во вновь создаваемой и модернизируемой технике (ГОСТ 10160-75).

IV.1.18. Сплав 49КФ

ГОСТ 10994-74 (Сплавы прецизионные. Марки);

ГОСТ 10160-75 (Сплавы прецизионные магнитомягкие).

Прецизионный магнитомягкий сплав на основе Fe, Co (пермендюр), легированный V, Ni, Mn.

Таблица 40. Химический состав сплава 49КФ (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	V	Co
47.01 - 50.7	до 0.05	до 0.3	до 0.3	до 0.5	до 0.02	до 0.02	1.3 - 1.8	48 - 50

Техническая характеристика

Сплав с магнитным насыщением не менее 2,35 Т, с высокой точкой Кюри 950 °С и высокой магнотриксией. Обладает высокой магнитной индукцией технического насыщения. Характеризуется наличием свойств ферромагнетика, незначительными потерями на гистерезисе, высокими показателями магнитной проницаемости при небольшой коэрцитивной силе и другими специальными качествами. Намагничивание в сплаве 49КФ происходит за счет смещения доменных границ. Коэрцитивная сила пермендюра по индукции характеризует напряженность магнитного поля, требующегося для изменения величины магнитной индукции от остаточного до нулевого значения (полного размагничивания). Магнитно-мягкие металлические материалы 49КФ легко намагничиваются, перемагничиваются и отличаются узкой петлей цикла гистерезиса.

Таблица 41. Механические свойства 49КФ при T=20 °С

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ
-	МПа	МПа	%	%
Лента ГОСТ 10160-75	490	345	-	-
Лента нагартованная ГОСТ 10160-75	1320	-	1	-

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

НВ - Твердость по Бринеллю, [МПа]

ψ - Относительное сужение, [%]

Таблица 42. Физические свойства 49КФ

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	2.2	-	-	8150	-	400
100	-	9.2	-	-	-	-

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства, [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения, [1/Град]

ρ - Плотность материала, [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: слитки, поковки, прутки, листовой прокат, лента, проволока.

Применение

Благодаря своим качествам сплав 49КФ применяется для изготовления магнитов, соленоидов, сердечников трансформаторов, полюсных наконечников магнитов. Материал также используется в производстве телефонных мембран, пластин роторов электродвигателей небольшой мощности, измерительных приборов и различных элементов, поле в которых создается проходящими по обмоткам токами.

Кроме того, сплав пермендюр позволяет обеспечить достижение максимальной индукции при небольших затратах энергии. В силовых трансформаторах используется для снижения потерь, приходящихся на вихревые токи. Также сплав 49КФ используется в радиотехнике, электротехнике, для производства датчиков магнитных полей, магнитных экранов, дросселей. В сфере микроэлектроники материал 49КФ применяется для производства элементов интегральных схем, импульсных трансформаторов, модуляторов, электромашин различных типов, датчиков, преобразователей и многих разновидностей СВЧ устройств.

IV.1.19. Сплав 47НК

ГОСТ 10994-74 (Сплавы прецизионные. Марки);

ГОСТ 10160-75 (Сплавы прецизионные магнитомягкие).

Прецизионный магнитомягкий сплав на основе Ni, Fe, Co, легированный Mn.

Таблица 43. Химический состав сплава 47НК (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Co
27.53 - 31.05	до 0.03	0.15 - 0.3	0.3 - 0.6	46 - 48	до 0.02	до 0.02	22.5 - 23.5

Техническая характеристика

Сплав с анизотропией магнитных свойств, низкой остаточной магнитной индукцией и постоянством магнитной проницаемости в широком интервале полей, обладающий магнитной текстурой.

Таблица 44. Механические свойства 47НК при T=20 °C

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ
-	МПа	МПа	%	%
Лента ГОСТ 10160-75	490	145	40	-
Лента нагартованная ГОСТ 10160-75	880	-	3	-
Твердость 47НК, Лента ГОСТ 10160-75				
	HV 10 ⁻¹ = 130 МПа			
Твердость 47НК, Лента нагартованная ГОСТ 10160-75				
	HV 10 ⁻¹ = 160 МПа			

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

HV - Твердость по Бринеллю, [МПа]

ψ - Относительное сужение, [%]

Таблица 45. Физические свойства 47НК

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	2	-	-	8400	-	200
100	-	11	-	-	-	-

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: слитки, прутки, лента, проволока.

Применение

47НК применяется для изготовления сердечников катушек постоянной индуктивности, дросселей фильтров, широкополосных трансформаторов.

IV.1.20. Сплав 31НХЗГ (ЭП545)

ТУ 14-1-1377-75 Листы горячекатаные из сплавов 31НХЗГ (ЭП545) и 32НХЗ (ЭП546).
Технические условия.

Прецизионный магнитомягкий железоникелевый сплав, легированный Cr, Mn.

Таблица 46. Химический состав сплава 31НХЗГ (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr
Основа	до 0.05	0.3 - 0.6	0.3 - 0.7	31 - 32	до 0.02	до 0.02	3 - 3.8

Техническая характеристика

Сплав 31НХЗГ (устар. название ЭП 545) характеризуют как прецизионный с заданным температурным коэффициентом теплового линейного расширения (ТКЛР).

Физические свойства:

- рабочий температурный режим: от 0 до 500 °С;
- удельная теплоемкость: 456,0 Дж·(Кг\К);
- плотность: 8000,0 кг/м³
- показатель температуры плавления ≈ 1400 °С;

Магнитные свойства сплава по ТУ 14-1-1187-75:

- магнитная проницаемость в поле 1400Э: 3,51-4,10 ГС/Э;
- температурный интервал линейной зависимости: -60° - +90°;
- температурный коэффициент магнитной проницаемости: 0,6-1,0 % на град.

Формы выпуска: прутки, проволока, круг, поковка, вал, лист, пластина, полоса, лента, труба., в поле 1400Э: 3,51-4,10 ГС/Э; Температурный интервал линейной зависимости: -60° - +9°;

Применение

Сплав прецизионный с заданным ТКЛР 31НХЗГ применяется для изготовления прутков и горячекатаного листового проката, применяемых для производства деталей электровакуумной техники.

IV.1.21. Сплав 36Н11Х (ЭП297)

ТУ14-1-1459-75 Листы из термомагнитного сплава марки 36Н11Х (ЭП297).
Технические условия.

Прецизионный магнитомягкий сплав на основе Fe, Ni, Cr, легированный Mn.

Химический состав сплава 36Н11Х (%).

Таблица 47. Химический состав сплава 36Н11Х (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr
основа	до 0.12	до 0.6	0.2 - 0.5	35 - 37,5	до 0.02	до 0.03	10-12

Техническая характеристика

36Н11Х - термомагнитный (термокомпенсационный) сплав, ферромагнитный сплав, имеющий резко выраженную температурную зависимость намагниченности в заданном магнитном поле.

Формы выпуска: прутки, проволока, круг, поковка, вал, лист, пластина, полоса, лента, труба.

Применение

36Н11Х применяется для изготовления:

- различных деталей авиационного приборостроения с термомагнитными свойствами;
- деталей электронной и электротехнической аппаратуры.

IV.1.22. Сплав 77НМДП

ГОСТ 10994-74 (Сплавы прецизионные. Марки);

ГОСТ 10160-75 (Сплавы прецизионные магнитомягкие).

Прецизионный магнитомягкий сплав на основе Ni, Fe, Cr, легированный Cu, Mo, Mn.

Таблица 48. Химический состав сплава 77НМДП (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Mo	Cu
9.74 - 15.7	до 0.03	0.1 - 0.3	до 1.4	75.5 - 78	до 0.01	до 0.02	3.9 - 4.5	4.8 - 6

Техническая характеристика

Сплав с высокой прямоугольностью петли гистерезиса и низким коэффициентом перемагничивания.

Сплав с высокой магнитной проницаемостью в слабых полях при индукции насыщения 0,65-0,75 Т.

Таблица 49. Механические свойства 77НМДП при T=20 °C

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ
-	МПа	МПа	%	%
Лента ГОСТ 10160-75	540	145	40	-
Лента нагартованная ГОСТ 10160-75	980	980	2	-
Твердость 77НМДП, Лента ГОСТ 10160-75	HV 10 ⁻¹ = 110 МПа			
Твердость 77НМДП, Лента нагартованная ГОСТ 10160-75	HV 10 ⁻¹ = 230 МПа			

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

HV - Твердость по Бринеллю, [МПа]

ψ - Относительное сужение, [%]

Таблица 50. Физические свойства 77НМДП

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	-	-	-	8600	-	550
100	-	12.7	-	-	-	-

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: слиток, фасонный и листовой прокат, лента, прутки, проволока.

Применение

77НМДП применяется для изготовления малогабаритных ленточных магнитных сердечников, переключающих устройств, логических элементов, регистров сдвига, триггерных систем, дросселей и реле, работающих в слабых полях магнитных экранов. В малых толщинах (0,05— 0,02 мм.) — для сердечников импульсных трансформаторов, магнитных усилителей и бесконтактных реле.

IV.1.23. Сплав 79НЗМ

ГОСТ 10994-74 (Сплавы прецизионные. Марки);

ГОСТ 10160-75 (Сплавы прецизионные магнитомягкие)

Прецизионный магнитомягкий сплав на основе Ni, Fe, легированный Mo, Mn.

Таблица 51. Химический состав сплава 79НЗМ (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Mo
15.63 - 18.05	до 0.03	0.15 - 0.3	0.3 - 0.6	78.5 - 80	до 0.02	до 0.02	3 - 3.4

Техническая характеристика

Сплав с анизотропией магнитных свойств, характеризуемый высокими значениями проницаемости и приращений индукции при однополярном импульсном намагничивании, обладающий магнитной текстурой.

Таблица 52. Механические свойства 79НЗМ при T=20 °C

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ
-	МПа	МПа	%	%
Лента ГОСТ 10160-75	490	145	50	-
Лента нагартованная ГОСТ 10160-75	1030	980	3	-
Твердость 79НЗМ, ГОСТ 10160-75				
HV 10 ⁻¹ = 120-210 МПа				

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

HV - Твердость по Бринеллю, [МПа]

ψ - Относительное сужение, [%]

Таблица 53. Физические свойства 79НЗМ

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	2.1	-	-	8600	-	500
100	-	10.5	-	-	-	-

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства, [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения, [1/Град]

ρ - Плотность материала, [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: прутки, проволока, круг, поковка, лист, пластина, полоса, лента, фольга.

Применение

79НЗМ применяется для сердечников импульсных и широкополосных трансформаторов.

Примечание: С 01.01.1991 сплав не допускается к применению во вновь создаваемой и модернизируемой технике (ГОСТ 10160-75).

IV.1.24. Сплав 81НМА

ГОСТ 10994-74 (Сплавы прецизионные. Марки);

ГОСТ 10160-75 (Сплавы прецизионные магнитомягкие).

Прецизионный магнитомягкий сплав на основе Ni и Fe (пермаллой), легированный Mo, Ti, Mn.

Таблица 54. Химический состав сплава 81НМА (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Mo	Ti
9.32 - 12.3	до 0.01	до 0.1	до 0.35	80.5 - 81.7	до 0.01	до 0.01	4.7 - 5.2	2.5 - 3.3

Техническая характеристика

Сплав с наивысшим значением магнитной проницаемости в слабых постоянных (50000—10000 Гс/Э) и переменных магнитных полях с пониженной чувствительностью к механическим воздействиям и повышенной прочностью при практически нулевой магнитострикции. Эффект упрочнения достигается благодаря легированию и может быть усилен дополнительно посредством специальной термообработки. Повышенная прочность обуславливает и высокую деформационную стабильность материала. В зависимости от окончательной термообработки значение σ_b (предел кратковременной прочности) может составлять от 640 Н/мм² (65 кгс/мм²) до 1270 Н/мм² (130 кгс/мм²). Удельное электросопротивление - [0,8 (Ом·мм²)/м]. Сплав 81НМА обладает высокой магнитной проницаемостью в слабых полях при индукции насыщения 0,65-0,75 Т.

Таблица 55. Механические свойства 81НМА при T=20 °С

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ
-	МПа	МПа	%	%
Лента ГОСТ 10160-75	640	245	50	-
Лента нагартованная ГОСТ 10160-75	1270	1225	2	-
Твердость 81НМА, Лента ГОСТ 10160-75				
	HV 10 ⁻¹ = 160 МПа			
Твердость 81НМА, Лента нагартованная ГОСТ 10160-75				
	HV 10 ⁻¹ = 260 МПа			

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

HV - Твердость по Бринеллю, [МПа]

Таблица 56. Физические свойства 81НМА

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	2.1	-	-	8700	-	800
100	-	11.8	-	-	-	-

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: прутки, проволока, круг, поковка, труба, лист, пластина, полоса, лента, фольга.

Применение

81НМА применяется для изготовления сердечников магнитных головок, малогабаритных трансформаторов, дросселей, реле, дефектоскопов, магнитных экранов, феррозондов для применения в радиоэлектронной аппаратуре высокой чувствительности, работающей в переменных полях высокой частоты и испытывающих в процессе изготовления и эксплуатации механические воздействия.

IV.1.25. Сплав 45Н

ГОСТ 10994-74 (Сплавы прецизионные. Марки);

ГОСТ 10160-75 (Сплавы прецизионные магнитомягкие).

Прецизионный магнитомягкий железоникелевый сплав (пермаллой), легированный Mn, Cu.

Таблица 57. Химический состав сплава 45Н (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cu
51.83 - 54.25	до 0.03	0.15 - 0.3	0.6 - 1.1	45 - 46.5	до 0.02	до 0.02	до 0.2

Техническая характеристика

Сплав 45Н соответствует типу прецизионных магнитомягких материалов. Обладает повышенной магнитной проницаемостью и наивысшим значением индукции насыщения среди всей группы железоникелевых сплавов (не менее 1,5 Т). Устойчив к воздействию коррозии. Сплав хорошо подходит для работы на повышенных частотах в переменных магнитных полях. При этом он дешевле высоконикелевых аналогов и значительно меньше подвержен влиянию примесей, а в отличие от электротехнических сталей, имеет более высокие магнитные свойства. Обрабатываемость сплава 40Н – еще одно дополнительное преимущество этого материала.

Таблица 58. Механические свойства 45Н при T=20 °C

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ
-	МПа	МПа	%	%
Лента нагартованная ГОСТ 10160-75	740	735	3	15
Твердость 45Н, Лента ГОСТ 10160-75	HV 10 ⁻¹ = 130 МПа			
Твердость 45Н, Лента нагартованная ГОСТ 10160-75	HV 10 ⁻¹ = 170 МПа			

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

HV - Твердость по Бринеллю, [МПа]

Таблица 59. Физические свойства 81НМА

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	2	-	-	8200	-	540

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства, [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения, [1/Град]

ρ - Плотность материала, [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: прутки, проволока, круг, поковка, труба, лист, пластина, полоса, лента, фольга.

Применение

45Н применяется для сердечников междуламповых и малогабаритных силовых трансформаторов, дросселей, реле и деталей магнитных цепей, работающих при повышенных индукциях без подмагничивания или с небольшим подмагничиванием.

IV.1.26. Сплав 64Н (65Н)

ГОСТ 10994-74 (Сплавы прецизионные. Марки);

Прецизионный магнитомягкий сплав на основе Ni-Fe, легированный Mn.

ГОСТ 10160-75 (Сплавы прецизионные магнитомягкие).

Таблица 60. Химический состав сплава 64Н (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P
34.03 - 36.54	0.01 - 0.03	0.15 - 0.3	0.3 - 0.6	63 - 65	до 0.02	до 0.02

Техническая характеристика

Сплав с низкой остаточной магнитной индукцией и постоянством магнитной проницаемости в широком интервале полей, обладающие магнитной текстурой.

Прецизионность данного материала проявляется в его электромагнитных свойствах. Сплав 64Н легко намагничивается в постоянных электромагнитных полях, но, так же быстро теряет намагниченность вместе с исчезновением или переменной полярности поля. Не приобретает особенностей постоянного магнита при длительном намагничивании. Сопротивление току достаточно большое – 200 Ом•м.

Это не даёт развиваться большим значениям вихревых токов. Прочность железно-никелевого сплава позволяет выдержать силовое воздействие переменных электрических полей.

Механические свойства:

- плотность: $\gamma=8,2$ г/см³
- удельное электрическое сопротивление: $\rho=0,54$ Ом•мм²/м;
- температура точки Кюри: $\Theta_c=450$ °С;
- магнитострикция насыщения: $\lambda_s=25 \cdot 10^{-6}$;
- твердость по Бринеллю 170/130 НВ;
- временное сопротивление: $\sigma_b=740/-$ МПа;
- предел текучести: $\sigma_{0,2}=735/-$ МПа;
- модуль нормальной упругости: $E=200$ Кн/мм²
- относительное удлинение: $\delta_5=3/-$ %;
- относительное сжатие: $\varphi=15/-$ %.

Физические свойства при Т 20°С:

- температура точки Кюри, °С – 600;
- плотность материала, кг/см³ – 8350;
- ТКЛР (коэф. теплового расширения), 1/°С – 11,8;
- модуль упругости первого рода (модуль Юнга), МПа• $\rho > 10^{-5}$ – 1,9.

Формы выпуска: прутки, проволока, круг, поковка, труба, лист, пластина, полоса, лента, фольга.

Применение

64Н применяется для изготовления сердечников катушек реле постоянной индуктивности, дросселей фильтров, магнитопроводов широкополосных автотрансформаторов и трехфазных трансформаторов. Для увеличения сопротивления вихревым токам сердечники выполняют не цельными, а нашихтованными из отдельных изолированных друг от друга пластин.

IV.1.27. Сплав 34НКМП

ГОСТ 10994-74 (Сплавы прецизионные. Марки);

ГОСТ 10160-75 (Сплавы прецизионные магнитомягкие).

Прецизионный магнитомягкий сплав на основе Fe, Ni, Co, легированный Mo, Mn.

Таблица 61. Химический состав сплава 34НКМП (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Mo	Co
30.83 - 34.75	до 0.03	0.15 - 0.3	0.3 - 0.6	33.5 - 35	до 0.02	до 0.02	2.8 - 3.2	28.5 - 30

Техническая характеристика

Сплав 34НКМП с магнитной текстурой и прямоугольной петлей гистерезиса, высокой магнитной проницаемостью и индукцией насыщения не менее 1,2 - 1,5 Т.

Таблица 62. Механические свойства 34НКМП при T=20 °C

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ
-	МПа	МПа	%	%
Лента ГОСТ 10160-75	540	-	40	40
Лента нагартованная ГОСТ 10160-75	930	885	4	5
Твердость 34НКМП, Лента ГОСТ 10160-75		HV 10 ⁻¹ = 130 МПа		

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

HV - Твердость по Бринеллю, [МПа]

Таблица 63. Физические свойства 34НКМП

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	-	-	-	8500	-	500
100	-	10.6	-	-	-	-

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: прутки, проволока, круг, поковка, труба, лист, пластина, полоса, лента, фольга.

Применение

34НКМП применяется для изготовления сердечников магнитных усилителей, коммутирующих дросселей, выпрямительных установок, элементов вычислительных аппаратов счетно-решающих машин.

IV.1.28. Сплав 40НКМП

ГОСТ 10994-74 (Сплавы прецизионные. Марки);

ГОСТ 10160-75 (Сплавы прецизионные магнитомягкие)

Прецизионный магнитомягкий сплав на основе Fe, Ni, Co, легированный Mo, Mn.

Таблица 64. Химический состав сплава 40НКМП (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Mo	Co
28.13 - 32.1	до 0.03	до 0.3	0.3 - 0.6	39.3 - 40.7	до 0.02	до 0.02	3.8 - 4.2	24.5 - 26

Техническая характеристика

Сплав 40НКМП с магнитной текстурой и прямоугольной петлей гистерезиса, характеризуемый анизотропией магнитных свойств, высокой постоянной магнитной проницаемостью в широком интервале полей и магнитной индукцией насыщения не менее 1,2 - 1,5 Т.

Таблица 65. Механические свойства 40НКМП при T=20 °C

Сортамент	σ_b МПа	σ_T МПа	δ_5 %	ψ %
-				
Лента ГОСТ 10160-75	540	145	50	-
Лента нагартованная ГОСТ 10160-75	980	980	4	-
Твердость 40НКМП, Лента ГОСТ 10160-75				
HV 10 ⁻¹ = 110 МПа				

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

HV - Твердость по Бринеллю, [МПа]

Таблица 66. Физические свойства 40НКМП

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	1.8	-	-	8550	-	550

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: прутки, проволока, круг, поковка, труба, лист, пластина, полоса, лента.

Применение

40НКМП применяется для изготовления сердечников магнитных усилителей, коммутирующих дросселей, фильтров, выпрямительных установок, импульсных и широкополосных трансформаторов.

Примечание: С 01.01.1991 сплав не допускается к применению во вновь создаваемой и модернизируемой технике (ГОСТ 10160-75).

IV.1.29. Сплав 49К2Ф

ГОСТ 10994-74 (Сплавы прецизионные. Марки);

ГОСТ 10160-75 (Сплавы прецизионные магнитомягкие)

Прецизионный магнитомягкий сплав на основе Co-Fe (пермендюр), легированный V, Ni, Mn.

Таблица 67. Химический состав сплава 49К2Ф (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	V	Co
46.71 - 50.3	до 0.05	до 0.3	до 0.3	до 0.5	до 0.02	до 0.02	1.7 - 2.1	48 - 50

Техническая характеристика

Сплав с высоким магнитным насыщением, высокой и постоянной проницаемостью, высокой магнитострикцией и высокой точкой Кюри.

Высокая магнитная индукция технического насыщения.

Таблица 68. Механические свойства 49К2Ф при T=20 °C

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ
-	МПа	МПа	%	%
Лента ГОСТ 10160-75	490	345	1	-
Лента нагартованная ГОСТ 10160-75	1320	-	1	-

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

НВ - Твердость по Бринеллю, [МПа]

Таблица 69. Физические свойства 49К2Ф

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	2.2	-	-	8150	-	400
100	-	9.2	-	-	-	-

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: круг, пруток, проволока, лист, пластина, полоса, лента.

Применение

49К2Ф применяется для изготовления сердечников трансформаторов, деталей радиотехнической аппаратуры и аппаратуры связи, в частности, пакетов ультразвуковых преобразователей телефонных мембран.

IV.1.30. Сплав 36КНМ

ГОСТ 10994-74 (Сплавы прецизионные. Марки);

ГОСТ 10160-75 (Сплавы прецизионные магнитомягкие)

Прецизионный магнитомягкий сплав на основе Fe-Co-Ni, легированный Mo, Mn.

Таблица 70. Химический состав сплава 36КНМ (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Mo	Co
36.34 - 40.2	до 0.03	до 0.4	до 0.5	21.5 - 22.5	до 0.015	до 0.015	2.8 - 3.2	35.5 - 37

Техническая характеристика

Сплав с высокой индукцией в слабых и средних полях и низкой коэрцитивной силой, устойчивый к коррозии в морской воде.

Таблица 71. Механические свойства 36КНМ при T=20 °C

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ
-	МПа	МПа	%	%
Лента ГОСТ 10160-75	490	245	45	70
Твердость 36КНМ, Лента нагартованная ГОСТ 10160-75		HV 10 ⁻¹ = 170 МПа		

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

HV - Твердость по Бринеллю, [МПа]

Таблица 72. Физические свойства 36КНМ

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	-	-	-	8200	-	480

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: пруток, проволока, круг, поковка, труба, лист, пластина, полоса, лента.

Применение

36КНМ применяется для магнитопроводов, работающих в агрессивных средах, прежде всего в морской воде.

Примечание: С 01.01.1991 сплав не допускается к применению во вновь создаваемой и модернизируемой технике (ГОСТ 10160-75).

IV.1.31. Сплав 32НХЗ; ЭП546

ТУ 14-1-1377-75 Листы горячекатаные из сплавов 31НХЗГ (ЭП545) и 32НХЗ (ЭП546)

Прецизионный магнитомягкий железоникелевый сплав, легированный Cr, Mn.

Таблица 73. Химический состав сплава 32НХЗ (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr
основа	до 0.05	0.3 - 0.6	до 0.4	31,5 - 32,5	до 0.02	до 0.02	3 - 4

Техническая характеристика

32НХЗ – сплав с заданным тепловым коэффициентом линейного расширения (ТКЛР)

Физические свойства:

- тепловое расширение: 10,1 - 17,1 Е-6 / К;
- теплопроводность: 55,4 - 75,5 Вт / м·К;
- удельная теплоемкость: 456 Дж/кг·К;
- температура плавления: 1370 - 1400 °С;
- рабочая температура: 0 - 500 °С;
- плотность: 8000 кг/м³.

Формы выпуска: прутки, проволока, круг, поковка, лист, пластина, полоса, лента.

Применение

Сплав 32НХЗ применяется: для изготовления прутков и горячекатаного листового проката, используемых в производстве деталей электровакуумной техники.

IV.1.32. Сплав 76НХД

ГОСТ 10994-74 (Сплавы прецизионные. Марки);

Прецизионный магнитомягкий сплав на основе Ni-Fe-Cu (пермаллой), легированный Cr, Mn.

ГОСТ 10160-75 (Сплавы прецизионные магнитомягкие).

Таблица 74. Химический состав сплава 76НХД (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
15.13 - 17.95	до 0.03	0.15 - 0.3	0.3 - 0.6	75 - 76.5	до 0.02	до 0.02	1.8 - 2.2	4.8 - 5.2

Техническая характеристика

76НХД – сплав с высокой магнитной проницаемостью в слабых полях при индукции насыщения 0,65 – 0,75 Т. Характеризуется низким коэффициентом перемагничивания. После термической обработки с замедленным охлаждением от 600 °С характеризуется незначительным изменением свойств в климатическом интервале температур.

Физические свойства:

- тепловое расширение: 10,1 - 17,1 Е-6/К
- теплопроводность: 55,4 - 75,5 Вт/м·К
- удельная теплоемкость: 456 Дж/кг·К
- температура плавления: 1370 - 1400 °С
- рабочая температура: 0 - 500 °С
- плотность: 8000 кг/м³.

Формы выпуска: прутки, проволока, круг, поковка, лист, пластина, полоса, лента.

Применение

76НХД применяется для:

Изготовления ленточных магнитных сердечников малогабаритных трансформаторов, дросселей и реле, работающих в слабых полях магнитных экранов;

В малых толщинах (0,05-0,02 мм) – для изготовления магнитных усилителей, для сердечников импульсных трансформаторов, магнитных усилителей и бесконтактных реле.

Примечания к разделу «Сплавы прецизионные магнитомягкие»

1. Буква П в обозначении марки обозначает сплавы с прямоугольной петлей гистерезиса.

2. В зависимости от уровня магнитных свойств сплавы изготавливают трех классов:

- I – с нормальными магнитными свойствами;
- II – с повышенными магнитными свойствами;
- III – с высокими магнитными свойствами.

3. Свойства сплавов в основном обеспечиваются:

- для класса I – методом открытой выплавки;
- для класса II – выплавкой в вакуумных печах или методом отбора;
- для класса III – специальными методами выплавки (вакуумно-индукционная, вакуумно-дуговая, электронно-лучевая, плазменная или их сочетания, выплавленные из свежих шихтовых материалов).

IV.2. Сплавы прецизионные магнитотвердые

IV.2.1. Сплав 20НХГ (ЭП 298; СП13)

ТУ 14-1-1243-75 Лента холоднокатаная из сплава 20НХГ (ЭП 298) для магнитной записи. Технические условия.

ТУ 14-1-375-89 Лента холоднокатаная из сплава ЭП 298 для магнитной записи. Технические условия.

ТУ 14-1-1243-75 Лента холоднокатаная из сплава 13НХМ для магнитной записи. Технические условия.

Техническая характеристика

20НХГ – магнитотвердый сплав с остаточной индукцией ≥ 11000 Гс и коэрцитивной силой ≥ 60 Э. Сплав обеспечивает хранение информации в экстремальных условиях.

Преимущества ленты для магнитной записи:

- высокие магнитные свойства;
- устойчивость к воздействию коррозии;
- высокие прочностные характеристики;

- высокое удельное электрическое сопротивление;

- низкие удельные магнитные потери.

Формы выпуска: круг, прутки, проволока, лист, лента, фольга.

Применение

20НХГ используется главным образом при изготовлении холоднокатаной ленты для магнитной записи, а также в производстве трансформаторов, дросселей, реле и других деталей магнитных цепей.

Примечание:

Лента по марке 20НХГ изготавливается в следующих размерных параметрах:

- 0,010x6,25мм;
- 0,010x12,7мм;
- 0,010x25,4мм;
- 0,015x6,25мм;
- 0,015x12,7мм;
- 0,015x25,4мм.

IV.2.2. Сплав 35КХ4Ф

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные.

Марки;

ТУ 14-1-1252-75 Листы холоднокатаные из сплавов марок 35КХ4Ф, 35КХ6Ф, 35КХ8Ф(втмо). Технические условия.

Прецизионный магнитотвердый сплав на основе Fe-Co-Cr-V, легированный Mn.

Таблица 75. Химический состав сплава 35КХ4Ф (%).

Fe	C	Si	Mn	S	P	Cr	V	Co
50.4 - 54.7	до 0.06	до 0.3	до 0.4	до 0.02	до 0.02	7.5 - 8.5	3.5 - 4.5	34.3 - 35.8

Техническая характеристика

Сплав с заданными параметрами частной (в поле максимальной проницаемости) петли гистерезиса. Приобретает магнитные свойства после холодной деформации и отпуска. Сплав анизотропен, но может изготавливаться с пониженной анизотропией.

Формы выпуска: круг, прутки, проволока, лист, лента, фольга.

Применение:

35КХ4Ф применяется для изготовления активной части гистерезисных двигателей.

IV.2.3. Сплав 52КФТМ

ТУ 14-1-3205-81 Проволока из сплава 52КФ-ТМ.

Прецизионный магнитотвердый сплав на основе Co-Fe-V, легированный Mn.

Таблица 76. Химический состав сплава 52КФТМ (%).

Fe	C	Si	Mn	S	V	Co
Ост.	до 0.2	до 0.5	до 0.5	до 0.02	11.7 - 13	52 - 54

Техническая характеристика

52КФТМ относится к сплавам с $\gamma \leftrightarrow \alpha$ -превращением. Его магнитные свойства формируются в процессе холодной деформации и отпуска. После холодной деформации сплав имеет твердость 32—40 HRC и допускает механическую обработку (например, резку, штамповку-высечку и др.). Твердость сплава после отпуска равна 55—62 HRC в зависимости от температуры отпуска. При оптимальных температурах, когда имеется максимальная коэрцитивная сила, твердость равна 58—62 HRC.

Формы выпуска: круг, прутки, проволока, лист, лента, фольга.

Применение

Сплав 52КФТМ применяется: для изготовления малогабаритных постоянных магнитов и деталей с высоким омическим сопротивлением приборов и оборудования.

IV.2.4. Сплав 52К9Ф

ТУ 14-1-826-74 Листы и лента холоднокатаные из сплавов типа 52КФ. Технические условия.

Прецизионный магнитотвердый сплав на основе Co-Fe-V, легированный Ni, Cr, Mn.

Таблица 77. Химический состав сплава 52К9Ф (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	V	Co
Ост.	до 0.015	до 0.5	до 0.5	до 0.7	до 0.02	до 0.025	до 0.5	7.8 - 9	52 - 54

Техническая характеристика

52К9Ф – магнитный сплав, обладающий низкой магнитной проницаемостью, высокой коэрцитивной силой и большим магнитным гистерезисом.

Формы выпуска: круг, прутки, проволока, лист, лента, фольга.

Применение

52К9Ф применяется для изготовления деталей с высоким омическим сопротивлением приборов и оборудования: чувствительных элементов запоминающих датчиков пикового значения температуры, малогабаритных постоянных магнитов и активной части гистерезисных двигателей, магнитных муфт и другой сходной по свойствам продукции.

IV.2.5. Сплав 52К12Ф (52КФБ)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ТУ 14-1-826-74 Листы и лента холоднокатаные из сплавов типа 52КФ. Технические условия.

ТУ 14-1-264-72 Лента и полосы холоднокатаные из сплава 52К12Ф (52КФБ). Технические условия.

Прецизионный магнитотвердый сплав на основе Co-Fe-V, легированный Ni, Cr, Mn.

Таблица 78. Химический состав сплава 52К12Ф (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	V	Co
31.135 - 36.4	до 0.12	до 0.5	до 0.5	до 0.7	до 0.02	до 0.025	до 0.5	11.6 - 12.5	52 - 54

Техническая характеристика

Сплав с магнитной энергией $(16—24) \cdot 10^3$ ТА/м.

В зависимости от содержания ванадия и температуры отпуска может быть получено необходимое соотношение коэрцитивной силы и остаточной индукции в пределах $(4,8—32) \cdot 10^3$ А/м и 1,2—0,65 Т. Сплав приобретает магнитные свойства после холодной деформации 70—90% и последующего отпуска. Сплав анизотропен.

Формы выпуска: круг, прутки, проволока, лист, лента, фольга.

Применение

52К12Ф применяется для изготовления малогабаритных постоянных магнитов, а также активной части гистерезисных двигателей.

IV.2.6. Сплав EB6

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные.
Марки.

ТУ 14-1-4487-88 Прутки из легированной магнитотвердой стали.

ТУ 14-1-4979-91 Лента холоднокатаная из сплава марки EB6. Технические условия.

Прецизионный магнитотвердый сплав на основе Fe-W, легированный Ni, Cr, Mn.

Таблица 79. Химический состав сплава EB6 (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	W
основа	0.68 - 0.78	0.17 - 0.4	0.2 - 0.4	до 0.3	до 0.02	до 0.03	0.3 - 0.5	5.2 - 6.2

Техническая характеристика

Сплав EB6 характеризуется коэрцитивной силой от 5 до 12 кА/м и остаточной индукцией от 0,8 до 1,0 Т.

Таблица 80. Магнитные свойства сплава EB6 по ТУ 14-1-4487-88 на термически обработанных образцах.

Коэрцитивная сила		Остаточная индукция	
Э	кА/м	Гс	Т
не менее			
60	4,8	10000	1,00

Магнитные свойства сплава EB6 по ТУ 14-1-4487-88 определяют при напряженности поля 40 кА/м.

При нагреве образцов под нормализацию и закалку должны быть приняты меры по защите их от обезуглероживания.

Таблица 81. Твердость сплава EB6 по ТУ 14-1-4487-88

Твердость по Бринеллю, НВ	Диаметр отпечатка, мм
321-255	3,4-3,8

Формы выпуска: круг, пруток, проволока, лист, лента, фольга.

123 Применение

EB6 применяется для изготовления постоянных магнитов неответственного назначения.

МЕТОТЕХНИКА

ПРЕЦИЗИОННЫЕ СПЛАВЫ

IV.2.7. Сплав EX9K15M2

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные.
Марки.

ТУ 14-1-4487-88 Прутки из легированной магнитотвердой стали.

ТУ 14-11-245-88 «Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия»

Прецизионный магнитотвердый сплав на основе Fe-Co-Cr, легированный Mo, Ni, Mn.

Таблица 82. Химический состав сплава EX9K15M2 (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Co
основа	0.9 - 1.05	0.17 - 0.4	0.2 - 0.4	до 0.6	до 0.02	до 0.03	8 - 10	1.2 - 1.7	13.5 - 16.5

Техническая характеристика

EX9K15M2 – сплав с коэрцитивной силой от 5 до 12 кА/м и остаточной индукцией от 0,8 до 1,0 Т.

Таблица 83. Магнитные свойства сплава EX9K15M2 по ТУ 14-1-4487-88 на термически обработанных образцах.

Коэрцитивная сила		Остаточная индукция	
Э	кА/м	Гс	Т
не менее			
150	11,9	8000	0,80

Магнитные свойства EX9K15M2 по ТУ 14-1-4487-88 определяют при напряженности поля 80 кА/м.

Таблица 84. Твердость сплава EX9K15M2 по ТУ 14-1-4487-88.

Твердость по Бринеллю, НВ	Диаметр отпечатка, мм
341-285	3,3-3,6

Формы выпуска: круг, пруток, проволока, лист, лента, фольга.

124 Применение

EX9K15M2 применяется для изготовления постоянных магнитов неответственного назначения.

МЕТОТЕХНИКА

ПРЕЦИЗИОННЫЕ СПЛАВЫ

IV.2.8. Сплав 22Х15КТФ (ЭК159)

ТУ14-1-5022-91 Прутки и бунты из сплавов марок 25Х15КЮБФ (ЭК33, 25Х15К1) и 22Х15КТФ (ЭК159, 22Х15КА). Технические условия.

Прецизионный магнитотвердый сплав на основе Fe-Cr-Cu, легированный V, Ti, Mn.

Таблица 85. Химический состав сплава 22Х15КТФ (%).

Fe	C	Si	Mn	Ti	S	P	Cr	V	Cu
Ост.	до 0.06	0.3 - 0.7	до 0.5	0.8 - 1.4	до 0.02	до 0.02	22 - 23	0.3 - 0.7	14 - 16

Формы выпуска: круг, прутки, проволока, лист, лента, фольга.

Применение

22Х15КТФ применяется для изготовления постоянных магнитов.

IV.2.9. Сплав 35КХ6Ф

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ТУ 14-1-1252-75 Листы холоднокатаные из сплавов марок 35КХ4Ф, 35КХ6Ф, 35КХ8Ф(втмо). Технические условия.

ТУ 14-1-1870-75 Лента холоднокатаная из сплава 35КХ6Ф и 35КХ8Ф. Технические условия.

Прецизионный магнитотвердый сплав на основе Fe-Co-Cr-V, легированный Mn.

Таблица 86. Химический состав сплава 35КХ6Ф (%).

Fe	C	Si	Mn	S	P	Cr	V	Co
48.38 - 52.7	до 0.08	до 0.3	до 0.4	до 0.02	до 0.02	7.5 - 8.5	5.5 - 6.5	34.3 - 35.8

Техническая характеристика

Сплав с заданными параметрами частной (в поле максимальной проницаемости) петли гистерезиса. Приобретает магнитные свойства после холодной деформации и отпуска. Сплав анизотропен, но может изготавливаться с пониженной анизотропией.

Формы выпуска: круг, прутки, проволока, лист, лента, фольга.

Применение

35КХ6Ф применяется для изготовления активной части гистерезисных двигателей.

IV.2.10. Сплав 52К5Ф (52КФ5)

ТУ 14-1-826-74 Листы и лента холоднокатаные из сплавов типа 52КФ. Технические условия.

Прецизионный магнитотвердый сплав на основе Co-Fe-V, легированный Ni, Cr, Mn.

Таблица 87. Химический состав сплава 52К5Ф (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	V	Co
Ост.	до 0.15	до 0.5	до 0.5	до 0.7	до 0.02	до 0.025	до 0.5	3.8 - 5	52 - 54

Техническая характеристика

Сплав с магнитной энергией (16—24)·103 ТА/м.

В зависимости от содержания ванадия и температуры отпуска может быть получено необходимое соотношение коэрцитивной силы и остаточной индукции в пределах (4,8—32)·103 А/м и 1,2—0,65 Т. Сплав приобретает магнитные свойства после холодной деформации 70—90% и последующего отпуска. Сплав анизотропен.

Формы выпуска: круг, пруток, проволока, лист, лента, фольга.

Применение

52К5Ф применяется для изготовления малогабаритных постоянных магнитов и чувствительных элементов запоминающих датчиков пикового значения температуры.

IV.2.11. Сплав 52К10Ф

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

Прецизионный магнитотвердый сплав на основе Co-Fe-V, легированный Ni, Cr, Mn.

ТУ 14-1-826-74 Листы и лента холоднокатаные из сплавов типа 52КФ. Технические условия.

Таблица 88. Химический состав сплава 52К10Ф (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	V	Co
32.435 - 38.2	до 0.12	до 0.5	до 0.5	до 0.7	до 0.02	до 0.025	до 0.5	9.8 - 11.2	52 - 54

Техническая характеристика

Сплав с магнитной энергией (16—24)·103 ТА/м.

В зависимости от содержания ванадия и температуры отпуска может быть получено необходимое соотношение коэрцитивной силы и остаточной индукции в пределах (4,8—32)·103 А/м и 1,2—0,65 Т. Сплав приобретает магнитные свойства после холодной деформации 70—90% и последующего отпуска. Сплав анизотропен.

Формы выпуска: круг, пруток, проволока, лист, лента, фольга.

Применение

52К10Ф применяется для изготовления малогабаритных постоянных магнитов; для активной части гистерезисных двигателей.

IV.2.12. Сплав 52К13Ф

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ТУ 14-1-826-74 Листы и лента холоднокатаные из сплавов типа 52КФ. Технические условия.

ТУ 14-1-803-73 Проволока холоднотянутая из сплавов типа 52КФ. Технические условия.

ТУ 14-131-851-92 Прокат из прецизионных сплавов 79НМ, 44НХМТ, 52К13Ф. Технические условия.

Прецизионный магнитотвердый сплав на основе Co-Fe-V (викаллой), легированный Ni, Cr, Mn.

Таблица 89. Химический состав сплава 52К13Ф (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	V	Co
30.135 - 35.4	до 0.12	до 0.5	до 0.5	до 0.7	до 0.02	до 0.025	до 0.5	12.6 - 13.5	52 - 54

Техническая характеристика

Сплав с магнитной энергией (16—24)·103 ТА/м.

В зависимости от содержания ванадия и температуры отпуска может быть получено необходимое соотношение коэрцитивной силы и остаточной индукции в пределах (4,8—32)·103 А/м и 1,2—0,65 Т. Сплав приобретает магнитные свойства после холодной деформации 70—90% и последующего отпуска. Сплав анизотропен, т.е. проявляет разные магнитные свойства по различным направлениям. Наибольший показатель магнитных свойств наблюдается после холодной деформации вдоль ее направления. Проволока из сплава марки 52К13Ф после специальной термомеханической обработки обладает коэрцитивной силой (32—40)·103 А/м при индукции 0,80- 1,0 Т.

Формы выпуска: круг, прутки, проволока, лист, лента, фольга.

Применение

52К13Ф применяется для изготовления малогабаритных постоянных магнитов.

IV.2.13. Сплав EX3

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

ТУ 14-1-4487-88 Прутки из легированной магнитотвердой стали. Технические условия.

ТУ 14-1-1054-74 Листы горячекатаные из магнитотвердой стали марок EX3 и EX5K5. Технические условия.

Прецизионный магнитотвердый сплав на основе Fe- Cr, легированный Ni, Mn.

Таблица 90. Химический состав сплава EX3 (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr
Ост.	0.9 - 1.1	0.17 - 0.4	0.2 - 0.4	до 0.3	до 0.02	до 0.03	2.8 - 3.6

Техническая характеристика

EX3 – сплав с коэрцитивной силой от 5 до 12 кА/м и остаточной индукцией от 0,8 до 1,0 Т.

Таблица 91. Магнитные свойства сплава EX3 по ТУ 14-1-4487-88 на термически обработанных образцах.

Коэрцитивная сила		Остаточная индукция	
Э	кА/м	Гс	Т
не менее			
60	4,8	9500	0,95

Магнитные свойства сплава EX3 по ТУ 14-1-4487-88 определяют при напряженности поля 40 кА/м. Режим термической обработки образцов для испытаний:

- Нормализация при 1000-1050 °С, выдержка 10-15 минут, охлаждение на воздухе.
- Закалка при 800-840 °С, выдержка 10-20 минут, охлаждение в масле или в масле через воду.
- Старение: 24 часа на воздухе, затем отпуск при 100-120 °С, выдержка 4-5 часов.

При нагреве образцов под нормализацию и закалку, должны быть приняты меры по защите их от обезуглероживания.

Таблица 92. Твердость сплава EX3 по ТУ 14-1-4487-88.

Твердость по Бринеллю, НВ	Диаметр отпечатка, мм
285-229	3,6-4,0

Формы выпуска: круг, пруток, проволока, лист, лента, фольга.

Применение

EX3 применяется для изготовления постоянных магнитов неотчетственного назначения, изделий судовой электротехники и приборостроения.

IV.2.14. Сплав 25X15КЮБФ (ЭК33)

ТУ 14-1-5022-91 Прутки и бунты из сплавов марок 25X15КЮБФ (ЭК33, 25X15К1) и 22X15КТФ (ЭК159, 22X15КА). Технические условия.

Прецизионный магнитотвердый сплав на основе Fe-Cr-Co, легированный Al, V, Nb, Mn.

Таблица 93. Химический состав сплава 25X15КЮБФ (%).

Fe	C	Si	Mn	Nb	S	P	Cr	V	Co	Al
Ос-нова	≤0,0 60	0,30- 0,80	≤0, 50	0.80- 1.20	≤0,0 20	≤0,0 20	23,50- 25,50	0,80- 1,20	14,0- 16,0	0,80- 1,20

Таблица 94. Технологические свойства

Микроструктура	Сигма-фаза - после закалки от 1300-1100 °С и отпуска при 700-800 °С.
-----------------------	--

Формы выпуска: круг, пруток, проволока, лист, лента, фольга.

Применение:

25X15КЮБФ применяется для изготовления постоянных магнитов.

IV.2.15. Сплав 35КХ8Ф

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные.
Марки.

ТУ 14-1-1252-75 Листы холоднокатаные из сплавов марок 35КХ4Ф, 35КХ6Ф, 35КХ8Ф (втмо). Технические условия.

ТУ 14-1-1870-75 Лента холоднокатаная из сплава 35КХ6Ф и 35КХ8Ф. Технические условия.

Прецизионный магнитотвердый сплав на основе Fe-Co-Cr-V, легированный Mn.

Таблица 95. Химический состав сплава 35КХ8Ф (%).

Fe	C	Si	Mn	S	P	Cr	V	Co
46.37 - 50.7	до 0.09	до 0.3	до 0.4	до 0.02	до 0.02	7.5 - 8.5	7.5 - 8.5	34.3 - 35.8

Техническая характеристика

35КХ8Ф – сплав с высоким значением магнитной энергии $(16-24) \cdot 10^3$ Тл/м., заданными параметрами частной (в поле максимальной проницаемости) петли гистерезиса. Приобретает магнитные свойства после холодной деформации 70–90% и последующего отпуска. Обладает коэрцитивной силой от 5 до 12 кА/м и остаточной индукцией от 0,8 до 1,0 Т. В зависимости от содержания ванадия и температуры отпуска может быть получено необходимое соотношение коэрцитивной силы и остаточной индукции в пределах $(4,8-32) \cdot 10^3$ А/м и 1,2–0,65 Т. Сплав анизотропен, но может изготавливаться с пониженной анизотропией.

Формы выпуска: круг, прутки, проволока, лист, лента, фольга.

Применение

35КХ8Ф применяется для изготовления активной части гистерезисных двигателей, деталей ТВ-техники, малогабаритных постоянных магнитов.

IV.2.16. Сплав 52К7Ф

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные.
Марки.

ТУ 14-1-826-74 Листы и лента холоднокатаные из сплавов типа 52КФ. Технические условия.

ТУ 14-1-803-73 Проволока холоднотянутая из сплавов типа 52КФ. Технические условия.

Прецизионный магнитотвердый сплав на основе Fe-Co-V, легированный Ni, Cr, Mn.

Таблица 96. Химический состав сплава 52К7Ф (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	V	Co
Ост.	до 0.015	до 0.5	до 0.5	до 0.7	до 0.02	до 0.025	до 0.5	5.8 - 7	52 - 54

Формы выпуска: круг, прутки, проволока, лист, лента, фольга.

Применение

52К7Ф применяется для изготовления чувствительных элементов запоминающих датчиков пикового значения температуры.

IV.2.17. Сплав 52К11Ф (52КФВ)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные.
Марки.

ТУ 14-1-826-74 Листы и лента холоднокатаные из сплавов типа 52КФ. Технические условия.

ТУ 14-1-1118-74 Лента холоднокатаная из сплава марки 52К11Ф (52КФВ). Технические условия.

Прецизионный магнитотвердый сплав на основе Co-Fe-V (викаллой), легированный Ni, Cr, Mn.

Таблица 97. Химический состав сплава 52К11Ф (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	V	Co
32.135 - 38	до 0.12	до 0.5	до 0.5	до 0.7	до 0.02	до 0.025	до 0.5	10 - 11.5	52 - 54

Техническая характеристика

52К11Ф – сплав с магнитной энергией $(16—24) \cdot 10^3$ Тл/м. Намагничиваясь в мощных магнитных полях, обретает свойства эффективного постоянного магнита со значительными параметрами. Сплав приобретает магнитные свойства после холодной деформации 70—90% и последующего отпуска. Обладает низкой магнитной проницаемостью, высокой коэрцитивной силой и большим магнитным гистерезисом. В зависимости от содержания ванадия и температуры отпуска может быть получено необходимое соотношение коэрцитивной силы и остаточной индукции в пределах $(4,8—32) \cdot 10^3$ А/м и 1,2—0,65 Т. Имеет анизотропную структуру, проявляя те или иные магнитные свойства по различным направлениям. Наибольший показатель магнитных свойств наблюдается после холодной деформации вдоль ее направления.

Плотность материала 8,23 г/см³

- для ленты предел кратковременной прочности 490 МПа и предел текучести на уровне 345 МПа;
- для нагартованной ленты предел кратковременной прочности 1320 МПа и относительное удлинение в случае разрыва 1%.

Применение

Сплав 52К11Ф в основном применяется для изготовления различных постоянных магнитов в приборостроении, машиностроении, производстве бытовой техники, различного промышленного оборудования. Он также используется для изготовления деталей сложной конфигурации с высоким омическим сопротивлением для приборов и оборудования: чувствительных элементов запоминающих датчиков пикового значения температуры, малогабаритных постоянных магнитов и активной части гистерезисных двигателей, магнитных муфт и другой сходной по свойствам продукции.

IV.2.18. Сплав 5Х14В (5ХВ14)

ТУ 14-1-918-74 Прутки кованные и листы горячекатаные из сплава 5Х14В (5ХВ14). Технические условия.

Прецизионный магнитотвердый сплав на основе Fe-W-Cr, легированный Mn.

Таблица 98. Химический состав сплава 5Х14В (%).

Fe	C	Si	Mn	S	P	W	Cr
Ост.	до 0.05	до 0.3	до 0.4	до 0.02	до 0.02	13.5 - 14.5	4.5 - 5.5

Техническая характеристика

Сплав обладает высокой магнитной энергией и запасом технологической пластичности (деформируемости), позволяющих изготавливать детали сложной геометрии.

Магнитные свойства

1. Магнитные свойства термообработанных образцов кованных прутков в поле максимальной проницаемости (H_m^H) 70-90 Э:

- максимальная индукция (B_m^H) ≥ 9500 Гс;
- коэрцитивная сила (H_c^H) ≥ 50 Э;
- остаточная индукция (B_r^H) ≥ 7500 Гс;
- отношение потерь на гистерезис к $H_m^H \geq 1500$ эрг/см³·э.

2. Магнитные свойства термообработанных образцов горячекатаных листов в поле максимальной проницаемости (H_m^H) 75-100 Э:

- максимальная индукция (B_m^H) ≥ 9000 Гс;
- коэрцитивная сила (H_c^H) ≥ 50 Э;
- остаточная индукция (B_r^H) ≥ 7000 Гс;
- удельные потери на гистерезис $P_r \geq 125000$ эрг/см³.

Формы выпуска: поковки, прутки, лист, лента, фольга.

Применение

5Х14В применяется для изготовления деталей активной части роторов гистерезисных микродвигателей.

IV.2.19. Сплав EX5K5

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ТУ 14-1-4487-88 Прутки из легированной магнитотвердой стали. Технические условия.

ТУ 14-1-1054-74 Листы горячекатаные из магнитотвердой стали марок EX3 и EX5K5. Технические условия.

Прецизионный магнитотвердый сплав на основе Fe-Co-Cr, легированный Ni, Mn.

Таблица 99. Химический состав сплава EX5K5 (%).

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Co
0.9 - 1.05	0.17 - 0.4	0.2 - 0.4	до 0.6	до 0.02	до 0.03	5.5 - 6.5	5.5 - 6.5

Техническая характеристика

EX5K5 – сплав с плотностью 7.82 г/см³, коэрцитивной силой от 5 до 12 кА/м и остаточной индукцией от 0,8 до 1,0 Т.

Таблица 100. Магнитные свойства сплава EX5K5 по ТУ 14-1-4487-88 на термически обработанных образцах.

Коэрцитивная сила		Остаточная индукция	
Э	кА/м	Гс	Т
не менее			
90	7,1	8500	0,85

Таблица 101. Твердость сплава EX5K5 по ТУ 14-1-4487-88.

Твердость по Бринеллю, НВ	Диаметр отпечатка, мм
341-269	3,3-3,7

Формы выпуска: поковки, прутки, лист, лента, фольга, проволока.

Применение

Для изготовления постоянных магнитов неотвеченного назначения.

IV.3. Сплавы прецизионные с заданными свойствами упругости

сплава (ЭП218) и 45НХТ-П (ЭП218-П). Технические условия.

IV.3.1. Сплав 45НХТ (ЭП218)

ТУ 14-1-3074-80 Прокат сортовой, лист горячекатаный, проволока и лента из

Прецизионный сплав с заданными свойствами упругости на основе Fe-Ni-Cr-Ti (элинвар), легированный Al, Mn.

Таблица 102. Химический состав сплава 45НХТ (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Al
основа	до 0.05	0.3 - 0.7	0.3 - 0.7	44.7 - 45,7	до 0.02	до 0.02	5 - 6	2.3-3	0.5-1

Техническая характеристика

45НХТ – дисперсионно упрочняющийся* аустенитный сплав с низким и постоянным модулем нормальной упругости.

**Примечание: дисперсионное твердение — упрочнение за счёт выделения из пересыщенного твердого раствора большого количества частиц второй (мелкодисперсной) фазы. За счёт того, что частицы мелкодисперсной фазы препятствуют перемещению дефектов кристаллической решётки (дислокаций), сплав упрочняется. Дисперсионно-упрочненные материалы (англ. dispersion-strengthened materials) — композитные материалы, в связующий компонент которых (матрицу) включены армирующие элементы в виде специально вводимых частиц (примесных или дисперсных фаз). Оптимальным образом подобранным распределением включений достигается значительное повышение прочности такого материала по сравнению с материалом матрицы.*

Формы выпуска: сортовой и фасонный прокат, лист, полоса, лента, нить, проволока.

Применение

45НХТ применяется в производстве упругих чувствительных элементов сложной формы, в т.ч. резонаторов электромеханических фильтров, мембран, пружин подвесов, роторов, гироскопов, плотномеров для жидких сред, часовых волосков, ультразвуковых линий задержек и других деталей, от которых требуются упругие свойства, не зависящие от температуры.

IV.3.2. Сплав 46НХТ (ЭП619)

ТУ 14-1-3075-80 Прокат сортовой, лист горячекатаный, проволока и лента из сплава 46НХТ-П (ЭП619). Технические условия.

Прецизионный сплав с заданными свойствами упругости на основе Fe-Ni-Cr-Ti (элинвар), легированный Al, Mn. Заменитель сплава 45НХТ.

Таблица 103. Химический состав сплава 46НХТ (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Al
основа	до 0.05	0.3 - 0.7	0.3 - 0.7	45.0 – 47.0	до 0.02	до 0.02	4.5 – 5.5	2.9- 3.5	0.5- 1

Техническая характеристика

45НХТ – дисперсионно упрочняющийся аустенитный сплав с низким и постоянным модулем нормальной упругости.

Физические свойства 46НХТ (ТУ 14-1-3075-80):

- тепловое расширение: 10,1 – 17.,1 Е-6/К;
- теплопроводность: 55,4 – 75,5 Вт/м·К;
- удельная теплоемкость: 456 Дж/кг·К;
- температура плавления: 1370 – 1400 °С;
- диапазон рабочих температур: 0 – 500 °С;
- плотность: 8000 – 8000 кг/м³.

Формы выпуска: сортовой и фасонный прокат, лист, полоса, лента, проволока, нить.

Применение

Сплав 46НХТ применяется в производстве упругих чувствительных элементов сложной формы, в т.ч. резонаторов электромеханических фильтров, мембран, пружин подвесов, роторов, гироскопов, плотномеров для жидких сред, часовых волосков, ультразвуковых линий задержек и других деталей, от которых требуются упругие свойства, не зависящие от температуры.

IV.3.3. Сплав 36НХТЮ (ЭИ702)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 14119-85 Прутки из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

ТУ 14-1-3904-84 Заготовка кованая квадратная и прямоугольная из прецизионных сплавов. Технические условия.

ГОСТ 14117-85 Лента из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

ГОСТ 14118-85 Проволока из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

СТ ЦКБА 016-2005 Арматура трубопроводная. Термическая обработка деталей, заготовок и сварных сборок из высоколегированных сталей, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей.

ТУ 14-1-1373-75 Лента холоднокатаная из сплава 36НХТЮ8М. Технические условия.

ТУ 14-1-2554-78 Заготовка трубная для бесшовных тонкостенных труб из сплавов 36НХТЮ (ЭИ702) и 36НХТЮ5М-ВИ (ЭП51-ВИ). Технические условия.

ТУ 14-1-279-71 Лента холоднокатаная и проволока холоднотянутая из сплава 36НХТЮМ8. Технические условия.

ТУ 14-1-279-72 Лента холоднокатаная из сплава 36НХТЮ8М (ЭП52). Технические условия.

ТУ 14-1-2880-80 Проволока холоднотянутая из сплава 36НХТЮ8М (ЭП52). Технические условия.

СТ ЦКБА 010-2004 Арматура трубопроводная. Поковки, штамповки и заготовки из проката. Технические требования.

ТУ 14-1-1124-74 Лента из прецизионного сплава марки 36НХТЮ (ЭИ702). Технические условия.

ТУ 14-1-1129-74 Прутки из сплава марки (ЭИ702) 36НХТЮ. Технические условия.

ТУ 14-1-2858-79 Листы из прецизионного сплава марки 36НХТЮ (ЭИ702).

ТУ 14-1-4618-89 Лента холоднокатаная из сплава 36НХТЮ. Технические условия.

Прецизионный немагнитный сплав с заданными свойствами упругости на основе Fe-Ni-Cr-Ti (элинвар), легированный Al, Mn.

Таблица 104. Химический состав сплава 36НХТЮ (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Al
43.61	- до	0.3 -	0.8 -	35 -	до	до	11.5 -	2.7 -	0.9 -
48.8	0.05	0.7	1.2	37	0.02	0.02	13	3.2	1.2

Техническая характеристика

Сплав немагнитный коррозионностойкий дисперсионно-твердеющий с временным сопротивлением 1180—1570 МН/м² (120—160 кгс/мм²), с модулем нормальной упругости 186500—196000 МН/м² (19000—20000 кгс/мм²).

Таблица 105. Механические свойства 36НХТЮ при T=20 °С

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ	КСУ	Термообработка
-	МПа	МПа	%	%		
Пруток, ГОСТ 14119-85	880-1130	490-735	14	22-35	390-590	Закалка и старение
Проволока, ГОСТ 10994-74	1180-1570	-	-	-	-	-
Лента нагартованная, ГОСТ 14117-85	950-1350	-	1-2	-	-	-
Лента мягкая, ГОСТ 14117-85	590-880	-	25	-	-	Закалка
Твердость 36НХТЮ			HV 10 ⁻¹ = 110 МПа			

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

НВ - Твердость по Бринеллю, [МПа]

ψ - Относительное сужение, [%]

КСУ - Ударная вязкость, [кДж/м²]

Таблица 106. Физические свойства 36НХТЮ

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	1.3	-	-	-	-	-

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства, [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения, [1/Град]

ρ - Плотность материала, [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: сортовой и листовой прокат, лента, прутки, проволока.

Применение

36НХТЮ применяется для изготовления упругих чувствительных компонентов высокоточной измерительной техники, работающих при температуре до 250 °С. Возможно использование в некоторых агрессивных средах.

IV.3.4. Сплав 44НХТЮ

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 14119-85 Прутки из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

ГОСТ 14117-85 Лента из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

Таблица 107. Химический состав сплава 44НХТЮ (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Al
44.11 - 48.3	до 0.05	0.3 - 0.6	0.3 - 0.6	43.5 - 45.5	до 0.02	до 0.02	5 - 5.6	2.2 - 2.7	0.4 - 0.8

Техническая характеристика

Сплав дисперсионно-твердеющий с низким температурным коэффициентом модуля упругости до 180—200 °С (15·10⁻⁶ 1/°С)

ГОСТ 14118-85 Проволока из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия»

ОСТ 1 90005-91 Стали и сплавы. Показатели временного сопротивления и твердости. Глубина слоя при химико-термической обработке.

Прецизионный немагнитный сплав с заданными свойствами упругости на основе Fe-Ni-Cr-T(элинвар), легированный Al, Mn.

Таблица 108. Механические свойства 44НХТЮ при T=20 °С

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ	КСУ	Термообработка
	МПа	МПа	%	%	кДж/м ²	
Пруток, ГОСТ 14119-85	980	635	15	25	690	Закалка и старение
Проволока нагартован., ГОСТ 14118-85	1080	-	-	-	-	-
Проволока полунагартован., ГОСТ 14118-85	980	-	-	-	-	-
Лента нагартован., ГОСТ 14117-85	800	-	-	-	-	-
Твердость 44НХТЮ			HV 10 ⁻¹ = 300-320 МПа			

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

НВ - Твердость по Бринеллю, [МПа]

ψ - Относительное сужение, [%]

КСУ - Ударная вязкость, [кДж/м²]

Таблица 109. Физические свойства 44НХТЮ

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	1.79	8	-	-	-	-

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства, [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения, [1/Град]

ρ - Плотность материала, [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: Сортовой прокат, лента, прутки, проволока

44НХТЮ применяется для изготовления упругих чувствительных элементов, работающих при температуре до +200°С.

IV.3.5. Сплав 42НХТЮ

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 14119-85 Прутки из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

ГОСТ 14117-85 Лента из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

ГОСТ 14118-85 Проволока из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

ОСТ 1 90005-91 Стали и сплавы. Показатели временного сопротивления и твердости. Глубина слоя при химико-термической обработке.

Прецизионный немагнитный сплав с заданными свойствами упругости на основе Fe-Ni-Cr-Ti (элинвар), легированный Al, Mn.

Таблица 110. Химический состав сплава 42НХТЮ (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Al
44.91 - 49.3	до 0.05	0.5 - 0.8	0.5 - 0.8	41.5 - 43.5	до 0.02	до 0.02	5.3 - 5.9	2.4 - 3	0.5 - 1

Техническая характеристика

Сплав дисперсионно-твердеющий с низким температурным коэффициентом модуля упругости до +100 °С (20·10⁻⁶ 1/°С) с временным сопротивлением 1180—1570 МН/м² (120—160 кгс/мм²).

Таблица 111. Механические свойства 42НХТЮ при T=20 °С

Сортамент	σ_b МПа	σ_T МПа	δ_5 %	ψ %	КСУ кДж/м ²	Термообработка
ГОСТ 10994-74	1180-1570				-	
Пруток, ГОСТ 14119-85	980	635	8	25	-	Закалка и старение
Проволока полунагартован., ГОСТ 14118-85	980	-	-	-	-	-
Проволока нагартован., ГОСТ 14118-85	1080	-	-	-	-	-
Лента нагартован., ГОСТ 14117-85	830	-	-	-	-	-
Твердость 42НХТЮ			НВ 10 ⁻¹ = 320-350 МПа			

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

НВ - Твердость по Бринеллю, [МПа]

ψ - Относительное сужение, [%]

КСУ - Ударная вязкость, [кДж/м²]

Примечание: Механические свойства сплава 42НХТЮ могут меняться при изменении температуры нагрева поверхности.

Таблица 112. Физические свойства 42НХТЮ

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	1.82	9.5	-	-	-	-

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: сортовой прокат, лента, прутки, проволока, труба

Применение

42НХТЮ применяется для изготовления упругих чувствительных элементов, работающих при температуре до +100 °С.

В частности, из сплава 42НХТЮ производят элементы и детали, применение которых актуально в медицинской промышленности, фармации, приборостроении, часто из сплава изготавливают полые трубы, механизмы с заданными свойствами. Главное требование к условиям применения – отсутствие сильного нагрева. Нежелательны резкие перепады температурных показателей, особенно превышающие установленные нормы.

IV.3.6. Сплав 36НХТЮ5М (ЭП51)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 14119-85 Прутки из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

ГОСТ 14117-85 Лента из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

ГОСТ 14118-85 Проволока из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.
ТУ 14-1-2554-78 Заготовка трубная для бесшовных тонкостенных труб из сплавов 36НХТЮ (ЭИ702) и 36НХТЮ5М-ВИ (ЭП51-ВИ). Технические условия.

Прецизионный немагнитный сплав с заданными свойствами упругости на основе Fe-Ni-Cr-Mo-Ti (элинвар), легированный Al, Mn.

Таблица 113. Химический состав сплава 36НХТЮ5М (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Ti	Al
37.01 - 43.7	до 0.05	0.3 - 0.7	0.8 - 1.2	35 - 37	до 0.02	до 0.02	12.5 - 13.5	4 - 6	2.7 - 3.2	1 - 1.3

Техническая характеристика

Сплав немагнитный коррозионностойкий дисперсионно-твердеющий с временным сопротивлением 1375—1765 МН/м² (140—180 кгс/мм²), с модулем нормальной упругости 196000—206000 МН/м² (20000—21000 кгс/мм²).

Таблица 114. Механические свойства 36НХТЮ5М при T=20 °С

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ	КСУ	Термообработка
	МПа	МПа	%	%	кДж/м ²	
-						
Прутки, ГОСТ 14119-85	1030	635	10	20	290	Закалка и старение
Проволока, ГОСТ 10994-74	1375-1765	-	-	-	-	-
Лента нагартован., ГОСТ 14117-85	1100	-	1	-	-	-
Лента мягк., ГОСТ 14117-85	880-930	-	15-20	-	-	Закалка
Твердость 36НХТЮ5М			НВ 10 ⁻¹ = 400-420 МПа			

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

НВ - Твердость по Бринеллю, [МПа]

ψ - Относительное сужение, [%]

КСУ - Ударная вязкость, [кДж/м²]

Таблица 115. Физические и магнитные свойства 36НХТЮ5М.

Модуль нормальной упругости, E, 10 ⁻¹ Н/мм ²	20000-21000	20000-21500	20500-22500
Предел упругости при изгибе $\sigma_{0,005}$, Н/мм ²	690-880	980-1180	1180-1320
Модуль сдвига $\theta \cdot 10^{-3}$, Н/мм ²	75-80	-	-
Удельное электросопротивление ρ , Ом·м	1,0-1,1	-	-
Температурный коэффициент линейного расширения, $\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹	12-14	-	-
Магнитная восприимчивость $\chi \cdot 10^{-10}$, в абсолютных электромагнитных единицах СИ	12,6-20,5	-	-
Температурный коэффициент модуля упругости $\nu \cdot 10^6$, К ⁻¹	200-250	-	-

Формы выпуска: сортовой прокат, лента, прутки, проволока, труба

Применение

36НХТЮ5М применяется для изготовления упругих и упругочувствительных элементов, предельная рабочая температура которых не превышает 250 – 350 °С.

Сплав 36НХТЮ5М применяется для изготовления упругих элементов в измерительных приборах высокой точности, различных пружин (например, часовых), элементов с высокой чувствительностью к деформации. Допустимо использование в некоторых агрессивных средах. Сплав 36НХТЮ5М жаропрочен, поэтому обладает высоким сопротивлением в отношении разнообразных нагрузок при повышенных температурах. По этой причине его используют как конструкционный материал для деталей двигателей внутреннего сгорания, паровых и газовых турбин, атомных котлов и реактивных двигателей.

IV.3.7. Сплав 36НХТЮ8М (ЭП52)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 14119-85 Прутки из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

ГОСТ 14117-85 Лента из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

ГОСТ 14118-85 Проволока из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

ТУ 14-1-2554-78 Заготовка трубная для бесшовных тонкостенных труб из

сплавов 36НХТЮ (ЭИ702) и 36НХТЮ5М-ВИ (ЭП51-ВИ). Технические условия.

ТУ 14-1-1373-75 Лента холоднокатаная из сплава 36НХТЮ8М. Технические условия.

ТУ 14-1-279-71 Лента холоднокатаная и проволока холоднотянутая из сплава 36НХТЮ8М. Технические условия.

ТУ 14-1-279-72 Лента холоднокатаная из сплава 36НХТЮ8М (ЭП52). Технические условия.

ТУ 14-1-2880-80 Проволока холоднотянутая из сплава 36НХТЮ8М (ЭП52). Технические условия.

Прецизионный немагнитный сплав с заданными свойствами упругости на основе Fe-Ni-Cr-Mo-Ti (элинвар), легированный Al, Mn.

Таблица 116. Химический состав сплава 36НХТЮ8М (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Ti	Al
34.51 - 40.7	до 0.05	0.3 - 0.7	0.8 - 1.2	35 - 37	до 0.02	до 0.02	12 - 13.5	7.5 - 8.5	2.7 - 3.2	1 - 1.3

Техническая характеристика

Сплав немагнитный коррозионностойкий дисперсионно-твердеющий с временным сопротивлением 1375—1960 МН/м² (140—200 кгс/мм²), с модулем нормальной упругости 196000—216000 МН/м² (20000—22000 кгс/мм²). Кроме высоких показателей упругости и сохранения стабильности формы даже при работе в зонах повышенного температурного режима, данный материал обладает достаточной стойкостью к коррозионному разрушению, благодаря чему активно используется в различных сферах промышленного комплекса.

Таблица 117. Механические свойства 36НХТЮ8М при T=20 °C

Сортамент	σ_b МПа	σ_T МПа	δ_5 %	ψ %	КСУ кДж/м ²	Термообработка
-						
Проволока нагартован., ГОСТ 14118-85	1370					
Проволока полунагартован., ГОСТ 14118-85	1080					
Лента нагартован., ГОСТ 14117-85	1180					
Лента мягк., ГОСТ 14117-85	980		15			
Твердость 36НХТЮ8М			HV 10 ⁻¹ = 440-450 МПа			

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

HV - Твердость по Бринеллю, [МПа]

ψ - Относительное сужение, [%]

КСУ - Ударная вязкость, [кДж/м²]

Таблица 118. Физические и магнитные свойства 36НХТЮ8М.

Модуль нормальной упругости, E, 10 ⁻¹ Н/мм ²	20000-21000	20000-21500	20500-22500
Предел упругости при изгибе $\sigma_{0,005}$, Н/мм ²	690-880	980-1180	1180-1320
Модуль сдвига $\theta \cdot 10^{-3}$, Н/мм ²	75-80	-	-
Удельное электросопротивление ρ , Ом·м	1,0-1,1	-	-
Температурный коэффициент линейного расширения, $\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹	12-14	-	-
Магнитная восприимчивость $\chi \cdot 10^{-10}$, в абсолютных электромагнитных единицах СИ	12,6-20,5	-	-
Температурный коэффициент модуля упругости $\nu \cdot 10^6$, К ⁻¹	200-250	-	-

152 **Формы выпуска:** сортовой прокат, лента, прутки, проволока

152 Применение

36НХТЮ8М применяется для изготовления упругих чувствительных элементов, работающих при температуре до +400 °C.

IV.3.8. Сплав 68НХВКТЮ-ВИ (ЭП578-ВИ)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 14119-85 Прутки из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

ГОСТ 14117-85 Лента из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

ГОСТ 14118-85 Проволока из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

ТУ 14-1-4456-88. Лента холоднокатаная из сплава марки 68НХВКТЮ-ВИ (ЭП578-ВИ). Технические условия.

ТУ 14-1-4470-88. Прутки из сплава 68НХВКТЮ-ВИ (ЭП578-ВИ). Технические условия.

ТУ 14-1-4488-88. Проволока холоднотянутая из сплава марки 68НХВКТЮ-ВИ (ЭП578-ВИ). Технические условия.

ТУ 14-11-245-88. Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

Прецизионный немагнитный сплав с заданными свойствами упругости на основе Ni-Cr-W-Co-Ti, легированный Al, Fe, Mn, Cu, В.

Таблица 119. Химический состав сплава 68НХВКТЮ-ВИ (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ce	W	V	Co	Nb	Ti	Al	Cu	B	-
до 1.0	до 0.05	до 0.4	до 0.4	55.4 - 63.5	до 0.01	до 0.015	18 - 20	до 0.05	9.0 - 10.5	до 0.2	5.5 - 6.7	до 0.2	2.7 - 3.2	1.3 - 1.8	до 0.07	до 0.003	В, Се - расчет

Техническая характеристика

Сплав немагнитный коррозионностойкий дисперсионно-твердеющий с временным сопротивлением 1375—1570 МН/м² (140—160 кгс/мм²), с модулем нормальной упругости 196000—216000 МН/м² (20000—22000 кгс/мм²). Сплав имеет высокую коррозионную стойкость в атмосферных условиях, в авиационных топливах, жидкометаллической эвтектике* до 500°С и в ряде других агрессивных сред.

*Примечание: Эвтектика (греч. εὐτήκτος — легкоплавкий) — нонвариантная (при постоянном давлении) точка в системе из n компонентов, в которой находятся в равновесии n твёрдых фаз и жидкая фаза. Эвтектическая композиция представляет собой жидкий раствор, кристаллизующийся при наиболее низкой температуре для сплавов данной системы. Соответственно, температура плавления сплава эвтектического состава — также самая низкая, по сравнению со сплавами другого состава для данной системы компонентов.

Таблица 120. Механические свойства 36НХТЮ8М при T=20 °С

Сортамент	σ _в
-	МПа
ГОСТ 10994-74	1375-1570

Обозначения:

σ_в - Предел кратковременной прочности, [МПа]

Физические свойства:

- тепловое расширение: 10,1 - 17,1 Е-6/К;
- теплопроводность: 55,4 - 75,5 Вт/м·К;
- удельная теплоемкость: 456 Дж/кг·К;
- температура плавления: 1370 - 1400 °С;
- рабочая температура: 0 – 500 °С;
- плотность: 8000 – 8000 кг/м³.

Формы выпуска: сортовой прокат, лист, лента, пруток, проволока

Применение

68НХВКТЮ-ВИ применяется для изготовления упругих чувствительных элементов и деталей приборов, работающих в температурном диапазоне от –196 до +500 °С, в т.ч. силовых пружин тарельчатой, плоской и др. конфигураций, а также упругочувствительных элементов авиаприборов и автоматических авиационных систем.

IV.3.9. Сплав 58НХВКТБЮ-ВИ (ЭП877-ВИ)

ТУ 14-1-3182-81 Прутки горячекатаные и кованые из сплава 58НХВКТБЮ-ВИ (ЭП877-ВИ). Технические условия.

Прецизионный немагнитный сплав с заданными свойствами упругости на основе Ni-Fe-Cr-W-Co-Ti, легированный Nb, Al, Mn, Cu, La, В.

Таблица 121. Химический состав сплава 58НХВКТБЮ-ВИ (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	W	Co	Nb	Ti	Al	Cu	B	La	Y	-
11-13	до 0.05	до 0.5	до 0.4	Ост.	до 0.007	до 0.015	16-18	11-12.5	6-7	1.4-1.7	2.5-3	1.3-1.8	до 0.07	до 0.009	до 0.02	до 0.02	В, La, Y расчет.

Бор, лантан и иттрий вводятся в металл по расчету и химическим анализом не определяются.

Техническая характеристика

Жаропрочный дисперсионно-твердеющий сплав на никелевой основе.

Физические свойства:

- тепловое расширение: 10,1 - 17,1 Е-6/К;
- теплопроводность: 55,4 - 75,5 Вт/м•К;
- удельная теплоемкость: 456 Дж/кг•К;
- температура плавления: 1370 – 1400 °С;
- рабочая температура: 0 – 500 °С;
- плотность: 8000 - 8000 кг/м³.

Формы выпуска: слитки, поковки, прутки, полоса, лента.

Применение

58НХВКТБЮ-ВИ применяется для изготовления высоконагруженных жаропрочных упругих элементов авиаприборов и автоматических систем авиатехники.

IV.3.10. Сплав 12ХНКМТЮ (СП22)

ТУ 14-1-3853-84 Лента холоднокатаная из прецизионного сплава 12ХНКМТЮ (СП-22). Технические условия.

ТУ 14-1-4722-89 Лента холоднокатаная из прецизионного сплава марки 12ХНКМТЮ (СП-22). Технические условия.

ТУ 14-165-301-89 Заготовки пружин для заводных игрушек из сплава 12ХНКМТЮ (СП-22). Технические условия.

Прецизионный немагнитный сплав с заданными свойствами упругости на основе Fe-Cr-Ni-Co-Mo, легированный Ti, Al, Mn.

Таблица 122. Химический состав сплава 12ХНКМТЮ (%).

Fe	C	Mn	Ni	S	P	Cr	Si	Ti	Al	Mo	Co
Ост.	до 0.03	до 0.25	8.5 - 9.5	до 0.01	до 0.01	12 - 13	до 0.35	0.65 - 1	0.25 - 0.4	2 - 2.4	2.9 - 3.5

Формы выпуска: круги, прутки, лента, лист, проволока.

Применение

12ХНКМТЮ применяется для изготовления упругих чувствительных элементов; ленточных пружин различного назначения.

IV.3.11. Сплав 17ХНГТ-ВИ (ЭИ814-ВИ)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные.
Марки.

Прецизионный немагнитный сплав с заданными свойствами упругости на основе Fe-Cr-Ni, легированный Ti, Al, Mn.

Таблица 123. Химический состав сплава 17ХНГТ (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Al
основа	до 0.05	до 0.6	0.8 - 1.2	6.5 - 7.5	до 0.02	до 0.02	16.5 - 17.5	0.8 - 1.2	до 0.5

Техническая характеристика

Сплав высокой твердости, коррозионноустойчивый во всех климатических условиях и некоторых агрессивных средах, дисперсионно-твердеющий, с временным сопротивлением 1470—1720 МН/м² (150—175 кгс/мм²), с модулем нормальной упругости 196000 МН/м² (20000 кгс/мм²).

Таблица 124. Механические свойства 17ХНГТ при T=20 °C

Сортамент	σ_b
-	МПа
ГОСТ 10994-74	1470-1720

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

Формы выпуска: сортовой и листовой прокат, лента, прутки, проволока.

Применение

17ХНГТ применяется для упругих чувствительных элементов и пружинных деталей общего и специального назначения, работающих до 250°C; упругих элементов в авиаприборах и автоматических системах для упругочувствительных элементов.

IV.3.12. Сплав 40КНХМВТЮ-ВИ

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные.
Марки.

Прецизионный немагнитный сплав с заданными свойствами упругости на основе Co-Ni-Cr-Fe-W-Mo, легированный Mn, Ti, Al.

ГОСТ 14118-85 Проволока из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

Таблица 125. Химический состав сплава 40КНХМВТЮ (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	W	Co	Ti	Al
9.71 - 19	до 0.05	до 0.5	1.8 - 2.2	18 - 20	до 0.02	до 0.02	11.5 - 13	3 - 4	6 - 7	39 - 41	1.5 - 2	0.2 - 0.5

Техническая характеристика

Сплав немагнитный коррозионноустойчивый деформационно-твердеющий с временным сопротивлением проволоки 1960—2160 МН/м² (200—220 кгс/мм²), с модулем нормальной упругости 216000 МН/м² (22000 кгс/мм²).

Таблица 126. Механические свойства 40КНХМВТЮ при T=20 °C

Сортамент	σ_b
-	МПа
Проволока нагартованная, ГОСТ 14118-85	1470

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

Формы выпуска: слитки, круги, прутки, лента, лист, проволока.

Применение

40КНХМВТЮ применяется для изготовления заводных пружинных механизмов общего и специального назначения; упругих элементов в авиаприборах и автоматических системах для упругочувствительных элементов.

IV.3.13. Сплав 40КХНМ (ЭИ995)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

ГОСТ 14117-85 Лента из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

ГОСТ 14118-85 Проволока из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

ГОСТ Р 51397-99 Лента и проволока из специальных сплавов для соединительных и вживляемых элементов изделий для сердечно-сосудистой хирургии. Общие технические условия.

ТУ 14-1-1285-75 Проволока холоднотянутая из сплава марки 40КХНМ. Технические условия.

ТУ 14-1-899-74 Проволока холоднотянутая из сплава 40КХНМ. Технические условия.

Прецизионный немагнитный сплав с заданными свойствами упругости на основе Co-Cr-Ni-Fe-Mo, легированный Mn.

Таблица 127. Химический состав сплава 40КХНМ (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Co
10.74 - 18.73	0.07 - 0.12	до 0.5	1.8 - 2.2	15 - 17	до 0.02	до 0.02	19 - 21	6.4 - 7.4	39 - 41

Техническая характеристика

Сплав с временным сопротивлением проволоки 2450-2650 МН/м² (250-270 кгс/мм²), с модулем нормальной упругости 196000 МН/м² (20000 кгс/мм²), немагнитный коррозионностойкий в агрессивных средах и в условиях тропического климата, деформационно-твердеющий.

Таблица 128. Механические свойства 40КХНМ при T=20 °С

Сортамент	σ_b МПа	σ_T МПа	δ_5 %	ψ %	КСУ кДж/м ²	Термообработка
Проволока термообработ., ГОСТ 51397-99	950	450	65	-	-	-
Проволока полунагартован., ГОСТ 51397-99	1450	1300	8	-	-	-
Лента нагартован., ГОСТ 14117-85	1370-1770	-	-	-	-	-

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

ψ - Относительное сужение, [%]

Формы выпуска: поковка, лист, лента, прутки, проволока.

Применение

40КХНМ применяется для изготовления заводных пружин часовых механизмов, витых цилиндрических пружин, работающих при температуре до +400 °С; хирургического инструментария в трансплантологии, упругих элементов электроизмерительных приборов.

IV.3.14. Сплав 97НЛ (ЭИ996)
 ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные.
 Марки.

Прецизионный немагнитный сплав с заданными свойствами упругости на никелевой основе, легированный Be, Fe, Mn, Al, Cu.

Таблица 129. Химический состав сплава 97НЛ (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Al	Cu	Be
до 0.5	до 0.03	до 0.2	до 0.3	96.05 - 97.9	до 0.01	до 0.01	до 0.3	до 0.1	2.1 - 2.5

Техническая характеристика

Сплав токоведущий на никелевой основе, дисперсионно-твердеющий, коррозионно-стойкий с временным сопротивлением 1570—1865 МН/м² (160—190 кгс/мм²), с модулем нормальной упругости 196000—206000 МН/м² (20000—21000 кгс/мм²) и с низким удельным электросопротивлением ≤0,35 Ом·мм²/м.

Таблица 130. Механические свойства 97НЛ при T=20 °C

Сортамент	σ _в
-	МПа
ГОСТ 10994-74	1570-1865

Обозначения:

σ_в - Предел кратковременной прочности, [МПа]

Физические свойства:

- тепловое расширение: 10,1 - 17,1 Е-6/К;
- теплопроводность: 55,4 - 75,5 Вт/м•К;
- удельная теплоемкость: 456 Дж/кг•К;
- температура плавления: 1370 – 1400 °C;
- рабочая температура: 0 – 500 °C;
- плотность: 8000 кг/м³.

Формы выпуска: прутки, проволока, круг, поковка, лист, полоса, лента, труба.

Применение

97НЛ чаще всего применяется, для производства ленты, шлифованных прутков (серебрянки) и проволоки, предназначенных для изготовления токоведущих и силовых упругих чувствительных элементов авиаприборов и других приборов, работающих при температуре до +300 °C.

IV.3.15. Сплав 38ХНМ-ВИ (ЧС129-ВИ)
 ГОСТ 14080-78 Лента из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

ТУ 14-134-357-96 Прокат из сплава 38НХМ-ВИ (ЧС129-ВИ). Технические условия.

Прецизионный немагнитный сплав на основе Cr-Ni-Mo.

ОСТ 95 10441-2002 Оборудование для работы с радиоактивными средами. Сварка. Основные положения.

Химический состав сплава 38ХНМ-ВИ

Согласно ТУ 14-1-3761-84 точный химический состав высылается по отдельному запросу.

Техническая характеристика

Хромоникелевый нержавеющий прецизионный сплав с повышенным содержанием хрома, устойчивый к коррозии в агрессивных окислительных средах. Температура нагрева – 1130°C.

Формы выпуска: прутки, лист, полоса, лента, труба, литые фасонные фитинги.

Применение

38НХМ-ВИ применяется для изготовления изделий специального назначения; соединений труб, штуцеров и др. с корпусом изделия толщиной до 25,0 мм. в оборудовании, работающем с радиоактивными средами.

IV.3.16. Сплав 44НХМТ (ЭП977)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные.
Марки.

ТУ 14-1-4630-89 Проволока холоднотянутая из сплава 44НХМТ.

Технические условия.

ТУ 14-131-851-92 Прокат из прецизионных сплавов 79НМ, 44НХМТ, 52К13Ф. Технические условия.

ТУ 14-1-3057-80 Прутки холоднотянутые из сплава 44НХМТ. Технические условия.

Прецизионный немагнитный сплав на основе Ni-Fe-Cr-Ti, легированный Al, Mn, Mo.

Таблица 131. Химический состав сплава 44НХМТ (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Mo	Ti	Al	Cr
Ост.	до 0.05	0.1 - 0.4	0.2 - 0.4	43.4 - 45	до 0.02	до 0.02	0.1 - 0.3	2.6 - 3.2	0.5 - 1	4.3 - 5.1

Техническая характеристика

Элинварный дисперсионно твердеющий сплав на железоникелевой основе с неизменным модулем упругости в широком диапазоне температур.

Физические свойства:

- тепловое расширение: 10,1 - 17,1 Е-6/К
- теплопроводность: 55,4 - 75,5 Вт/м•К
- удельная теплоемкость: 456 Дж/кг•К
- температура плавления: 1370 - 1400 °С
- рабочая температура: 0 – 500 °С
- плотность: 8000 – 8000 кг/м³.

Формы выпуска: сортовой и фасонный прокат, лист, полоса, лента, прутки, проволока

Применение

44НХМТ применяется для изготовления миниатюрных резонаторных канальных электромагнитных фильтров (ЭМФ) и резонаторов электромеханических систем, работающих в интервале температур от – 60 °С до +85 °С; волосковых спиралей и пружин специальных часовых механизмов; плоских, спиральных и геликоидальных пружин сильфонов, звукопроводов.

IV.3.17. Сплав ХН50МГЮ (ЭК1)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные.
Марки.

ТУ 14-1-3761-84 Проволока холоднотянутая из сплава ХН50МГЮ (ЭК1). Технические условия.

Химический состав сплава ХН50МГЮ

Согласно ТУ 14-1-3761-84 точный химический состав высылается по отдельному запросу.

Техническая характеристика

Константановый жаростойкий сплав.

Формы выпуска: круг, прутки, проволока.

Применение

ХН50МГЮ применяется для производства проволоки, используемой для сварки сплавов 46ХНМ (ЭП630) и 38НХМ-ВИ (ЧС129-ВИ).

Прецизионный немагнитный сплав на хромоникелевой основе, легированный Mo, Mn, Al

IV.3.18. Сплав 40ХНЮ-ВИ (ЭП793-ВИ)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ТУ 14-1-2740-2010 Прутки из немагнитного сплава 40ХНЮ-ВИ (ЭП793-ВИ). Технические условия.

Прецизионный немагнитный сплав на основе Ni-Cr-Al с легирующими добавками Fe, Mn.

Таблица 132. Химический состав сплава 40ХНЮ-ВИ (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Al	Cr
до 0.6	до 0.03	до 0.1	до 0.1	Ост.	до 0.01	до 0.01	3.3 - 3.8	39 - 41

Примечание: выплавка сплава производится на электролитическом рафинированном хrome.

Формы выпуска: сортовой и фасонный прокат, поковки, круг, прутки, лист, лента, проволока.

Применение

Сплав 40ХНЮ-ВИ применяется для производства приборных подшипников, деталей передаточных механизмов, роторов высокопрочных изделий, хирургического режущего инструмента (скальпели).

IV.3.19. Сплав ХН85МЮ-ВИ (ЭП797-ВИ)

ОСТ 95 10441-2002 Оборудование для работы с радиоактивными средами. Сварка. Основные положения.

ТУ 14-1-3367-82 Листы горячекатаные из сплава марок ХН85МЮ-ВИ (ЭП797-ВИ), ХН85МЮ-ИД (ЭП797-ИД). Технические условия.

ТУ 14-1-3578-83 Листы холоднокатаные из сплава марки ХН85МЮ-ВИ (ЭП797-

Таблица 133. Химический состав сплава ХН85МЮ-ВИ (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Al
до 1.5	до 0.03	до 0.15	до 0.5	Ост.	до 0.02	до 0.02	6 - 8	3.5 - 4	1 - 1.5

Формы выпуска: сортовой и листовой прокат, лента, прутки, проволока

Применение

ХН85МЮ-ВИ применяется для изготовления сварочной проволоки, сварных деталей и узлов, работающих в радиоактивных средах, соединений деталей из сплава марки 46ХНМ (ЭП630) с деталями из коррозионностойких сталей типа 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т.

ВИ), ХН86МЮ-ИД (ЭП797-ИД). Технические условия.

ТУ 14-1-4963-91 Проволока сварочная из сплава марки Св-ХН85МЮ-ВИ (ЭП797-ВИ). Технические условия.

Прецизионный немагнитный коррозионностойкий сплав на основе Ni-Cr- Mo, легированный Fe, Al, Mn.

IV.3.20. Сплав 46ХНМ (47ХНМ; ЭП630)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ОСТ 95 10441-2002 Оборудование для работы с радиоактивными средами. Сварка. Основные положения.

ТУ 14-1-1060-74 "Проволока холоднотянутая из сплава 46ХНМ (ЭП630). Технические условия.

ТУ 14-1-2116-77 Листы из прецизионного сплава 46ХНМ (47ХНМ-2, ЭП630). Технические условия.

ТУ 14-1-2556-78 Слябы кованные из сплава 46ХНМ (ЭП630). Технические условия.

ТУ 14-1-2572-78 Лента холоднокатаная из сплава 47ХНМ-ВИ. Технические условия.

ТУ 14-1-3123-81 Слябы из сплава марки 46ХНМ (ЭП630). Технические условия.

ТУ 14-1-3124-81 Листы из прецизионного коррозионностойкого сплава. Марка 46ХНМ (ЭП630). Технические условия.

ТУ 14-1-3125-81 "Заготовка трубная из прецизионного сплава марки 46ХНМ (ЭП630). Технические условия.

ТУ 14-1-3505-82 Лента из сплава марки 47ХНМ-ВИ. Технические условия.

ТУ 14-1-999-73 Прутки из сплава 46ХНМ (ЭП630). Технические условия.

ТУ 14-3-1045-81 Трубы бесшовные холоднодеформированные из сплава 46ХНМ (ЭП630). Технические условия.

ТУ 14-3-1082-82 Трубы горячепрессованные из сплава марки 46ХНМ (ЭП630). Технические условия.

Прецизионный немагнитный сплав на хромоникелевой основе.

Химический состав сплава 46ХНМ

Согласно ТУ 14-1-999-73 химический состав высылается по запросу.

Техническая характеристика

Хромоникелевый прецизионный коррозионностойкий сплав. Устойчив к коррозии в агрессивных средах за счет очень высокой степени легирования, имеет узкие пределы по химическому составу и очень низкую пластичность.

Формы выпуска: фасонный и листовой прокат, лента, прутки, проволока, труба.

Применение

46ХНМ применяется для производства кованных слябов, предназначенных для упругих элементов, изготовленных путем свободнойковки на прессах и предназначенных для горячей механической обработки (для переката на лист); изготовления изделий специального назначения; соединений труб, штуцеров и других деталей с корпусом изделия толщиной до 25,0 мм в оборудовании, работающем с радиоактивными средами.

IV.3.21. Сплав 42ХНМ (ЭП630У)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные.
Марки.

ТУ 14-1-3125-81 Заготовка трубная из прецизионного сплава марки 46ХНМ (ЭП630). Технические условия.

ТУ 14-131-987-2002 Прутки со специальной отделкой поверхности из сплава марки 42ХНМ. Технические условия.

ТУ 14-1-5436-2001 Прутки из сплава марки 42ХНМ. Технические условия.

Прецизионный немагнитный коррозионностойкий сплав на основе Ni-Cr, легированный Mo, Al, Mn, W.

Таблица 134. Химический состав сплава 42ХНМ (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Mo	W	Al	Cr
до 0.6	до 0.03	до 0.25	до 0.2	Ост.	до 0.01	до 0.01	1 - 1.5	0.05 - 0.3	до 0.4	41 - 43

Примечание: по ТУ 14-131-987-2002 химический состав представлен для сплава марки 42ХНМ-Ш, 42ХНМ-ВД. Допускаемое отклонение по массовой доле Cr $\pm 0,050$ %. В сплав вводят по расчету Se в пределах 0,02-0,20 % и Mg в пределах 0,01-0,03 % и химическим анализом не определяют. В сплаве допускается остаточная массовая доля Ti $\leq 0,25$ %. Проводят контроль массовой доли N и Co в сплаве, результаты которых заносят в сертификат.

Техническая характеристика

Сплав 42ХНМ обладает уникальным комплексом свойств:

- при нейтронном облучении до дозы 35 сна сплав практически не подвержен воздействию низкотемпературного радиационного охрупчивания при температурах 350- 400°C;
- коррозионная стойкость сплава в воде высоких параметров (в т. ч. среда теплоносителя, морская вода и др.) значительно превосходит нержавеющие стали и сплавы и а также сплавы циркония;
- обладает повышенными прочностными и пластическими характеристиками— относительно аустенитных сталей и сплавов, а также сплавов на основе Zr;
- высокотехнологичен;
- сравнительные расчеты нейтронных потерь в оболочках твэлов ВВЭР-1000 из Zr сплава стандартной толщины и из сплава 42ХНМ толщиной 0,15 мм, показали, что нейтронные потери в случае 42ХНМ превышают потери в Zr-оболочках не более чем на 3%.

Физические свойства:

- тепловое расширение: 10,1 - 17,1 Е-6/К
- теплопроводность: 55,4 - 75,5 Вт/м•К
- удельная теплоемкость: 456 Дж/кг•К
- температура плавления: 1370 - 1400 °С
- рабочая температура: 0 – 500 °С
- плотность: 8000 – 8000 кг/м³ .

Формы выпуска: пруток, проволока, круг, поковка, лист, пластина, полоса, лента, труба, отводы и фланцы, изделия различного технического назначения по индивидуальным заказам.

Применение

42ХНМ применяется для изготовления изделий специального назначения, в частности, особо тонкостенных труб применяемых для изготовления деталей в реакторостроении, оболочек ТВЭЛов, СВП и РИН (рабочих источников нейтронов), элементов активной зоны ядерных реакторов.

Примечания к разделу

ГОСТ 14082-78. Сплавы подразделяют по виду продукции на:

1. Прутки;
2. Листы.

а) По способу изготовления прутков на:

1. Горячекатаные;
2. Кованые;
3. Шлифованные.

б) По виду кромок листов толщиной 6мм и менее на:

1. Обрезные – О;
2. Необрезные.

в) По качеству поверхности шлифованных прутков на группы - Б, В, Г, Д;

1. Горячекатаные прутки изготовляют диаметром или стороной квадрата 8-200 мм, длиной 0,5-6,0 м.
2. Кованые прутки изготовляют диаметром или стороной квадрата 20-200 мм, длиной не менее 0,5 м.
3. Шлифованные прутки изготовляют диаметром 1,0-30 мм.

ГОСТ 14080-78 Ленту подразделяют:

а) по состоянию материала на:

1. Нагартованную - Н;
2. Мягкую (термически обработанную) - М;

б) по точности прокатки на:

1. Нормальную - НТ;
2. Повышенную - Т;
3. Высокую – Б.

в) по виду кромок ленты толщиной менее 2,0 мм на:

1. Обрезную - О;
2. Необрезную;

ГОСТ 14081-78 Проволоку подразделяют:

а) по состоянию проволоки диаметром 0,1-0,4 мм на:

1. Нагартованную - Н;
2. Мягкую (термически обработанную) - М;

б) по точности изготовления на:

1. Квалитеты h8, h9, h10, h11,
2. Квалитеты js8, js9, js10, js11.

IV.4. Сплавы прецизионные с заданным ТКЛР (температурным коэффициентом линейного расширения)

IV.4.1. Сплав 29НК (29НК-ВИ)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

ТУ 14-1-3904-84 Заготовка кованая квадратная и прямоугольная из прецизионных сплавов. Технические условия.

ГОСТ 14080-78 Лента из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

ГОСТ 14081-78 Проволока из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

ТУ 14-1-1286-75 Лента (подкат) холоднокатаная из сплава 29НК. Технические условия».

ТУ 14-1-2357-78 Заготовка трубная из сплава 29НК-ВИ и 29НК. Технические условия.

ТУ 14-1-2545-78 Слябы из прецизионных сплавов марок 79НМ и 29НК. Технические условия.

ТУ 14-1-4346-87 Лента холоднокатаная из сплава 29НК. Технические условия.

ТУ 14-1-5088-91 Лента из прецизионного сплава с заданным температурным коэффициентом линейного расширения марки 29НК. Технические условия».

ТУ 14-3-972-80 Трубы холоднодеформированные из сплавов 29НК - 29НК-ВИ.

Прецизионный сплав с заданным ТКЛР на основе Fe-Ni-Co (“ковар”, “нило”), легированный Mn, Al, Cu, Ti.

Таблица 135. Химический состав сплава 29НК (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Co	Ti	Al	Cu
51.14 - 54.5	до 0.03	до 0.3	до 0.4	28.5 - 29.5	до 0.015	до 0.015	до 0.1	17 - 18	до 0.1	до 0.2	до 0.2

Примечание: Согласно ГОСТ 10994-74 в сплаве марок 29НК, 29НК-ВИ, 29НК-1, 29НК-ВИ-1 допускается отклонение от массовой доли $Co \pm 0,5\%$. Массовая доля Si в сплаве 29НК-ВИ, 29НК-ВИ-1 должна быть $\leq 0,28\%$. Для сплавов марок 29НК, 29НК-ВИ сумма примесей (C, Cr, Cu, Ti, S, P, Mn, Si, Al) – $\leq 1\%$

Техническая характеристика

Сплав 29НК (ковар) ферромагнитен, обладает температурой фазового перехода II рода (температура Кюри) 420°C. Величина ТКЛР, близкая к соответствующему параметру стекла, имеет заданное значение $(4,5-6,5) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ в интервале температур от -70 до +420 °С.

29НК имеет близкий к нулю коэффициент линейного расширения, проводимость примерно в два раза выше проводимости инвара. Небольшой коэффициент расширения материала обеспечивается благодаря поддержанию точного химического состава сплава 29НК в процессе производства, в том числе процентного содержания Ni в материале.

Литейно-технологические свойства

Температура плавления: 1450 °С.

Таблица 136. Механические свойства 29НК при T=20 °С

Сортамент	σ_b	δ_5
-	МПа	%
Лента, ГОСТ 14080-78	490-610	23

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

Таблица 137. Физические свойства 29НК.

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	1.45	-	-	8200	-	500

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Особенности производства и характеристики сплава 29НК.

Сплав получают путем выплавки в электропечах, необходимые легирующие компоненты добавляются в материал в виде ферросплавов. Точный контроль состава, благодаря которому марка сплава 29НК относится к прецизионным, осуществляется на этапе выплавки.

Марка сплава 29НК, 29НК-ВИ требует дополнительного нанесения покрытий для защиты от коррозии при эксплуатации деталей во влажной атмосфере. Произведенные из ковара выводы чаще всего никелируют.

Формы выпуска: сортовой и листовой прокат, лента, прутки, проволока, труба

Применение

Важнейшим свойством сплава 29НК является малый коэффициент расширения, аналогичный показателям боросиликатного стекла, что обеспечивает широкое распространение ковара в оптических приборах, способных эксплуатироваться в широкой области температур, например, в случае установки на спутниках. В условиях распространения полупроводниковых приборов, повсеместно заменивших электровакуумные устройства, сплав 29НК находит широкое распространение во многих областях техники. В частности, 29НК применяется для изготовления вакуумплотных спаев элементов радиоэлектронной аппаратуры со стеклами C49-1, C52-1, C48-1, C47-1. Проволока из этого сплава, впаянная в стекло, формирует герметичное надежное соединение, применяемое в конструкции выводов тока ламп и корпусов электровакуумных приборов. Проволока 29НК используется и при изготовлении выводов микросхем в металlostеклянных и пластиковых корпусах. Из ковара также производят конденсаторы с малым ТКЕ и переменной емкостью. При производстве конденсаторов сплав покрывают металлом с хорошей проводимостью — как правило, серебром.

IV.4.2. Сплав 32НҚД (ЭИ630А)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

ГОСТ 14080-78 Лента из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

Таблица 138. Химический состав сплава 32НҚД (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Co	Cu
основа	до 0.05	до 0.2	до 0.4	31.5 - 33	до 0.015	до 0.015	3.2 - 4.2	0.6 - 0.8

Техническая характеристика

Сплав в закаленном состоянии с минимальным ТКЛР $1,0 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ в интервале температур от -60 до +100 °С. Характеризуется однородной структурой, простотой полировки и механической обработки различными методами, значительной коррозионной стойкостью в пресной, соленой воде и воздушной атмосфере. Изделия из сплава выполняются в виде лент, прутков, проволоки, горячекатаных, кованных, шлифованных кругов, листов и плоского проката.

Литейно-технологические свойства

Температура плавления: 1450 °С.

Таблица 139. Механические свойства 32НҚД при T=20 °С

σ_b	δ_5
МПа	%
440-480	38-45

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

ТУ 14-1-3264-81 Прутки из сплава 32НҚД-ВД вакуумного дугового переплава. Технические условия.

Прецизионный сплав с заданным ТКЛР на основе Fe-Ni-Co (суперинвар), легированный Cu, Mn.

Таблица 140. Физические свойства 32НҚД.

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	1.44	-	-	8200	-	780

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Особенности производства и техническая характеристика сплава 32НҚД

Малое тепловое расширение материала 32НҚД обеспечивается благодаря магнито-стрикционному уменьшению объема в процессе нагрева, которое компенсирует тепловое расширение сплава.

Для повышения прочностных показателей марка сплава 32НҚД подвергается холодной пластической деформации с последующей низкотемпературной обработкой. После осуществления полировки материал приобретает стойкость к коррозии в атмосферных условиях. Изделия из сплава 32НҚД, предназначенные для эксплуатации в агрессивных средах, покрываются защитным слоем.

Значение коэффициента расширения материала зависит от содержания углерода, других примесей и технологии термической обработки. Минимальное значение ТКЛР достигается после закалки сплава 32НҚД при высокой температуре, последующего отпуска и старения материала. Использование такого метода позволяет снять остаточные напряжения, возникшие при технологической обработке изделий, стабилизирует значение коэффициента расширения и предотвращает мартенситные превращения* в материале.

*Примечание: Мартенситное превращение — полиморфное превращение, при котором изменение взаимного расположения составляющих кристалл атомов (или молекул) происходит путём их упорядоченного перемещения, причем относительные смещения соседних атомов малы по сравнению с межатомным расстоянием.

Дополнительное легирование кобальтом и медью приводит к улучшению свойств суперинвара 32НҚД и достижению минимального значения коэффициента расширения.

Формы выпуска: сортовой и листовой прокат, лента, прутки, проволока

Применение

Сплав 32НҚД является особой разновидностью инвара, для которой характерен крайне низкий коэффициент температурного расширения. Благодаря минимальному значению ТКЛР суперинвар применяется для изготовления деталей приборов очень высокой точности для различных типов измерений и контроля, требующих при эксплуатации постоянства размеров в интервале установленных температур. Используется также для создания шлифовых газонепроницаемых соединений металла с кварцем и другой продукции, требующей специальных характеристик исходного материала. Кроме того, данный сплав находит применение как теплоизолирующий материал в вакуумных приборах и для предотвращения отвода тепла к стеклянным элементам в сильно нагруженных анодах. Используется суперинвар и для изготовления деталей держателей, не являющихся проводниками сильных токов.

IV.4.3. Сплав 36НХ (ЭП713)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 14119-85 Прутки из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

ТУ 14-1-3904-84 Заготовка ковкая квадратная и прямоугольная из прецизионных сплавов. Технические условия.

ГОСТ 14117-85 Лента из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

ГОСТ 14118-85 Проволока из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

ГОСТ 14118-85 Проволока из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

СТ ЦКБА 016-2005 Арматура трубопроводная. Термическая обработка деталей, заготовок и сварных сборок из высоколегированных сталей, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей.

ТУ 14-1-1373-75 Лента холоднокатаная из сплава 36НХТЮ8М. Технические условия.

ТУ 14-1-2554-78 Заготовка трубная для бесшовных тонкостенных труб из сплавов 36НХТЮ (ЭИ702) и 36НХТЮ5М-ВИ (ЭП51-ВИ). Технические условия.

ТУ 14-1-279-71 Лента холоднокатаная и проволока холоднотянутая из сплава 36НХТЮМ8. Технические условия. ТУ 14-1-279-72 Лента холоднокатаная из сплава 36НХТЮ8М (ЭП52). Технические условия.

ТУ 14-1-2880-80 Проволока холоднотянутая из сплава 36НХТЮ8М (ЭП52). Технические условия.

ТУ 14-3-379-75 Трубы манометрические из дисперсионно-твердеющих сплавов 36НХТЮ (ЭИ-702). Технические условия.

СТ ЦКБА 010-2004 Арматура трубопроводная. Поковки, штамповки и заготовки из проката. Технические требования.

ТУ 14-1-1124-74 Лента из прецизионного сплава марки 36НХТЮ (ЭИ702). Технические условия.

ТУ 14-1-1129-74 Прутки из сплава марки (ЭИ702) 36НХТЮ. Технические условия.

ТУ 14-1-2858-79 Листы из прецизионного сплава марки 36НХТЮ (ЭИ702). Технические условия.

ТУ 14-1-4618-89 Лента холоднокатаная из сплава 36НХТЮ. Технические условия.

ТУ 14-1-2526-78 Заготовка трубная из сплава 36НХ-Ш (ЭП713-Ш). Технические условия.

ТУ 14-1-2543-78 Заготовка трубная из сплава 36НХ-Ш (ЭП713-Ш). Технические условия.

Прецизионный сплав с заданным ТКЛР на основе Fe-Ni (инвар), легированный Cr, Mn Cu.

Таблица 141. Химический состав сплава 36НХ (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
основа	до 0.05	до 0.3	0.3 - 0.6	35 - 37	до 0.015	до 0.015	0.4 - 0.6	до 0.25

Техническая характеристика

Устойчивый к коррозии криогенный сплав, характеризуемый высоким сопротивлением к нагрузкам при низких температурах. ТКЛР (1,0-2,0) $\times 10^{-6}$ град⁻¹ в интервалах температур от +20 до +100 °С и от +20 до -258 °С.

Литейно-технологические свойства

Температура плавления: 1450 °С.

Таблица 142. Механические свойства 36НХ при T=20 °С

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ	КСУ	Термообработка
	МПа	МПа	%	%	кДж/м ²	
-	428	257	50	80	2820	-

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

НВ - Твердость по Бринеллю, [МПа]

ψ - Относительное сужение, [%]

КСУ - Ударная вязкость, [кДж/м²]

Физические свойства:

- тепловое расширение: 10,1 - 17,1 Е-6/К;
- теплопроводность: 55,4 - 75,5 Вт/м·К;
- удельная теплоемкость: 456 Дж/кг·К;
- температура плавления: 1370 – 1400 °С;
- рабочая температура: 0 – 500 °С;
- плотность: 8000 кг/м³.

Формы выпуска: поковки, фасонный прокат, круг, прутки, листовой прокат, лента, проволока, трубы.

Применение

Сплав 36НХ применяется для:

- производства ободранной трубной заготовки, изготовленной свободной ковкой на прессах или РКМ и предназначенной для изготовления труб;
- изготовления конструкций и безкомпенсационных криотрубопроводов, эксплуатируемых в условиях низких температур.

IV.4.4. Сплав 42НА-ВИ (ЭП333)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

ТУ 14-1-3904-84 Заготовка ковкая квадратная и прямоугольная из прецизионных сплавов. Технические условия.

Таблица 143. Химический состав сплава 42НА-ВИ (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P
57.254 - 58.4	до 0.03	до 0.15	до 0.05	41.5 - 42.5	до 0.01	до 0.006

Техническая характеристика

Сплав с ТКЛР $(4,5-5,5) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ в интервале температур от -70 до +340 °С.

Сплав данной марки характеризуется незначительной устойчивостью к коррозии, однако поддается значительному изменению температур, поэтому его применение рекомендуется осуществлять в сухой среде.

Литейно-технологические свойства

Температура плавления: 1450 °С.

Таблица 144. Механические свойства 42НА-ВИ при T=20 °С

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ	КСУ	Термообработка
-	МПа	МПа	%	%	кДж/м ²	
Лента, ГОСТ 14080-78	440-590	-	23	-	-	-

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

ψ - Относительное сужение, [%]

ТУ 14-1-604-73 Прутки из сплава марок 42Н (ЭП318);42НА-ВИ (ЭП 333-ВИ). Технические условия.

Прецизионный сплав с заданным ТКЛР на основе Fe-Ni, легированный Mn.

КСУ - Ударная вязкость, [кДж/м²]

Физические свойства:

- тепловое расширение: 10,1 - 17,1 Е-6/К;
- теплопроводность: 55,4 - 75,5 Вт/м•К;
- электрическое сопротивление при 20 °С: 0.61 Оммм²/м;
- температура фазового перехода II рода (точка Кюри): 360 Тс/°С;
- модуль Юнга: 147 Е/ Гпа;
- удельная теплоемкость: 456 Дж/кг•К;
- температура плавления: 1370 – 1400 °С;
- рабочая температура: 0 – 500 °С;
- плотность: 8000 – 8000 кг/м³.

Формы выпуска: Сортовой и листовой прокат, круг, прутки, лента, труба

Применение

42НА-ВИ применяется в электровакуумной технике для вакуумплотных спаев со стеклом П-6, С72-4, с сапфиром, для деталей приборов, требующих постоянства размеров в интервале заданных температур.

Из сплава 42НА-ВИ часто производят трубы, характеризующиеся следующими свойствами:

- устойчивость к основным агрессивным источникам воздействия;
- износостойкость в различных условиях;
- механическая прочность, возможность последующего применения под мощными нагрузками.
- Широко используется также в фармации и робототехнике, производстве фасочной продукции.

IV.4.5. Сплав 47НХ

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 14080-78 Лента из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

ГОСТ 14081-78 Проволока из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

ГОСТ 14082 - 78 Прутки и листы из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

ТУ 14-1-3719-84 Заготовка трубная из сплава марки 47НХ. Технические условия.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

Прецизионный сплав с заданным ТКЛР на основе Fe-Ni, легированный Cr, Mn, Cu.

Таблица 145. Химический состав сплава 47НХ (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
50.82 - 53	до 0.05	до 0.3	0.3 - 0.6	46 - 47	до 0.015	до 0.015	0.7 - 1	до 0.2

Техническая характеристика

Сплав с ТКЛР $(8,0-9,0) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ в интервале температур от -70 до +450 °С.

Литейно-технологические свойства

Температура плавления: 1450 °С.

Таблица 146. Механические свойства 47НХ при T=20 °С

Сортамент	σ_b
-	МПа
Лента нагартован., ГОСТ 14080-78	930

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

Таблица 147. Физические свойства 47НХ.

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	1.4	-	-	8200	-	400

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: сортовой/листовой прокат, лента, пруток, проволока.

Применение

47НХ применяется для вакуумплотных спаев с термометрическим стеклом марок 16Ш, С72-4 и др.

IV.4.6. Сплав 52Н (52Н-ВИ)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 14080-78 Лента из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

ГОСТ 14081-78 Проволока из прецизионных сплавов с заданным температурным

Таблица 148. Химический состав сплава 52Н (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
46.42 - 48.5	до 0.05	до 0.2	до 0.4	51.5 - 52.5	до 0.015	до 0.015	до 0.2	до 0.2

Техническая характеристика

52Н (52Н-ВИ) – прецизионный сплав с высокой магнитной проницаемостью и индукцией насыщения 1,5 Т относится к сплавам с заданным термическим коэффициентом линейного расширения (ТКЛР (11,0-11,5)·10⁻⁶ град⁻¹ в интервале температур от –70 до +550 °С). Относится к группе высоколегированных прецизионных сплавов с уникальными физико-механическими характеристиками (упругими, магнитными, тепловыми, электрическими), благодаря выверенному химическому составу, отсутствию примесей, точности изготовления и обработки.

Литейно-технологические свойства

Температура плавления: 1450 °С.

Таблица 149. Механические свойства 52Н при T=20 °С

Сортамент	σ_b
-	МПа
Лента нагартован., ГОСТ 14080-78	450-550

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

ГОСТ 14082 - 78 Прутки и листы из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

Прецизионный сплав с заданным ТКЛР на основе Ni-Fe, легированный Mn, Cr, Cu.

Таблица 150. Физические свойства 52Н.

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	1.6	-	-	8200	-	420

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: сортовой/листовой прокат, лента, прутки, проволока

Применение

Для соединения с мягкими стеклами марок С90—1, С90—2, С93—2, С94— 1, С95—2 и С93—4, имеющими $a \approx 7.5 \times 10^{-6} \dots 11^{-6}$ град⁻¹ и температуру размягчения 500...580°С

IV.4.7. Сплав 30НҚД (30НҚД-ВИ)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 14080-78 Лента из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

ГОСТ 14081-78 Проволока из прецизионных сплавов с заданным температурным

коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

ГОСТ 14082 - 78 Прутки и листы из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

Прецизионный сплав с заданным ТКЛР на основе Fe-Ni-Co, легированный Cu, Mn.

Таблица 151. Химический состав сплава 30НҚД (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Co	Cu
54.02 - 57.2	до 0.05	до 0.3	до 0.4	29.5 - 30.5	до 0.015	до 0.015	13 - 14.2	0.3 - 0.5

Техническая характеристика

Сплав с ТКЛР $(3,3-4,6) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ в интервале температур от -60 до +400 °С.

Литейно-технологические свойства

Температура плавления: 1450 °С.

Таблица 152. Механические свойства 30НҚД при T=20 °С

Сортамент	σ_b
-	МПа
Лента нагартован., ГОСТ 14080-78	980

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

Таблица 153. Физические свойства 30НҚД.

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	1.4	-	-	8200	-	500

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: сортовой/листовой прокат, лента, прутки, проволока

Применение

30НҚД применяется для изготовления вакуумплотных спаев с тугоплавким стеклом С38-1 и для отдельных видов спаев со стеклом марки С40-1.

IV.4.8. Сплав 33НК (33НК-ВИ)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки. ГОСТ 14080-78 Лента из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия. ГОСТ 14081-78 Проволока из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом

линейного расширения. Технические условия. ГОСТ 14082 - 78 Прутки и листы из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия. Прецизионный сплав с заданным ТКЛР на основе Fe-Ni-Co, легированный Cu, Mn.

Таблица 154. Химический состав сплава 33НК (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Co
48.22 - 51	до 0.05	до 0.3	до 0.4	32.5 - 33.5	до 0.015	до 0.015	16.5 - 17.5

Техническая характеристика

Сплав с ТКЛР $(6,0-9,0) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ в интервале температур от -70 до +470 °С.

Сплавы марок 33НК, 33НК-ВИ не допускаются к применению во вновь создаваемой и модернизируемой технике с 01.01.91.

Литейно-технологические свойства

Температура плавления: 1450 °С.

Таблица 155. Механические свойства 33НК при T=20 °С

Сортамент	σ_b
	МПа
Лента нагартован., ГОСТ 14080-78	930

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

Таблица 156. Физические свойства 33НК

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	1.42	-	-	8200	-	420

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

IV.4.9. Сплав 38НҚД (38НҚД-ВИ)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 14080-78 Лента из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

ГОСТ 14081-78 Проволока из прецизионных сплавов с заданным температурным

коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

ГОСТ 14082 - 78 Прутки и листы из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

Прецизионный сплав с заданным ТКЛР на основе Fe-Ni-Co-Cu, легированный Mn.

Таблица 157. Химический состав сплава 38НҚД (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Co	Cu
49.72 - 53.5	до 0.05	до 0.3	до 0.4	37.5 - 38.5	до 0.015	до 0.015	4.5 - 5.5	4.5 - 5.5

Техническая характеристика

Сплав с ТКЛР $(7,0-7,8) \cdot 10^{-6}$ град^{В1} в интервале температур от -60 до +400 °С.

Литейно-технологические свойства

Температура плавления: 1450 °С.

Таблица 158. Механические свойства 38НҚД при T=20 °С

Сортамент	σ_b	δ_5
-	МПа	МПа
Лента нагартован., ГОСТ 14080-78	490-610	23

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

Таблица 159. Физические свойства 38НҚД

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	1.5	-	-	8200	-	500

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства, [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения, [1/Град]

ρ - Плотность материала, [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: сортовой/листовой прокат, лента, пруток, проволока

Применение

38НҚД применяется для вакуумных спаев со стеклами П-6, С72-4 и сапфиром.

IV.4.10. Сплав 47НД (47НД-ВИ)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 14080-78 Лента из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

ГОСТ 14081-78 Проволока из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

ГОСТ 14082 - 78 Прутки и листы из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

Таблица 160. Химический состав сплава 47НД (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cu
45.72 - 49.5	до 0.05	до 0.3	до 0.4	46 - 48	до 0.015	до 0.015	4.5 - 5.5

Техническая характеристика

Сплав с ТКЛР $(9,0-11,0) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ в интервале температур от -70 до +440 °С с высокой проницаемостью и индукцией насыщения 1,4 Т.

Использование материала в качестве заменителя платины становится возможным благодаря значению коэффициента расширения, близкого к ТКЛР платины и стекла. За счет малой величины коэффициента расширения в заданной области температур сплав 47НД обеспечивает сохранение неизменных линейных размеров и объема, что обеспечивает точность и постоянство характеристик деталей, изготовленных из платинита.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

ТУ 14-1-3727-84 Полоса горячекатаная из прецизионных сплавов марок 42Н, 47НД. Технические условия.

ТУ 14-1-4312-87 Лента (подкат) холоднокатаная в рулонах из сплавов 47НД и 42Н. Технические условия.

Прецизионный сплав с заданным ТКЛР на основе Ni-Fe-Cu (платинит), легированный Mn.

Литейно-технологические свойства

Температура плавления: 1450 °С.

Таблица 161. Механические свойства 47НД при T=20 °С

Сортамент	σ_b	σ_5
-	МПа	МПа
Лента нагартован., ГОСТ 14080-78	450-550	23

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

Таблица 162. Физические свойства 47НД

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	1.5			8200		450

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства, [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения, [1/Град]

ρ - Плотность материала, [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: сортовой и листовой прокат, лента, прутки, проволока.

Применение

Главная особенность сплава — коэффициент линейного расширения, близкий к аналогичному параметру Pt, вследствие чего его повсеместно применяют в качестве дешевого заменителя данного драгоценного металла.

В сфере электровакуумной промышленности марка сплава 47НД используется для получения заданных характеристик элементов различных приборов и аппаратуры. Замена дорогостоящей платины на сплав 47 НД позволяет снизить стоимость продукции, что способствует широкому распространению материала.

Сплав подходит для создания соединений с обычными легкоплавкими стеклами (С93—4, С93—2, С95—2, С94—1, С90—1, С90—2 и т. д.), распространенными в производстве электровакуумного оборудования. Платинит образует с такими стеклами герметичный металлостеклянный спай. Марка сплава 47НД также позволяет создать надежные соединения с керамикой и слюдой. Характеристики материала позволяют использовать его для изготовления биметаллических проволок и ленты, пружин герметических контактов. Сплав применяется в производстве электровакуумной аппаратуры, в качестве токовводов, для производства элементов ламп накаливания, проволочных выводов в корпусах транзисторов и диодов.

Специальные свойства сплава 47НД обеспечивают надежность работы приборов и устройств, применяемых в сферах вычислительной техники, радиоэлектроники, электротехники и других высокотехнологичных отраслях производства. Сплав 47НД также применяется как магнитный материал для создания магнитоуправляемых контактов, при этом дополнительно нормируется индукция насыщения и коэрцитивная сила.

Из платинита также изготавливают биметаллические проволоки и ленты (наружный слой — Cu) Их тоже называют платинитом.

IV.4.11. Сплав 47НХР

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 14080-78 Лента из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

ГОСТ 14081-78 Проволока из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

ГОСТ 14082 - 78 Прутки и листы из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

ТУ 14-1-3904-84 Заготовка ковкая квадратная и прямоугольная из прецизионных сплавов. Технические условия.

Прецизионный сплав с заданным ТКЛР на основе Ni-Fe-Cr, легированный Mn, В.

Таблица 163. Химический состав сплава 47НХР (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	B
45.2 - 49.5	до 0.05	до 0.3	до 0.4	46 - 48	до 0.015	до 0.015	4.5 - 6	до 0.02

Техническая характеристика

Сплав с ТКЛР $(8,5-11,0) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ в интервале температур от -70 до +440 °С.

Литейно-технологические свойства

Температура плавления: 1450 °С.

Таблица 164. Механические свойства 47НХР при T=20 °С

Сортамент	σ_b	σ_5
-	МПа	МПа
Лента нагартован., ГОСТ 14080-78	490-610	20

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

Таблица 165. Физические свойства 47НХР

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	1.4	-	-	8200	-	900

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: сортовой и листовой прокат, лента, прутки, проволока.

Применение

47НХР применяется для вакуумных спаев элементов радиоэлектронной аппаратуры со стеклом С90—1, С93—2, С93—4, С94— 1, С95—2 и т. д.

Пригоден для использования в различных климатических условиях при изготовлении особо точных измерительных приборов, не реагирующих на температурные колебания изменением размеров.

IV.4.12. Сплав 80НМВ-ВИ

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные.

Марки.

ГОСТ 14080-78 Лента из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

ГОСТ 14081-78 Проволока из прецизионных сплавов с заданным температурным

коэффициентом линейного расширения.

Технические условия.

ГОСТ 14082 - 78 Прутки и листы из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

Прецизионный немагнитный сплав с заданным ТКЛР на основе Ni-W-Mo (пермаллой), легированный Fe, Mn.

Таблица 166. Химический состав сплава 80НМВ-ВИ (%)

Fe	Si	Mn	Ni	S	Mo	W
до 0.3	до 0.15	до 0.15	Ост.	до 0.008	9.5 - 11	10.5 - 11.5

Техническая характеристика

Прецизионный сплав 80НМВ-ВИ пермаллой является немагнитным сплавом с заданным ТКЛР 11–11.4 [1/°C] в интервале температур от –70 до +550 °C, Температура плавления сплава составляет 1450 °C. Относится к группе прецизионных сплавов, обладающих комплексом уникальных физико-механических характеристик (тепловыми, упругими, магнитными, электрическими и т.п.), сочетая в себе ряд ценных потребительских качеств, обусловленных точностью хим. состава, тщательностью изготовления и обработки, отсутствием примесей.

Литейно-технологические свойства

Температура плавления: 1450 °С.

Таблица 167. Механические свойства 80НМВ-ВИ при T=20 °С

Сортамент	σ_b	Термообработка
-	МПа	
-	450–550	Отжиг

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

Формы выпуска: сортовой и листовой прокат, лента, прутки, проволока.

Применение

80НМВ-ВИ применяется для производства соединительных элементов электронно-измерительных приборов из исходного материала в виде холоднокатаных лент и листов. Работы осуществляются с применением методов штамповки и вытяжки. Практикуется также использование данного сплава для изготовления токовводов, обеспечивающих герметичное соединение со стеклом различных марок.

IV.4.13. Сплав 32НК (32НК-ВИ; ЭП475-ВИ)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные.
Марки.

ТУ 14-1-4422-88 Прутки горячекатаные и кованые из сплавов марок 32НК-ВИ (ЭП475-ВИ), 32НК-ЭЛ (ЭП475-ЭЛ), 32НК-ИЛ (ЭП475-ИЛ). Технические условия.

ТУ 14-1-4425-88 Листы горячекатаные, лента холоднокатаная из сплава 32НКА. Технические условия.

Таблица 168. Химический состав сплава 32НК (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Co
основа	до 0.03	до 0.3	до 0.4	31.5 - 33	до 0.015	до 0.015	до 0.1	3.7 - 4.7

Техническая характеристика

Сплав в отожженном состоянии с минимальным ТКЛР не более $1,5 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ в интервалах температур от –60 до +100 °С.

Формы выпуска: сортовой и листовой прокат, лента, прутки, проволока.

Применение

32НК применяется для изготовления изделий с полированной поверхностью, деталей сложной формы, которые нельзя подвергать закалке для получения более низкого ТКЛР.

ТУ 14-159-215-92 Трубы бесшовные холоднодеформированные и горячедеформированные из сплава 32НК-ИЛ (ЭП475-ИЛ). Технические условия

Прецизионный сплав с заданным ТКЛР на основе Fe-Ni-Co, легированный Mn, Cr.

IV.4.14. Сплав 36Н

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 14119-85 Прутки из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

ТУ 14-1-3904-84 Заготовка ковкая квадратная и прямоугольная из прецизионных сплавов. Технические условия.

ГОСТ 14117-85 Лента из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

ГОСТ 14080-78 Лента из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

ГОСТ 14081-78 Проволока из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

ГОСТ 14118-85 Проволока из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия. ГОСТ 14118-85 Проволока из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

СТ ЦКБА 016-2005 Арматура трубопроводная. Термическая обработка деталей, заготовок и сварных сборок из высоколегированных сталей, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей.

ГОСТ 10533-86 Лента холоднокатаная из термометаллов. Технические условия. ТУ 14-1-1373-75 Лента холоднокатаная из сплава 36НХТЮ8М. Технические условия.

ТУ 14-1-2554-78 Заготовка трубная для бесшовных тонкостенных труб из сплавов 36НХТЮ (ЭИ702) и 36НХТЮ5М-ВИ (ЭП51-ВИ). Технические условия.

ТУ 14-1-279-71 Лента холоднокатаная и проволока холоднотянутая из сплава 36НХТЮМ8. Технические условия.

ТУ 14-1-279-72 Лента холоднокатаная из сплава 36НХТЮ8М (ЭП52). Технические условия.

ТУ 14-1-2880-80 Проволока холоднотянутая из сплава 36НХТЮ8М (ЭП52). Технические условия.

СТ ЦКБА 010-2004 Арматура трубопроводная. Поковки, штамповки и заготовки из проката. Технические требования.

ТУ 14-1-1124-74 Лента из прецизионного сплава марки 36НХТЮ (ЭИ702). Технические условия.

ТУ 14-1-1129-74 Прутки из сплава марки (ЭИ702) 36НХТЮ. Технические условия.

ТУ 14-1-2858-79 Листы из прецизионного сплава марки 36НХТЮ (ЭИ702). Технические условия.

ТУ 14-1-4618-89 Лента холоднокатаная из сплава 36НХТЮ. Технические условия.

ТУ 14-1-2526-78 Заготовка трубная из сплава 36НХ-Ш (ЭП713-Ш). Технические условия.

ТУ 14-1-2543-78 Заготовка трубная из сплава 36НХ-Ш (ЭП713-Ш). Технические условия.

Прецизионный сплав с заданным ТКЛР на основе Fe-Ni (инвар), легированный Mn, Cr, Mo, V, Al, Cu.

Таблица 169. Химический состав сплава 36Н (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	V	Al	Cu	
ос- нова	до 0.05	до 0.3	0.3 0.6	- 35 37	- до 0.015	до 0.015	до 0.15	до 0.1	до 0.1	до 0.1	до 0.1	до 0.1

Техническая характеристика

Сплав с однофазной внутренней структурой и низким ТКЛР $1,5 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ в интервале температур от -60 до +100 °С. Такие показатели ТКЛР возможны благодаря магнито-стрикции, удерживающей кристаллическую решетку, а значит, и физические параметры, в стабильном значении. Устойчив к воздействию коррозии, хорошо обрабатывается механически.

Характеризуется постоянством линейных параметров в температурном диапазоне от -100 до +100 °С. Коэффициент температурного расширения $1,5 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ (ГОСТ 10994). При этом особо чистый сплав (суперинвар с присадкой Co $\leq 0,1\%$) имеет в полтора раза меньший коэффициент линейного расширения $0,62-0,65 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, существенно улучшая качество сплава 36Н и минимизируя примеси углерода в его составе (традиционно 0,05%, хотя допускается и 0,1% по согласованию сторон). Плотность 8130 кг/м^3 , температура плавления 1425°C .

Среди полезных свойств инвара также выделяется его высокая стойкость к окислению (нержавейка). При изготовлении стоит учесть — оба материала склонны к мартенситному превращению, что сводит на нет их полезные характеристики. Во избежание потери требуемых свойств сплав 36Н подвергают специальной термической обработке (медленному охлаждению и нагреву), а также холодной деформации. Кроме того, возможна процедура травления окалина в соляной кислоте (без температурного воздействия).

Литейно-технологические свойства

Температура плавления: 1450 °С.

Таблица 170. Механические свойства 47НХР при T=20 °С

Сортамент	σ_b
-	МПа
Лента нагартован., ГОСТ 14080-78	930

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

Таблица 171. Физические свойства 47НХР

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	1.5	-	-	8200	-	800

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Таблица 172. Магнитные свойства.

Коэрцитивная сила, Hс, А/м	12,73
Начальная магнитная проницаемость, μ , мГн/м	0,78
Максимальная магнитная проницаемость, μ_{\max} , мГн/м	5,52
Остаточная индукция, В _о , 10 ⁻⁴ Тл	4700
Индукция в поле 8Э, В8э, 10 ⁻⁴ Тл	3700

Формы выпуска: сортовой и листовой прокат, лента, прутки, проволока.

Применение

Низкое значение ТКЛР в области температур -80...100°С, высокие механические, антикоррозионные и технологические свойства позволяют применять сплав 36Н или 36Н-ВИ (инвар) как специальный конструкционный материал для выпуска изделий, способных сохранять постоянные характеристики в меняющихся условиях эксплуатации.

В частности, 36Н применяется для изготовления деталей приборов, требующих постоянства размеров в интервале климатических температур (тепловых реле, импульсных датчиков, предохранителей, термометров и др.). Разновидности инвара применяются при производстве переходов металл-стекло, мембранных ёмкостей для перевозки сжиженного газа, в микроэлектронике в качестве подложек чипов, корпусов лазеров, волноводов.

Данный сплав широко используют и для формирования жестко закрепленных трубопроводов, обладающих сложной пространственной формой и служащих для передачи сжиженных газов при работе криогенных установок. Благодаря малой величине ТКЛР 36Н-ВИ (инвар) позволяет снизить напряжения в трубопроводных системах и исключить их разрушение. Кроме того,

Инвар 36Н используется в точном приборостроении для изготовления мерных проволок в геодезии, эталонов длины и массы, деталей часовых механизмов (балансиров хронометров, пружин), деталей барографов и высотомеров, несущих конструкций лазеров и др. Применялся в трубе космического телескопа «Астрон».

Особая область применения инвара 36Н – в качестве пассивного слоя при изготовлении термобиметаллов, используемых для изготовления чувствительных к изменению температуры элементов контрольно-измерительных приборов и аппаратов.

При использовании сплава марки 36Н и активного слоя из сплава 75ГНД изготавливается термобиметалл марки ТБ200/113 (ТБ2013), который применяется для изготовления термочувствительных элементов приборов (тепловых реле, предохранителей, термометров и т. д.).

При использовании сплава марки 36Н и активного слоя из сплава 20НГ изготавливается термобиметалл марки ТБ148/79 (ТБ1523), который применяется для изготовления термочувствительных элементов приборов (компенсаторов реле защиты и т. д.).

При использовании сплава марки 36Н и активного слоя из сплава 24НХ изготавливается термобиметалл марки ТБ138/80 (ТБ1423), который применяется для изготовления термочувствительных элементов приборов (реле-регуляторов, импульсных датчиков, предохранителей и т. д.).

При использовании сплава марки 36Н и активного слоя из сплава 19НХ изготавливается термобиметалл марки ТБ129/79 (ТБ1323), который применяется для изготовления термочувствительных элементов приборов (реле-регуляторов, импульсных датчиков, предохранителей и т. д.).

IV.4.15. Сплав 42Н (ЭП318)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 14119-85 Прутки из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

ТУ 14-1-3904-84 Заготовка кованая квадратная и прямоугольная из прецизионных сплавов. Технические условия»;

ГОСТ 14080-78 Лента из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

ГОСТ 14081-78 Проволока из прецизионных сплавов с заданным температурным

коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

ГОСТ 14118-85 Проволока из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

СТ ЦКБА 016-2005 Арматура трубопроводная. Термическая обработка деталей, заготовок и сварных сборок из высоколегированных сталей, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей.

ГОСТ 10533-86 Лента холоднокатаная из термобиметаллов. Технические условия.

СТ ЦКБА 010-2004 Арматура трубопроводная. Поковки, штамповки и заготовки из проката. Технические требования.

Прецизионный сплав с заданным ТКЛР на основе Fe-Ni, легированный Mn, Cu.

Таблица 173. Химический состав сплава 42Н (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cu
56.14 - 58.5	до 0.03	до 0.3	до 0.4	41.5 - 43	до 0.015	до 0.015	до 0.1

Техническая характеристика

Сплав с низким значением ТКЛР $(4,5-5,5) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ в интервале температур от -70 до +340 °С.

Сплав 42Н используется в различных промышленных отраслях как основа для выпуска термобиметаллов, применяемых в последствии с целью изготовления различных деталей и элементов КИПиА, чувствительных к изменению температурного режима.

Термобиметалл ТБ103/70 (ТБ1032) со средним коэффициентом чувствительности $(15,5-18,5) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹, со средним удельным электрическим сопротивлением $(0,67-0,73)$ Ом·мм²/м.

Термобиметалл ТБ107/71 (ТБ1132) со средним коэффициентом чувствительности $(16,0-19,0) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹, со средним удельным электрическим сопротивлением $(0,68-0,74)$ Ом·мм²/м.

Литейно-технологические свойства

Температура плавления: 1450 °С.

Модуль упругости – E=142000 МПа.

Таблица 174. Механические свойства 42Н при T=20 °С

Сортамент	σ_b	σ_s
-	МПа	МПа
Лента нагартован., ГОСТ 14080-78	450-550	-

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

δ_s - Относительное удлинение при разрыве, [%]

Таблица 175. Физические свойства 42Н

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	1.42	-	-	8200	-	580

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: лента, проволока, лист, полоса, прокат, заготовки, болванки, слябы.

Применение

Сплав 42Н применяется:

- в электровакуумной технике;
- в виде ленты – для корпусов интегральных схем в соединении со стеклокерамикой;
- как армирующий материал для натяжения никелевых и других сеток, в соединениях с различными материалами: клеями, стеклоцементом, припоями с температурой плавления до 500 °С;
- в качестве пассивного слоя при изготовлении термобиметаллов, используемых для изготовления чувствительных к изменению температуры элементов контрольно-измерительных приборов и аппаратов.
- При использовании сплава марки 42Н и активного слоя из сплава 19НХ изготавливается термобиметалл марки ТБ103/70 (ТБ1032), который применяется для изготовления термочувствительных элементов приборов (автоматов защиты сети, реле и т. д.).
- При использовании сплава марки 42Н и активного слоя из сплава 24НХ изготавливается термобиметалл марки ТБ107/71 (ТБ1132), который применяется для изготовления термочувствительных элементов приборов (реле-регуляторов, импульсных датчиков, предохранителей и т. д.).

IV.4.16. Сплав 47Н3Х

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 14119-85 Прутки из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

ТУ 14-1-3904-84 Заготовка кованая квадратная и прямоугольная из прецизионных сплавов. Технические условия»;

ГОСТ 14080-78 Лента из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

ГОСТ 14081-78 Проволока из прецизионных сплавов с заданным температурным

Таблица 176. Химический состав сплава 47Н3Х (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
46.82 - 50.7	до 0.05	до 0.3	0.3 - 0.6	46 - 48	до 0.015	до 0.015	3 - 4	до 0.2

Техническая характеристика

Сплав с ТКЛР (9,5-10,5)·10⁻⁶ град⁻¹ в интервале температур от –70 до +400 °С.

Сплав марки 47Н3Х не допускается к применению во вновь создаваемой и модернизируемой технике с 01.01.91.

коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

ГОСТ 14118-85 Проволока из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

СТ ЦКБА 016-2005 Арматура трубопроводная. Термическая обработка деталей, заготовок и сварных сборок из высоколегированных сталей, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей.

СТ ЦКБА 010-2004 Арматура трубопроводная. Поковки, штамповки и заготовки из проката. Технические требования.

Прецизионный сплав с заданным ТКЛР на основе Fe-Ni-Cr, легированный Mn, Cu.

Литейно-технологические свойства

Температура плавления: 1450 °С.

Таблица 177. Механические свойства 47НЗХ при T=20 °С

Сортамент	σ_b	σ_5
-	МПа	МПа
Лента нагартован., ГОСТ 14080-78	490-610	-

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

Таблица 178. Физические свойства 47НЗХ

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	1.4	-	-	8200	-	600

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: проволока, лента, лист, полоса, прокат, трубы.

Применение

47НД применяется для:

- вакуумных спаев элементов радиоэлектронной аппаратуры со стеклом С90–1, С93–2, С93–4, С94- 1, С95–2 и т. д.;
- вакуумплотных соединений с тонкими пленками мягкого стекла типа "Лензос" и т.д.

IV.4.17. Сплав 48НХ (ЭИ693)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 14119-85 Прутки из прецизионных сплавов для упругих элементов. Технические условия.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

ГОСТ 14162-79 Трубки стальные малых размеров (капиллярные). Технические условия.

ГОСТ 14080-78 Лента из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

ГОСТ 14081-78 Проволока из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Технические условия.

СТ ЦКБА 010-2004 Арматура трубопроводная. Поковки, штамповки и заготовки из проката. Технические требования.

Прецизионный сплав с заданным ТКЛР на основе Fe-Ni, легированный Mn, Cu, Cr.

Таблица 179. Химический состав сплава 48НХ (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
48.32 - 51	до 0.05	до 0.3	0.3 - 0.6	48 - 49.5	до 0.015	до 0.015	0.7 - 1	до 0.2

Техническая характеристика

Сплав со средним значением ТКЛР $(8,5-9,5) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹

в интервале температур от –70 до +450 °С. Отличается высокой коррозионной стойкостью при эксплуатации в агрессивных средах.

Литейно-технологические свойства

Температура плавления: 1450 °С.

Таблица 180. Механические свойства 48НХ при T=20 °С

Сортамент	σ_b	σ_5
-	МПа	МПа
Трубы, ГОСТ 14162-79	392	40
Лента нагартован., ГОСТ 14080-78	930	

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

Таблица 181. Физические свойства 48НХ

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	1.4			8350		400

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Применение

48НХ применяется для различных технических нужд, включая изготовление вакуум-плотных спаев с термометрическим стеклом марок 16Ш, С72-4 и др.

IV.5. Сплавы с высоким электрическим сопротивлением

IV.5.1. Сплав X20H80 (ЭХН80)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные.

Марки.

ГОСТ 8803-89 Проволока круглая из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением тончайшая для резистивных элементов. Технические условия.

ГОСТ 2590-2006 Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. Сортамент.

Таблица 182. Химический состав сплава X20H80 (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Al	Zr
до 1,5	до 0.1	0.9 - 1.5	до 0.7	72.65 - 79.1	до 0.02	до 0.03	20 - 23	до 0.2	до 0.3	до 0.2

Техническая характеристика

Нихром X20H80 – один из самых востребованных и широко распространенных нихромовых сплавов в электротермии. Он устойчив к воздействию высоких температур и не изменяет своих физико-химических характеристик в агрессивных средах. Популярность нихромового сплава X20H80 обусловлена его высоким электросопротивлением, которое этот материал сохраняет в условиях высоких температур. Еще одно достоинство нихрома – высокая пластичность, что позволяет легко навивать спирали для производства нагревательных элементов.

Оба компонента нихрома X20H80 – Ni и Cr, – придают сплаву высокую термостойкость и устойчивость к коррозии. Поэтому и сам сплав обладает повышенной устойчивостью к воздействию химически агрессивных сред, причем эти свойства сохраняются и в условиях воздействия высоких температур.

ТУ 14-1-3224-81 Проволока из сплава марки X20H80. Технические условия.

ТУ 14-1-3225-81 Проволока и прокат сортовой из сплава X20H80. Технические условия.

ТУ 25.93.13-001-15878725-2018 Сетки плетеные металлические специального назначения. Технические условия.

Прецизионный сплав (нихром) с высоким электрическим сопротивлением на основе Ni-Cr-Fe, легированный Mn, Ti, Al.

Нихром обладает высокой термостойкостью, что обеспечивает поверхностная пленка окиси хрома, которая имеет более высокую теплостойкость, чем основной материал, а также предотвращает окисление и разрушение глубоких слоев материала.

Литейно-технологические свойства

- Температура плавления : 1400 °С
- Температура горячей обработки : 1250 - 100 °С
- Температура отжига : 870 - 1040 °С

Таблица 183. Механические свойства Х20Н80 при T=20 °С

Сортамент	σ_b	σ_5
-	МПа	МПа
Проволока тверд., ГОСТ 8803-89	620-680	-
Сплав мягкий	400	50
Сплав твердый	770	14.5

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

Таблица 184. Физические свойства Х20Н80

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	2.18	17.6	-	8400	-	1175

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: сортовой прокат, прутки, проволока, нить, лента, полоса.

213 Применение

Один из самых дорогих и самых жаропрочных и жаростойких сплавов с высоким омическим сопротивлением. Рекомендуется применять для нагревателей электротермического оборудования повышенной надежности и долговечности при изготовлении электротермических элементов и электроприборов промышленного назначения в металлургии, машино- и приборостроении, химической и нефтегазовой промышленности, многих других отраслях производства, не исключая сферы бытовых электронагревательных устройств (чайники, утюги, фены, обогреватели и т.д.).

В силу высоких показателей электросопротивления, термостойкости, жаропрочности и устойчивости к коррозии в агрессивных средах материал Х20Н80 широко используется для изготовления:

- элементов сопротивления, спиралей электронагревателей, электротермического оборудования, пусковых реостатов и т.п.;
- нагруженных и ненагруженных элементов электроиндукционных печей сушки и обжига, промышленных ТЭНов, других устройств, подвергающихся интенсивному термическому воздействию до 1200°С: колосников, транспортеров, опор, направляющих и т.п.;
- промышленных котлов и теплообменников;
- ответственных деталей внутри вакуумных приборов;
- соединителей в изделиях электронной техники;
- не прецизионных резисторов;
- порошка, используемого в производстве проникаемых изделий и пористой прокатанной/спеченной ленты;
- порошка, применяемого для изготовления уплотнительных вставок турбин;
- порошков для напыления защитных и упрочняющих плазменных покрытий в авиационной отрасли;
- фильтров для очистки смазочных масел, топлива, щелочей, воздуха и других газов и технических жидкостей;
- пористых охладителей;
- компонентов систем зажигания;
- аппаратов для промышленной резки металлов.

По ряду технологических параметров нихромовая проволока и лента Х20Н80 может быть использована в качестве альтернативы платиновым аналогам.

214

IV.5.2. Сплав X20H80-H

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки

ГОСТ 8803-89 Проволока круглая из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением тончайшая для резистивных элементов. Технические условия.

ГОСТ 2590-2006 Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. Сортамент.

ГОСТ 12766.1-90 Проволока из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия

ГОСТ 12766.2-90 Лента из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.3-90 Сплавы калиброванные прецизионные с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.4-90 Прокат сортовой из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.5-90 Лента плющенная из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ТУ 14-173-142-88 Проволока из сплава X20H80-H. Технические условия

ТУ 14-1-3904-84 Заготовка ковкая квадратная из прецизионных сплавов. Технические условия.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

Прецизионный сплав (нихром) с высоким электрическим сопротивлением на основе Ni- Cr-Fe, легированный Mn, Ti, Al, Zr

Таблица 185. Химический состав сплава X20H80-H (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Al	Zr
до 1	до 0.06	1 - 1.5	до 0.6	72.905 - 78.8	до 0.015	до 0.02	20 - 23	до 0.2	до 0.2	0.2 - 0.5

Техническая характеристика

Прецизионный сплав X20H80-H так же, как и сплав X20H80, обладает высоким удельным электрическим сопротивлением, имеет минимальный температурный коэффициент электрического сопротивления, повышенную термостойкость и жаропрочность (более жаропрочен, чем железо-хром-алюминиевые сплавы). Не утрачивает своих полезных свойств также в окислительной среде, в азоте и аммиаке. Отличается хорошей ковкостью и крипоустойчивостью, являясь аустенитным сплавом высшего качества. При

этом сплав X20H80-H очень долговечен и используется в наиболее ответственном оборудовании. Сплав неустойчив к атмосфере, содержащей серу и сернистые соединения.

Технологические свойства

Свариваемость: трудносвариваемая*.

Примечание: для получения качественных сварных соединений требуются дополнительные операции: подогрев до 200-300 град. при сварке, термообработка после сварки – отжиг.

Литейно-технологические свойства

Температура плавления: 1400 °С.

Таблица 186. Механические свойства X20H80-H при T=20 °C

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ
-	МПа	МПа	%	%
Лента ГОСТ 10160-75	490	245	45	70
Твердость X20H80-H, Лента нагартованная ГОСТ 10160-75		HV 10 ⁻¹ = 170 МПа		

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

HV - Твердость по Бринеллю, [МПа]

Таблица 187. Физические свойства Х20Н80-Н

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	-	-	-	8200	-	480

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Зарубежные аналоги материала Х20Н80-Н

США – Nichrome;

Германия - NiCr80-20

Формы выпуска: сортовой прокат, прутки, проволока, нить, лента, полоса.

Применение

Сплав Х20Н80-Н применяется для изготовления:

электронагревательных элементов промышленных электропечей и различных электронагревательных устройств с предельной рабочей температурой до +1200 °С;

- резисторов;
- реостатов;
- трубчатых электронагревательных элементов (ТЭНы);
- нагревательных элементов бытовой электротехники;
- плетеных транспортерных сеток.

IV.5.3. Сплав Х20Н80-ВИ

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 8803-89 Проволока круглая из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением тончайшая для резистивных элементов. Технические условия.

ГОСТ 2590-2006 Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. Сортамент.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

Прецизионный сплав (нихром) с высоким электрическим сопротивлением на основе Ni-Cr-Fe, легированный Mn, Ti, Al.

Таблица 188. Химический состав сплава Х20Н80-ВИ (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Al
До 1,5	до 0.05	0.4 - 1.0	До 0.3	73.93 - 9.585	до 0.01	до 0.01	20 - 23	до 0.05	0.015-0.15

Техническая характеристика

Нихром Х20Н80-ВИ – один из самых востребованных и широко распространенных нихромовых сплавов в электротермии, получаемый методом индукционной выплавки. Сочетание обоих основных компонентов – Ni и Cr, – придает сплаву высокую термостойкость, жаропрочность и устойчивость к коррозии, что позволяет сохранять комплекс физико-химических характеристик в агрессивных средах. Еще одно достоинство данного сплава – высокая пластичность (ковкость), что, в частности, обуславливает легкость навивки спиралей для нагревательных элементов.

Таблица 189. Механические свойства Х20Н80-ВИ при T=20 °С

Сортамент	σ _B	σ ₅
-	МПа	МПа
Проволока тверд., ГОСТ 8803-89	620-680	-

Обозначения:

σ_B - Предел кратковременной прочности, [МПа]

δ₅ - Относительное удлинение при разрыве, [%]

Таблица 190. Физические свойства Х20Н80-ВИ

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	-	12	-	8400	-	-

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: сортовой прокат, проволока, нить, лента, полоса

Применение

Сплав Х20Н80-ВИ применяется для изготовления:

- электронагревательных элементов промышленных электропечей и различных электронагревательных устройств с предельной рабочей температурой до +1200 °С;
- не прецизионных резисторов;
- реостатов;
- ответственных деталей внутри вакуумных приборов;
- соединителей в изделиях электронной техники;
- трубчатых электронагревательных элементов (ТЭНы).

IV.5.4. Сплав Х20Н80-Н-ВИ

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные.

Марки

ГОСТ 8803-89 Проволока круглая из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением тончайшая для резистивных элементов. Технические условия.

ГОСТ 2590-2006 Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. Сортамент.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

Прецизионный сплав (нихром) с высоким электрическим сопротивлением на основе Ni-Cr-Fe, легированный Mn, Ti, Al, Ce, Mg.

Таблица 191. Химический состав сплава Х20Н80-Н-ВИ (%).

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ce	Ti	Al	Mg
до 1	до 0.05	1 - 1.5	до 0.6	73.2 - 76	до 0.015	до 0.02	20 - 23	до 0.1	до 0.2	до 0.2	до 0.12

Техническая характеристика

Нихром Х20Н80-Н-ВИ имеет удачное сочетание высокого электрического сопротивления и жаростойкости. Минимальный коэффициент линейного расширения позволяет проволоке не провисать при высоких температурах. Проволока Х20Н80-Н-ВИ обладает рабочей температурой до 1200°С. Поверхностный оксид хрома придает сплаву отличную коррозионную стойкость, что позволяет использовать его в различных агрессивных средах. Он обладает хорошей технологичностью, которая позволяет навивать проволоку без предварительного подогрева.

Сплав Х20Н80-Н-ВИ, получаемый методом индукционной выплавки и дополнительно легированный присадками магния, титана, алюминия и церия, жаростоек в окислительной атмосфере, в азоте, аммиаке, неустойчив в атмосфере, содержащей серу и сернистые соединения, более жаропрочен, чем железо-хром-алюминиевые сплавы.

Сплав Х20Н80-Н-ВИ рекомендуется для нагревателей электротермического оборудования повышенной надежности.

Таблица 192. Механические свойства Х20Н80-Н-ВИ при T=20 °С

Сортамент	σ_b	σ_5
-	МПа	МПа
Проволока тверд., ГОСТ 8803-89	620-680	-

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

Формы выпуска: сортовой прокат, проволока, нить, лента, полоса

Применение

Сплав Х20Н80-Н-ВИ применяется для изготовления:

- электронагревательных элементов промышленных электропечей и различных электронагревательных устройств с предельной рабочей температурой до 1220 °С;
- форм для литья пластика;
- не прецизионных резисторов;
- реостатов;
- нагревательных элементов для бытовой техники.

IV.5.5. Сплав Х15Н60 (ЭХН60)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные.

Марки

ГОСТ 8803-89 Проволока круглая из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением тончайшая для резистивных элементов. Технические условия.

ГОСТ 12766.1-90 Проволока из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия

ГОСТ 12766.2-90 Лента из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.3-90 Сплавы калиброванные прецизионные с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.4-90 Прокат сортовой из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.5-90 Лента плющенная из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

ТУ 25.93.13-001-15878725-2018 Сетки плетеные металлические специального назначения. Технические условия.

ТУ 14-1-4927-90 , Проволока из сплава Х15Н60. Технические условия.

ТУ 14-1-4927-90 , Проволока из сплава Х15Н60. Технические условия.

ТУ 14-1-3744-84 Катанка из сплавов марок Х20Н80, Х20Н80-Н, Х15Н60 и Х15Н60-Н. Технические условия.

ТУ 14-1-4327-87 Лист горячекатаный из сплава Х15Н60. Технические условия.

ТУ 14-1-4327-87 Лист горячекатаный из сплава Х15Н60. Технические условия.

Прецизионный сплав (нихром) с высоким электрическим сопротивлением на основе Ni-Fe-Cr, легированный Mn, Ti, Al.

Таблица 193. Химический состав сплава X15H60 (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Al
17.3	- до	0.8	- до	55	- до	до	15	- до	до
29.2	0.15	1.5	1.5	61	0.02	0.03	18	0.3	0.2

Техническая характеристика

Аустенитный прецизионный сплав X15H60, помимо высокого удельного электросопротивления (после специальной термической обработки температурный коэффициент электрического сопротивления в интервале температур от -60 до плюс 100°C составляет около $0,9 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ и $1,5 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ соответственно), является жаропрочным и коррозионноустойчивым, сохраняя комплекс механических и физических свойств при повышенных температурах, в т.ч. в окислительной атмосфере, в азоте, аммиаке.

Благодаря минимальному коэффициенту теплового расширения проволока не провисает при экстремально высоких температурах. Нихром X15H60 хорошо держит форму, будучи пластичным и крипоустойчивым. В отличие от сплава X20H80 обладаем магнитными свойствами и в большей степени подвержен коррозии из-за большого содержания железа, что компенсируется более низкой стоимостью.

Литейно-технологические свойства

Температура плавления: 1390 °C

Температура горячей обработки: 1100 - 1000 °C

Температура отжига: 750 - 850 °C

Таблица 194. Механические свойства X15H60 при T=20 °C

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ
-	МПа	МПа	%	%
Проволока тверд., ГОСТ 8803-89	600-660	-	-	-
Лента, ГОСТ 12766.2-90	834	-	20	-
Твердость X15H60, ГОСТ 12766.1-90				
HV 10^{-1} = 140 - 150 МПа				

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

HV - Твердость по Бринеллю, [МПа]

Таблица 195. Физические свойства X15H60

T	E 10^{-5}	$\alpha 10^6$	λ	ρ	C	R 10^9
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	2.18	-	-	8200	-	1100
100	-	17	-	-	460	-

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

C - Удельная теплоемкость материала, [Дж/(кг·град)]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: сортовой прокат, проволока, нить, лента, полоса.

Применение

Материал Х15Н60 применяют для изготовления:

- элементов сопротивления, спиралей электронагревателей, электротермического оборудования с предельной рабочей температурой 1100 °С и т.п.;
- нагруженных и ненагруженных элементов электроиндукционных печей сушки и обжига, промышленных ТЭНов, других устройств, подвергающихся интенсивному термическому воздействию до 1100°С: колосников, транспортеров, опор, направляющих и т.п.; промышленных котлов и теплообменников;
- ответственных деталей внутри вакуумных приборов;
- соединителей в изделиях электронной техники;
- не прецизионных резисторов;
- пусковых реостатов;
- бытовой электронагревательной аппаратуры;
- в качестве дополнительного подслоя и стойкого к повышенным температурам покрытия при газотермическом напылении.

IV.5.6. Сплав Х15Н60-Н

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные.

Марки

ГОСТ 8803-89 Проволока круглая из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением тончайшая для резистивных элементов. Технические условия.

ГОСТ 2590-2006 Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. Сортамент.

ГОСТ 12766.1-90 Проволока из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия

ГОСТ 12766.2-90 Лента из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.3-90 Сплавы калиброванные прецизионные с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.4-90 Прокат сортовой из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.5-90 Лента плющенная из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

ТУ 14-1-3744-84 Катанка из сплавов марок Х20Н80, Х20Н80-Н, Х15Н60 и Х15Н60-Н. Технические условия.

ТУ 14-131-820-90 Проволока холоднотянутая из прецизионных сплавов марок Х23Ю5, Х23Ю5Т, Х27Ю5Т, Х15Н60, Х15Н60-Н, Х20Н80-Н, ХН70Ю-Н. Технические условия.

Прецизионный сплав (нихром) с высоким электрическим сопротивлением на основе Ni-Fe-Cr, легированный Mn, Ti, Al, Zr.

Таблица 196. Химический состав сплава Х15Н60-Н (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Al	Zr
17.905 - 28.8	до 0.06	1 - 1.5	до 0.6	55 - 61	до 0.015	до 0.02	15 - 18	до 0.2	до 0.2	0.2 - 0.5

Техническая характеристика

Жаростойкий никель-железо-хромовый сплав марки Х15Н60-Н (ферронихром) аналогичен сплаву Х20Н80-Н, но более пластичен, экономичен и не столь жаростоек, зато более жаропрочен, чем фехрали. Отличается хорошими показателями термостойкости в окислительной атмосфере, в азоте и аммиаке. Данный сплав не устойчив в атмосфере, содержащей серу и сернистые соединения.

Предельная рабочая температура 1100 °С для продукции с длительным сроком эксплуатации. Рекомендуемая максимальная рабочая температура нагревательного элемента в воздушной среде в зависимости от диаметра (толщины):

0,2 мм. – 900 °С;

0,4 мм. – 950 °С;

1,0 мм. – 1000 °С;

3,0 мм. – 1075 °С;

6,0 мм. и более – 1100 °С.

Технологические свойства

Свариваемость: трудносвариваемая.

Литейно-технологические свойства

Температура плавления: 1390 °С.

Таблица 197. Механические свойства Х15Н60-Н при T=20 °С

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ
-	МПа	МПа	%	%
Лента, ГОСТ 12766.2-90	834	-	20	-
Твердость Х15Н60-Н, ГОСТ 12766.1-90 НВ 10^{-1} = 140 - 150 МПа				

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

НВ - Твердость по Бринеллю, [МПа]

Таблица 198. Физические свойства Х15Н60-Н

T	E 10^{-5}	$\alpha 10^6$	λ	ρ	C	R 10^9
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	-	-	-	8200	-	1150
100	-	17	-	-	460	1170
200	-	-	-	-	-	1185
300	-	-	-	-	-	1210

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства, [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения, [1/Град]

ρ - Плотность материала, [кг/м³]

C - Удельная теплоемкость материала, [Дж/(кг·град)]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: сортовой прокат, проволока, нить, лента, полоса

Применение

Сплав X15H60-H применяется для изготовления:

- нагруженных и ненагруженных электронагревательных элементов промышленных электропечей и различного электротермического оборудования (колосников, транспортеров, опор, направляющих и т.п.) с предельной рабочей температурой до 1110 °С;
- ответственных деталей внутри вакуумных приборов;
- плющеной ленты 0,1–1,0 мм для изготовления нагревательных элементов и элементов сопротивления;
- соединителей в различных видах электронной техники;
- не прецизионных резисторов;
- реостатов;
- нагревательных элементов для бытовой техники;
- плетеных транспортных сеток (по ТУ 25.93.13-001-15878725-2018).

IV.5.7. Сплав X15H60-H-BИ

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные.

Марки

ГОСТ 8803-89 Проволока круглая из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением тончайшая для резистивных элементов. Технические условия.

ГОСТ 2590-2006 Прокат сортовой стальной горячейкатаный круглый. Сортамент.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

Прецизионный сплав (нихром) с высоким электрическим сопротивлением на основе Ni-Fe-Cr, легированный Mn, Ti, Al, Ce, Mg.

Таблица 199. Химический состав сплава X15H60-H-BИ (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ce	Ti	Al	Mg
18.21 - 26	до 0.06	1 - 1.5	до 0.6	55 - 61	до 0.015	до 0.02	15 - 18	до 0.1	до 0.2	до 0.2	до 0.1

Таблица 200. Механические свойства X15H60-H-BИ при T=20 °С

Сортамент	σ_b МПа	σ_T МПа	δ_5 %	ψ %
-				
Лента холоднокатаная 0,2-3,2 мм. в состоянии поставки по ГОСТ 12766.2-90	834	-	20	-
Проволока холоднотянутая термообработанная в состоянии поставки по ГОСТ 12766.1-90	880	-	20	-
Твердость X15H60-H-BИ, ГОСТ 12766.1-90		HV 10 ⁻¹ = 140 - 150 МПа		

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

HV - Твердость по Бринеллю, [МПа]

Таблица 201. Физические свойства X15H60-H-BI

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	-	-	-	8200	460	1150
100	-	17	-	-	-	1170
200	-	-	-	-	-	1185
300	-	-	-	-	-	1210

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

C - Удельная теплоемкость материала, [Дж/(кг·град)]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Литейно-технологические свойства

Температура плавления - 1390°C

Технологические параметры X15H60-H-BI

Живучесть сплава для нагревательных элементов Не менее 150 часов при температуре испытания 1150 °С. Рекомендуемая максимальная рабочая температура нагревательного элемента от 900 °С при толщине 0,2 мм до 1125 °С при толщине ≥ 6,0 мм.

Магнитность: немагнитный сплав.

Микроструктура: аустенитная структура.

Свариваемость: трудносвариваемый сплав. Способ сварки - РДС.

Газовую сварку не применять.

Формы выпуска: сортовой прокат, проволока, нить, лента, полоса

Применение

Сплав X15H60-H-BI применяется для изготовления:

- нагруженных и ненагруженных электронагревательных элементов промышленных электропечей и различного электротермического оборудования повышенной надежности с предельной рабочей температурой до 1150 °С;
- ответственных деталей внутри вакуумных приборов;
- плющеной ленты 0,1–1,0 мм для изготовления нагревательных элементов и элементов сопротивления;
- соединителей в различных видах электронной техники;
- не прецизионных резисторов;
- реостатов;
- нагревательных элементов для бытовой техники;
- плетеных транспортерных сеток (по ТУ 25.93.13-001-15878725-2018

IV.5.8. Сплав ХН20ЮС (ЭК11)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки

ГОСТ 12766.1-90 Проволока из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия

ГОСТ 12766.2-90 Лента из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.3-90 Сплавы калиброванные прецизионные с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.4-90 Прокат сортовой из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ТУ 14-1-4098-86 Проволока холоднотянутая из сплава ХН20ЮС (ЭК11). Технические условия.

Прецизионный сплав (нихром) с высоким электрическим сопротивлением на основе Fe-Ni- Cr, легированный Al, Mn, Ti, Zr Ce, Ca.

Таблица 202. Химический состав сплава ХН20ЮС (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ce	Ti	Al	Zr	Ca	-
51.77 - 58.2	до 0.08	2 - 2.7	0.3 - 0.8	19.5 - 21.5	до 0.02	до 0.03	19 - 21	до 0.1	до 0.2	1 - 1.5	до 0.2	до 0.1	Ca, Ce, Zr-расчет

Основные технологические характеристики

- жаростоек в окислительной атмосфере, вакуумной среде;
- более жаропрочен, чем сплавы на основе Fe-Cr-Al;
- удельное электрическое сопротивление сплава - 0,98-1,06 мкОм·м;
- предельная рабочая температура нагревателей из сплава - 1100°С.

Литейно-технологические свойства

Температура плавления: 1380 °С.

Таблица 203. Механические свойства ХН20ЮС при T=20 °С

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ
-	МПа	МПа	%	%
Проволока, ГОСТ 12766.1-90	780	-	25	-
Лента, ГОСТ 12766.2-90	736	-	25	-

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

НВ - Твердость по Бринеллю, [МПа]

Таблица 204. Физические свойства ХН20ЮС.

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	-	-	-	7700	-	1020
100	-	19	-	-	480	-

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

C - Удельная теплоемкость материала, [Дж/(кг·град)]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Таблица 205. Зарубежные аналоги материала ХН20ЮС

Германия	Евросоюз	Польша
DIN, WNr	EN	PN
X16CrNi25-20	1.4843	H23N18

Формы выпуска: сортовой прокат, проволока, нить, лента, полоса

Применение

Сплав ХН20ЮС применяется для изготовления нагревателей промышленных электропечей и различных электронагревательных устройств с предельной рабочей температурой до +1100 °С.

IV.5.9. Сплав ХН70Ю (ЭИ652)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 5632-72 Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки.

ГОСТ 2590-2006 Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. Сортамент.

ГОСТ 19903-74 Прокат листовой горячекатаный. Сортамент.

ГОСТ 19904-74 Прокат листовой холоднокатаный. Сортамент.

ОСТ 3-1686-90 Заготовки из конструкционной стали для машиностроения. Общие технические условия.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

ТУ 14-1-1497-75 Прутки горячекатаные и кованые из сплава ХН70Ю (ЭИ652). Технические условия.

ТУ 14-1-493-72 Листы горячекатаные из сплава ХН70Ю (ЭП652). Технические условия.

ТУ 14-1-810-73.

Прецизионный сплав (нихром) с высоким электрическим сопротивлением на основе Ni-Cr-Al, легированный Fe, Al, Mn, Ba, Cu, Ce.

Таблица 206. Химический состав сплава ХН70Ю (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ce	Al	Cu	Ba
до 1	до 0.1	до 0.8	до 0.3	65.073 - 71.2	до 0.012	до 0.015	26 - 29	до 0.03	2.8 - 3.5	до 0.07	до 0.1

Техническая характеристика

Сплав ХН70Ю, ранее имел маркировку ЭИ652. Название марки изменено в связи с тем, что сочетаниями ЭИ, ЭП и ДИ обозначаются лишь опытные марки, не включенные в ГОСТ. ХН70Ю – устойчивый к коррозии нержавеющей термостойкий жаропрочный сплав на хромоникелевой основе. Под жаропрочностью понимается способность материала работать под напряжением в условиях высоких температур без деформационных разрушений. К основным характеристикам сплава можно также причислить прочность и ползучесть (явление непрерывной деформации в условиях постоянного напряжения). Рекомендуемая максимальная температура эксплуатации в течение длительного времени +1100 °С, в течение ограниченного времени +1200 °С. Температура начала интенсивного окисления в воздушной среде — более +1200 °С. Сплав ХН70Ю неустойчив в серосодержащих средах.

Сплав ХН70Ю изготавливается путем плавки в индукционных открытых печах, либо же способом шлакового переплава. Именно благодаря этому способу, сплав получается наилучшего качества и обладает исключительными прочностными характеристиками и термостойкостью.

Технологические свойства материала ХН70Ю

Свариваемость: ограниченно свариваемая*.

*Примечание: сварка возможна при подогреве до 100-120 град. и последующей термообработке.

Таблица 207. Механические свойства ХН70Ю при T=20 °С

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ
-	МПа	МПа	%	%
Лист, ГОСТ 24982-81	980	-	30	-

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

НВ - Твердость по Бринеллю, [МПа]

Таблица 208. Физические свойства ХН70Ю.

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	1.91	-	11.7	7900	-	-
100	1.82	13.14	12.6	-	-	-
200	1.73	13.86	13.9	-	-	-
300	1.66	14.76	13.55	-	-	-
400	1.56	15.68	17.25	-	-	-
500	1.47	16.39	18.9	-	-	-
600	1.37	17.81	18.9	-	-	-
700	1.18	22.42	23.1	-	-	-
800	-	25.47	24.8	-	-	-
900	-	21.34	26.9	-	-	-

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

C - Удельная теплоемкость материала, [Дж/(кг·град)]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: поковки, сортовой прокат, проволока, нить, лента, полоса, трубы.

Применение

Сплав ХН70Ю широко применяется в строительстве, приборостроении и различных отраслях легкой и тяжелой промышленности. Регламент – ГОСТ 5632-72.

В частности, из данного материала изготавливают различные изделия, работающие при умеренных напряжениях, при 1100—1200 °С, а именно:

- ненагруженные или слабонагруженные детали, работающих в агрессивных газовых средах при температурах 550-1200°С (II группа);
- нагруженные детали, эксплуатирующихся 100-1000 часов в условиях температур до 1110°С (III группа);
- нагревательные элементы;
- элементы сопротивления;
- детали камер сгорания и форсажных камер (карманы, диффузоры, экраны и др.);
- элементы крепежа турбин реактивных двигателей;
- компоненты систем газопроводов, в т.ч. цельнометаллических труб и трубопроводной арматуры различных форм и размерных параметров (труба из сплава ХН70Ю может длительное время эксплуатироваться при температуре до 800 градусов, а также выдерживать краткосрочную нагрузку в 1200 градусов, без появления окалины или деформаций);
- сварочную проволоку, применяемую для наплавки деталей и сварки металлоконструкций в энергетическом машиностроении;
- сварочные электроды;
- сварные детали и узлы, предназначенные для эксплуатации в радиоактивных средах.

IV.5.10. Сплав ХН70Ю-Н

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 12766.4-77 Прокат сортовой из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.1-90 Проволока из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.3-90 Сплавы калиброванные прецизионные с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.4-90 Прокат сортовой из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 2590-2006 Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. Сортамент.

ГОСТ 7417-75 Сталь калиброванная круглая. Сортамент.

Таблица 209. Химический состав сплава ХН70Ю-Н (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ce	Al	Va	-
до 1.5	до 0.1	до 0.8	до 0.3	64.43 - 71	до 0.02	до 0.02	26 - 28.9	до 0.03	3 - 3.8	до 0.1	Ce, Va - расчет

ГОСТ 19903-74 Прокат листовой горячекатаный. Сортамент.

ГОСТ 19904-74 Прокат листовой холоднокатаный. Сортамент.

ОСТ 3-1686-90 Заготовки из конструкционной стали для машиностроения. Общие технические условия.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

ТУ 14-1-997-2012 Проволока сварочная из жаропрочных, жаростойких и коррозионностойких марок стали и сплавов. Технические условия.

ТУ 14-131-820-90 Проволока холоднотянутая из прецизионных сплавов марок Х23Ю5, Х23Ю5Т, Х27Ю5Т, Х15Н60, Х15Н60-Н, Х20Н80-Н, ХН70Ю-Н. Технические условия. Взамен: ТУ 14-131-815-85

Прецизионный сплав (нихром) с высоким электрическим сопротивлением на основе Ni-Cr-Fe-Al, легированный Mn, Va, Ce.

Техническая характеристика

ХН70Ю-Н – устойчивый к коррозии нержавеющий термостойкий жаропрочный сплав на хромоникелевой основе. Жаростоек в окислительной атмосфере, водороде, азотно-водородных смесях, вакууме. Более жаропрочен, чем железо-хром-алюминиевые сплавы (фехрали). Под жаропрочностью понимается способность материала работать под напряжением в условиях высоких температур без деформационных разрушений. К основным характеристикам сплава можно также причислить прочность и ползучесть (явление непрерывной деформации в условиях постоянного напряжения).

Литейно-технологические свойства

Температура плавления : 1390 °С

Таблица 210. Механические свойства ХН70Ю-Н при T=20 °С

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ
-	МПа	МПа	%	%
Проволока, ГОСТ 12766.1-90	1000	-	15	-

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

НВ - Твердость по Бринеллю, [Мпа]

Таблица 211. Физические свойства ХН70Ю-Н.

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	-	-	-	7900	-	1300
100	-	21	-	-	460	-

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

C - Удельная теплоемкость материала, [Дж/(кг·град)]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: сортовой прокат, проволока, нить, лента, полоса, трубы.

Применение

Сплав ХН70Ю-Н применяют для изготовления:

нагревателей промышленных электропечей с предельной рабочей температурой до 1200 °С;

- нагревательных элементов;
- элементов сопротивления;
- не прецизионных резисторов;
- реостатов;
- ответственных деталей внутри вакуумных приборов;
- компонентов систем газопроводов, в т.ч. цельнометаллических труб и трубопроводной арматуры различных форм и размерных параметров.

IV.5.11. Сплав Х20Н73ЮМ-ВИ

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 12766.5-90 Лента плющенная из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 2590-2006 Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. Сортамент.

ГОСТ 7417-75 Сталь калиброванная круглая. Сортамент.

ГОСТ 19903-74 Прокат листовой горячекатаный. Сортамент.

ГОСТ 19904-74 Прокат листовой холоднокатаный. Сортамент.

ОСТ 3-1686-90 Заготовки из конструкционной стали для машиностроения. Общие технические условия.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

Прецизионный сплав (нихром) с высоким электрическим сопротивлением на основе Ni-Cr-Al, легированный Mo, Fe, Mn, Ti, Ce.

Таблица 212. Химический состав сплава Х20Н73ЮМ-ВИ (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ce	Mo	Ti	Al
1.5 - 2	до 0.05	до 0.2	до 0.3	70.88 - 75.1	до 0.01	до 0.01	19 - 21	до 0.1	1.3 - 1.8	до 0.05	3.1 - 3.6

Техническая характеристика

Сплав с низким температурным коэффициентом электрического сопротивления и высоким удельным электрическим сопротивлением. Производится методом индукционной выплавки.

Формы выпуска: слитки, поковки, сортовой прокат, проволока, нить, лента, полоса

Применение

Сплав Х20Н73ЮМ-ВИ применяется для изготовления:

- прецизионных резисторов;
- резисторов с повышенной стабильностью;
- тензорезисторов;
- реостатов

IV.5.12. Сплав Н80ХЮД-ВИ

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 8803-89 Проволока круглая из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением тончайшая для резистивных элементов. Технические условия.

ГОСТ 12766.5-90 Лента плющенная из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 2590-2006 Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. Сортамент.

ГОСТ 7417-75 Сталь калиброванная круглая. Сортамент.

ГОСТ 19903-74 Прокат листовой горячекатаный. Сортамент.

ГОСТ 19904-74 Прокат листовой холоднокатаный. Сортамент.

ОСТ 3-1686-90 Заготовки из конструкционной стали для машиностроения. Общие технические условия.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

ТУ 14-1-41-71 Проволока микронная из сплава Н80ХЮД-ВИ. Технические условия.

Прецизионный сплав (нихром) с высоким электрическим сопротивлением на основе Ni-Cr-Al, легированный Fe, Cu, Mn.

Таблица 213. Химический состав сплава Н80ХЮД-ВИ (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Al	Cu
до 0.5	до 0.03	до 0.35	до 0.2	73.702 - 76.6	до 0.008	до 0.01	19 - 20	3.5 - 4	0.9 - 1.2

Техническая характеристика

Сплав с низким температурным коэффициентом электрического сопротивления и высоким удельным электрическим сопротивлением.

Таблица 214. Механические свойства Н80ХЮД-ВИ при T=20 °C

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ
-	МПа	МПа	%	%
Проволока тверд., ГОСТ 8803-89	900	-	-	-

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

НВ - Твердость по Бринеллю, [Мпа]

Таблица 215. Физические свойства Н80ХЮД-ВИ.

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	-	14	-	8120	-	-

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства, [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения, [1/Град]

ρ - Плотность материала, [кг/м³]

C - Удельная теплоемкость материала, [Дж/(кг·град)]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: проволока, нить, лента, полоса.

Применение

Сплав Н80ХЮД-ВИ применяют для изготовления:

- прецизионных резисторов;
- тензорезисторов;
- тончайшей проволоки (0,020-0,400 мм) для производства резистивных элементов.

IV.5.13. Сплав X13Ю4 (ЭИ60)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 8803-89 Проволока из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.5-90 Лента плющенная из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 2590-2006 Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. Сортамент.

Таблица 216. Химический состав сплава X13Ю4 (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Al
Основа	до 0.15	до 1	до 0.7	до 0.6	до 0.025	до 0.035	12 - 15	до 0.3	3.5 - 5.5

Техническая характеристика

Сплав жаростойкий в окислительной атмосфере. Окалиностоек до 850 оС, с высоким удельным электросопротивлением 1,26 ом*мм., не изменяющимся при изменении температуры.

Формы выпуска: проволока, лента, полоса.

Применение

Из сплава X13Ю4 изготавливают:

- проволоку и ленту для реостатов, нагревательных элементов приборов и аппаратуры, бытовой техники;
- компоненты прецизионных резисторов;
- элементы сопротивления для реостатов и других технических устройств.

ГОСТ 19903-74 Прокат листовой горячекатаный. Сортамент.

ГОСТ 19904-74 Прокат листовой холоднокатаный. Сортамент.

ОСТ 3-1686-90 Заготовки из конструкционной стали для машиностроения. Общие технические условия.

Прецизионный сплав (фехраль) с высоким электрическим сопротивлением на основе Fe-Cr-Al, легированный Mn, Ni, Ti.

IV.5.14. Сплав X15Ю5

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 12766.4-77 Прокат сортовой из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.1-90 Проволока из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.2-90 Лента из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.3-90 Сплавы калиброванные прецизионные с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.4-90 Прокат сортовой из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.5-90 Лента плющенная из прецизионных сплавов с высоким

электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 2590-2006 Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. Сортамент.

ГОСТ 7417-75 Сталь калиброванная круглая. Сортамент.

ГОСТ 19903-74 Прокат листовой горячекатаный. Сортамент.

ГОСТ 19904-74 Прокат листовой холоднокатаный. Сортамент.

ОСТ 3-1686-90 Заготовки из конструкционной стали для машиностроения. Общие технические условия.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

Прецизионный сплав (фехраль) с высоким электрическим сопротивлением на основе Fe-Cr-Al, легированный Mn, Ni, Ti, Ce, Ca.

Таблица 217. Химический состав сплава X15Ю5 (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ce	Ti	Al	Ca	-
Осно ва	до 0.08	до 0.7	до 0.7	до 0.6	до 0.015	до 0.03	13.5 - 15.5	до 0.1	0.2 - 0.6	4.5 - 5.5	до 0.1	Ca, Ce - расчет

Техническая характеристика

Сплав Х15Ю5 по многим технологическим параметрам схож с аналогом Х13Ю4, нередко будучи использован в качестве его заменителя. Как и большинство фехралей, он отличается высокой твердостью, магнитен, жаростоек и устойчив к коррозии в окислительной атмосфере, включая серосодержащие среды. Хорошо проявляет себя при работе в контакте с высокоглиноземистой керамикой. Однако данный сплав демонстрирует высокую хрупкость, а при повышенных температурах склонен к провисанию, не выдерживая резких динамических нагрузок. Показатель удельного электрического сопротивления сплава Х15Ю5 при высоких температурах (в зависимости от толщины ленты или проволоки предельная рабочая температура колеблется от 750 до 1000 °С) составляет 1.24-1.34 мкОм•м. в зависимости от толщины проката (лента, проволока). Данный сплав сохраняет свои свойства и может эксплуатироваться в диапазоне максимальной рабочей температуры до 950°С. За счет низкой удельной плотности фехрала Х15Ю5, а также отсутствия существенного количества никеля в сплаве, данный материал характеризуется значительно более низкой себестоимостью в сравнении со сплавами группы нихромов. При выплавке сплава, предназначенного для изготовления нагревательных элементов, рекомендуется использование только свежих шихтовых материалов, то есть использование металллома в производстве продукции не приводит к наилучшим результатам.

Литейно-технологические свойства

Температура плавления : 1500 °С

Таблица 218. Механические свойства Х15Ю5 при T=20 °С

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ
-	МПа	МПа	%	%
Проволока, ГОСТ 12766.1-90	740	-	16	-
Лента, ГОСТ 12766.2-90	736	-	16	-
Твердость Х15Ю5, ГОСТ 12766.1-90				
HV 10 ⁻¹ = 150 - 200 МПа				

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

HV - Твердость по Бринеллю, [МПа]

Таблица 219. Физические свойства Х15Ю5

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	-	-	-	7280	-	1290
100	-	16	-	-	480	-

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

C - Удельная теплоемкость материала, [Дж/(кг·град)]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: слитки, поковки, сортовой прокат, прутки, проволока, нить, лента, полоса.

Применение

Сплав Х15Ю5 применяют для изготовления:

- резистивных элементов для не прецизионных резисторов;
- элементов электронагревательных устройств (промышленных и бытовых);
- балластных реостатов;
- ответственных деталей внутри вакуумных приборов;
- блоков резисторов сопротивления электро локомотивов;
- соединителей в изделиях электронной техники.

IV.5.15. Сплав Х23Ю5 (ЭИ595)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные.

Марки.

ГОСТ 12766.4-77 Прокат сортовой из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.1-90 Проволока из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.2-90 Лента из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.3-90 Сплавы калиброванные прецизионные с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.4-90 Прокат сортовой из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.5-90 Лента плющенная из прецизионных сплавов с высоким

электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 2590-2006 Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. Сортамент.

ГОСТ 7417-75 Сталь калиброванная круглая. Сортамент.

ГОСТ 19903-74 Прокат листовой горячекатаный. Сортамент.

ГОСТ 19904-74 Прокат листовой холоднокатаный. Сортамент.

ОСТ 3-1686-90 Заготовки из конструкционной стали для машиностроения. Общие технические условия.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

Прецизионный сплав (фехраль) с высоким электрическим сопротивлением на основе Fe-Cr-Al, легированный Mn, Ni, Ti, Ce, Ca.

Таблица 220. Химический состав сплава Х23Ю5 (%)

Fe	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ce	Ti	Al	Ca	-
Ос- нова	до 0.6	до 0.3	до 0.6	до 0.015	до 0.02	21.5 - 23.5	до 0.1	0.15 - 0.4	4.6 - 5.3	до 0.1	Ca, Ce - расчет

Техническая характеристика

Фехралевый сплав марки Х23Ю5 сочетает в себе высокое электрическое сопротивление и низкий температурный коэффициент электросопротивления, высокую тензочувствительность, пластичность и термостойкость. Благодаря отличной коррозионной стойкости возможна эксплуатация при температуре до 1330°C в окислительной, серной и других агрессивных средах. При этом сплав не склонен к проявлениям язвенной коррозии. Высокая устойчивость к окислению и коррозии в наиболее распространенных агрессивных атмосферах обусловлена от природы химически инертным толстым поверхностным защитным слоем оксида Al_2O_3 . Сплавы никеля, в отличие от фехрала, невозможно использовать в не содержащей кальция серной среде при 800-950 °С, поскольку при одновременном окислении и карбюрации на их поверхности происходит разрушение защитного оксида с образованием «зеленой плесени». Сплав марки Х23Ю5, как и все фехрала, хрупок, склонен к провисанию при высоких температурах и не выдерживает резких динамических нагрузок.

Технологические преимущества:

- продолжительность службы сплава при температуре 1300°C составляет не менее 100 часов;
- более высокая температура эксплуатации – до 1330°C – в сравнении с 1200°C у Х20Н80 (чем
- больше величина диаметра фехралевой проволоки или толщина проката, тем выше предел его максимальной рабочей температуры);
- более высокая температура плавления– 1500°C – в сравнении с 1400°C у Х20Н80;
- меньшая плотность – 7.15 г/см³ в сравнении с 8.4 г/см³ у Х20Н80 – позволяет экономить до
 - 18% на массе;
 - лучшая устойчивость к коррозии в воздухе, вакууме, аргоне, серосодержащих/углеродсодержащих средах, водяном паре;
 - способность работать в контакте с высоко глиноземной керамикой;
 - высокий предел текучести позволяет использовать проволоку минимального диаметра в соединении, меньше изменяется квадратное поперечное сечение при наматывании;
- более высокое значение показателя удельного электросопротивления – 1.39 Ом*мм²/м – в сравнении с 1.12 Ом*мм²/м у Х20Н80.

- электрическое сопротивление не зависит от различных форм воздействия температур и холодной деформации.
- уникальная корреляция прочности на разрыв или предела текучести (~0.5) позволяет использовать сферическую упруго пластическую деформацию.

Литейно-технологические свойства

Температура плавления : 1500 °С

Таблица 221. Механические свойства Х23Ю5 при T=20 °С

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ
-	МПа	МПа	%	%
Проволока, ГОСТ 12766.1-90	740	-	12	-
Лента, ГОСТ 12766.2-90	736	-	14	-
Твердость Х23Ю5				
HV 10 ⁻¹ = 180 - 250 МПа				

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

НВ - Твердость по Бринеллю, [МПа]

Таблица 222. Физические свойства Х23Ю5

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	-	-	-	7250	-	1350
100	-	15	-	-	480	-

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

C - Удельная теплоемкость материала, [Дж/(кг·град)]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: сортовой прокат, прутки, проволока, лист, лента, полоса.

Применение

Из сплава X23Ю5 изготавливают:

- элементы нагрева для высокотемпературных промышленных, муфельных и лабораторных печей, бытовых приборов и аппаратов, реостатов и свечей накаливания с предельной рабочей температурой 1300 °С;
- резистивные элементы;
- балластные реостаты;
- компоненты электронагревательных устройств с улучшенной крипоустойчивостью, пластичностью (и после длительной эксплуатации тоже), стабильностью формы и увеличенным сроком эксплуатации;
- электронные элементы сопротивления;
- ответственные детали внутри вакуумных приборов.

IV.5.16. Сплав X23Ю5T

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 12766.4-77 Прокат сортовой из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.1-90 Проволока из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия

ГОСТ 12766.2-90 Лента из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.3-90 Сплавы калиброванные прецизионные с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.4-90 Прокат сортовой из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 12766.5-90 Лента плющенная из прецизионных сплавов с высоким

электрическим сопротивлением. Технические условия.

ГОСТ 2590-2006 Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. Сортамент.

ГОСТ 7417-75 Сталь калиброванная круглая. Сортамент.

ГОСТ 19903-74 Прокат листовой горячекатаный. Сортамент.

ГОСТ 19904-74 Прокат листовой холоднокатаный. Сортамент.

ОСТ 3-1686-90 Заготовки из конструкционной стали для машиностроения. Общие технические условия.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

Прецизионный сплав (фехраль) с высоким электрическим сопротивлением на основе Fe-Cr-Al, легированный Ni, Mn, Ti, Ce, Ca.

Таблица 223. Химический состав сплава X23Ю5T (%)

Fe	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ce	Ti	Al	Ca	-
Ос-нова	до 0.5	до 0.3	до 0.6	до 0.015	до 0.03	22-24	до 0.1	0.2 - 0.5	5-5.8	до 0.1	Ca, Ce - расчет

Техническая характеристика

Сплав Х23Ю5Т сегодня практически вытеснил из производства многие другие марки фехрالي (Х15Ю5, Х27Ю5Т и т.д.), отличаясь при сопоставимой себестоимости набором более высоких эксплуатационных характеристик.

Фехраль Х23Ю5Т – твердый, хрупкий, термостойкий, жаропрочный, коррозионно-стойкий сплав, тяжело поддающийся механической обработке. Характеризуется высоким удельным электрическим сопротивлением (1,2-1,3 мкОм·м). Предельная рабочая температура – 1400°С с продолжительным сроком эксплуатации; максимальная рабочая температура нагревательного элемента в воздушной среде регламентируется в зависимости от диаметра изготавливаемой проволоки и толщины проката, а именно:

0,2 мм. – 950 °С;

0,4 мм. – 1075 °С;

1,0 мм. – 1225 °С;

3,0 мм. – 1350 °С;

6,0 мм. и более – 1400 °С.

Основные достоинства фехрالي Х23Ю5Т:

- низкая плотность;
- высокое омическое сопротивление;
- малый температурный коэффициент электросопротивления;
- высокие характеристики термостойкости и жаропрочности;
- устойчивость к коррозии: способность сплава сопротивляться окислению при повышенных температурах, независимо от среды эксплуатации (вакуум, инертные газы, кислород, водяной пар, водородная, серная и т.д.);
- несклонность к язвенной коррозии;
- возможность применения в контакте с высоко глиноземной керамикой;
- наличие магнитных свойств;

- возможность долгосрочной эксплуатации без утраты полезных свойств;
- эксплуатационную доступность вследствие относительно низкой себестоимости.

Фехраль Х23Ю5Т – сплав, эксплуатационные свойства которого по ряду технических параметров сопоставимы с нихромом, но имеющий гораздо меньшую себестоимость за счет отсутствия никеля в своей химической основе.

Фехраль Х23Ю5Т применяется наряду с нихромовыми сплавами групп Х20Н80 и Х15Н80, будучи в производстве существенно экономичнее сплавов на никелевой и железоникелевой основе.

Преимущества сплава Х23Ю5Т в сравнении с нихромом Х20Н80-Н:

- более высокая температура эксплуатации – до 1400 °С, против 1200 °С для Х20Н80-Н;
- более высокая температура плавления – 1500 °С, против 1400 °С для Х20Н80-Н;
- меньшая плотность – 7,21 г/см³ против 8,4 г/см³ для Х20Н80-Н, что позволяет экономить до 16% на весе;
- лучшая коррозионная стойкость в воздушной среде, вакууме, аргоне, серосодержащих, углеродсодержащих средах, водяном паре;
- более высокий показатель электросопротивления – 1,39 Ом·мм² /м против 1,12 для Х20Н80-Н.

Недостатки сплава Х23Ю5Т:

- невысокая пластичность при высокой твердости;
- склонность к провисанию при повышенных температурах;
- неустойчивость к воздействию резких динамических нагрузок;
- наличие рекристаллизационного порога в интервале температур 600-650 °С, что затрудняет использование данного сплава в термо циклическом режиме;
- необходимость осуществлять намотку спиралей с нагреванием (во избежание микротрещин) при температуре для проволоки $\varnothing \leq 3,0$ мм – 300 °С, для проволоки $\varnothing 3,0...10,0$ мм – 400 °С.

Литейно-технологические свойства

Температура плавления : 1500 °С.

Таблица 224. Механические свойства Х23Ю5Т при T=20 °С

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ
-	МПа	МПа	%	%
Лента, ГОСТ 12766.2-90	765	-	12	-
Твердость Х23Ю5Т, Пруток ГОСТ 12766.1-90	HV 10 ⁻¹ = 200 - 250 МПа			

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

HV - Твердость по Бринеллю, [МПа]

Таблица 225. Физические свойства Х23Ю5Т

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	-	-	-	7210	-	1390
100	-	15	-	-	480	-

Обозначения:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

E - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

C - Удельная теплоемкость материала, [Дж/(кг·град)]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: слитки, поковки, сортовой прокат, прутки, проволока, нить, лента, полоса.

Применение

Сплав Х23Ю5Т применяют для изготовления:

- нагревателей с предельной рабочей температурой 1400°С для мощных высокотемпературных плавильных электропечей, печей обжига и сушки;
- элементов сопротивления;
- резистивных комплектующих;
- реостатов;
- спиралей электронагревателей промышленного и бытового электротермического оборудования и т.п.

**IV.5.17. Сплав X27Ю5Т (ЭИ626;
X27Ю5Т-Н-ВИ)**

ГОСТ 10994-74 Сплавы
прецизионные. Марки.

ГОСТ 12766.4-77 Прокат сортовой из
прецизионных сплавов с высоким
электрическим сопротивлением.
Технические условия.

ГОСТ 12766.1-90 Проволока из
прецизионных сплавов с высоким
электрическим сопротивлением.
Технические условия

ГОСТ 12766.2-90 Лента из
прецизионных сплавов с высоким
электрическим сопротивлением.
Технические условия.

ГОСТ 12766.3-90 Сплавы
калиброванные прецизионные с
высоким электрическим
сопротивлением. Технические
условия.

ГОСТ 12766.4-90 Прокат сортовой из
прецизионных сплавов с высоким
электрическим сопротивлением.
Технические условия.

ГОСТ 12766.5-90 Лента плющенная из
прецизионных сплавов с высоким
электрическим сопротивлением.
Технические условия.

ГОСТ 2590-2006 Прокат сортовой
стальной горячекатаный круглый.
Сортамент.

ГОСТ 7417-75 Сталь калиброванная
круглая. Сортамент.

ТУ 14-11-245-88 Профили стальные
фасонные высокой точности.
Технические условия.

Прецизионный сплав (фехраль) с
высоким электрическим
сопротивлением на основе Fe-Cr-Al,
легированный Ni, Mn, Ti, Ba, Ce, Ca.

Техническая характеристика

Сплав X27Ю5Т относится к группе феррохромалей (суперфехраль, еврофехраль). Является ферромагнитным сплавом, имея ферритную структуру. Данный материал отличается высокой термостойкостью и жаропрочностью. При этом показатели термостойкости сохраняются при эксплуатации сплава в условиях вакуума, в окислительной, водородной и аргоновой атмосфере, а также в серосодержащих средах. Омическое сопротивление достигает высокого значения, которое составляет около 1,3 Ом×мм²/м. Характеристики жаростойкости повышены, сплав может эксплуатироваться при температуре, которая не превышает рабочую (максимум 950°С). Такой материал начинает плавиться при 1450°С. Коррозионно стоек, не склонен к язвенной коррозии, хорошо работает в контакте с высокоглиноземистой керамикой. Однако X27Ю5Т, характеризуясь высокой степенью твердости и хрупкости, мало пластичен, плохо поддается механической обработке, не выдерживает резких динамических нагрузок. При высоких температурах склонен к провисанию.

Область практического использования фехрали марки X27Ю5Т во многом совпадает с нихромовыми сплавами X20Н80 и X15Н80 в плане термостойкости и жаропрочности. Его основным преимуществом перед сплавами на никелевой и железоникелевой основе является отсутствие в химическом составе дорогостоящего Ni, что обуславливает значительно меньшую себестоимость. Еще одним фактором экономичности является меньшая удельная масса и более высокое удельное сопротивление в сравнении с нихромом, что обеспечивает возможность уменьшить массу нагревательного материала на 20-30% при той же длине и диаметре проволоки (толщине ленты) при более равномерном прогреве по длине. Уменьшение массы приводит к снижению финансовых затрат за счет оптимизации размерных параметров креплений, фиксаторов, и т.д.

Современная технология производства X27Ю5Т обеспечивает однородность его структуры, равномерность защитного оксидного слоя и его высокое молекулярное притяжение к поверхности. Благодаря сочетанию с уменьшением содержания углерода до уровня ≤0.03% удается достичь высокого уровня пластичности проволоки обеспечить отсутствие склонности к интергранулярной коррозии при высокой температуре, высокий предел крипа, а также устойчивость к окислению. Al₂O₃ образуется на поверхности сплава, служа хорошим изолятором, и предотвращает коррозию более эффективно в сравнении с оксидом хрома Cr₂O₃ на поверхности нихрома.

Таблица 226. Химический состав сплава X27Ю5Т (%)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ce	Ti	Al	Ba	Ca	-
Ос- нова	до 0.05	до 0.6	до 0.3	до 0.6	до 0.015	до 0.02	26 -28	до 0.1	0.15 - 0.4	5 - 5.8	до 0.5	до 0.1	Ca, Ce, Ba - расчет

Преимущества:

- высокая температура эксплуатации – до 1350°C в сравнении с 1200°C для Х20Н80.
- высокая температура плавления – 1500°C в сравнении с 1400°C для Х20Н80.
- невысокая плотность – 7.10 г/см³ в сравнении с 8.4 г/см³ у Х20Н80 позволяет сэкономить до 18% на массе.
- лучшая устойчивость к коррозии в воздухе, вакууме, аргоне, серосодержащей углеродсодержащей среде, водяном паре.
- высокий предел текучести позволяет использовать проволоку минимального диаметра в соединении, меньше изменяется квадратное поперечное сечение при наматывании.
- высокое удельное сопротивление – 1.39 Ом*мм²/м в сравнении с 1.12 Ом*мм²/м у Х20Н80.
- электрическое сопротивление не зависит от различных форм воздействия температур и холодной деформации.
- уникальная корреляция прочности на разрыв или предела текучести (~0.5) позволяет использовать сферическую упруго пластическую деформацию.

Технологические свойства

Свариваемость: без ограничений*.

Флокеночувствительность: не чувствительна.

Склонность к отпускной хрупкости: склонна.

**Примечание: сварка производится без подогрева и без последующей термообработки.*

Литейно-технологические свойства

Температура плавления : 1510 °С.

Таблица 227. Механические свойства Х27Ю5Т при Т=20 °С

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ
-	МПа	МПа	%	%
Лента, ГОСТ 12766.2-90	785	-	10	-
Твердость Х27Ю5Т, ГОСТ 12766.1-90		НВ 10 ⁻¹ = 200 - 250 МПа		

Обозначения:

σ_b - Предел кратковременной прочности, [МПа]

σ_T - Предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), [МПа]

δ_5 - Относительное удлинение при разрыве, [%]

НВ - Твердость по Бринеллю, [МПа]

Таблица 228. Физические свойства Х27Ю5Т

Т	Е 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	С	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	-	-	-	7190	-	1360
100	-	15	-	-	500	1365
200	-	-	-	-	-	1370
300	-	-	-	-	-	1375
400	-	-	-	-	-	1380
500	-	-	-	-	-	1400
600	-	-	-	-	-	1400
700	-	-	-	-	-	1410
800	-	-	-	-	-	1410
900	-	-	-	-	-	1420

Обозначения:

Т - Температура, при которой получены данные свойства , [Град]

Е - Модуль упругости первого рода, [МПа]

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения , [1/Град]

ρ - Плотность материала , [кг/м³]

С - Удельная теплоемкость материала, [Дж/(кг·град)]

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м]

Формы выпуска: слитки, поковки, сортовой прокат, прутки, проволока, нить, лента, полоса.

Применение

Сплав Х27Ю5Т применяют для изготовления:

- электронагревательных элементов промышленных и лабораторных печей с предельной рабочей температурой до +1400°С;
- элементов сопротивления;
- резистивных комплектующих;
- реостатов;
- нагревательных элементов с улучшенной крипо устойчивостью и длительным периодом эксплуатации для бытовых нагревательных приборов и прочих электроаппаратов теплового действия.

IV.6. Сверхпроводящие сплавы

IV.6.1. Сплавы 35БТ, 65БТ

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 22265-76 - Материалы проводниковые. Термины и определения.

ГОСТ 23869-79 Материалы сверхпроводящие. Термины и определения.

ГОСТ Р МЭК 60317-0-1-2013 Технические условия на обмоточные провода конкретных типов.

ТУ 48-4-521-89 Проволока ниобиевая конденсаторная. Технические условия.

ТУ 14-11-245-88. Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

ОСТ1.900023-71 Сплавы ниобиевые деформируемые. Марки.

35БТ – прецизионный сверхпроводящий сплав на основе Ti-Nb, легированный Zr.

65БТ – прецизионный сверхпроводящий сплав на основе Ti-Nb- Fe, легированный Zr.

Таблица 229. Химический состав сплава 35БТ (%)

Fe	C	Ti	Zr	Nb
Остаток	до 0.03	60 - 64	1.7 - 4.3	33.5 - 36.5

Таблица 230. Химический состав сплава 65БТ (%)

Fe	C	Ti	Zr	Nb
Остаток	до 0.03	22.0-26.0	8.5-11.5	63 - 68

Техническая характеристика

Сплавы марок 35БТ и 65БТ относятся к группе сверхпроводников I рода*, имеющих высокое значение j_k и H_{k2}^{**} .

**Примечание: все сверхпроводящие материалы подразделяются на категории сверхпроводников I и II рода. К первой относятся сверхпроводники, обладающие положительной поверхностной энергией на границе раздела сверхпроводящей и нормальной фаз, сверхпроводящему состоянию которого соответствует идеальный диамагнетизм. Ко второй - сверхпроводники, обладающие отрицательной поверхностной*

энергией на границе раздела сверхпроводящей и нормальной фаз и сохраняющие бесконечную удельную проводимость после частичного проникновения магнитного потока в объем сверхпроводника. (Источник - ГОСТ 23869-79 Материалы сверхпроводящие. Термины и определения.).

****Примечание:** j_k - критическая плотность тока в заданном поперечном поле при температуре ниже критической для перехода из сверхпроводящего в нормальное состояние (T_k), H_{k2} -показатель верхнего критического поля.

Критическая плотность тока в поперечном магнитном поле $3,2 \cdot 10^6$ А/м при $4,2 \text{ К} = (3-6) \cdot 10^6$ А/см. Добавка циркония придаёт этим материалам гибкость и вязкость, благодаря чему они становятся пригодными для изготовления тончайшей проволоки и фольги.

Сплав 35БТ характеризуется высоким уровнем относительного удлинения и сужения, удельной ударной вязкости, которые он сохраняет при низких температурах ($77-20^\circ\text{С}$), а также слабой зависимостью сверхпроводящих свойств от толщины. Критическая температура перехода (T_k) составляет $8,0 \text{ К} (-263,3^\circ\text{С})$.

Сплав 65БТ содержит 22-26% Ti; 63-68% Nb; 8,5-11,5% Zr и имеет критическую температуру перехода $9,7 \text{ К} (-263,3^\circ\text{С})$. Для $T = 4,2 \text{ К}$ критические значения плотности тока составляют $2,8 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$, напряженность магнитного поля $(6-7,2) \cdot 10^6 \text{ А/м}$.

Сплав 65БТ обладает наиболее высокой j_k и H_{k2} , а также высоким пределом текучести и прочности при растяжении и широко применяется для изготовления внутренних секций соленоидов.

Оба сплава допустимо подвергать горячей деформации в строго установленном интервале температур и холодному волочению до диаметра $0,27 \text{ мм}$ с применением специальных промежуточных термических обработок. Из них можно изготавливать тонкую проволоку, ленту, сверхпроводящие композиционные материалы с большим количеством жил (до 361). Тончайшую проволоку из сплавов 35БТ и 65БТ обычно омедняют и покрывают слоем изолирующего лака.

Формы выпуска: фасонный прокат, прутки, лента, фольга, проволока, нить, сверхпроводящие композиционные материалы.

Применение:

С применением сплавов 35БТ и 65БТ изготавливают:

- сверхпроводящие экраны магнитного поля;
- обмотки мощных генераторов, магнитов большой мощности (например, большой адронный коллайдер, поезда на магнитной подушке);
- магнитные насосы, позволяющие генерировать магнитные поля высочайшей напряженности;
- криогенные гироскопы;
- туннельные диоды (для ЭВМ и других электронных устройств);
- токопроводы сверхпроводящих магнитных систем;
- внутренние секции соленоидов;
- поставляемые в термообработанном состоянии сверхпроводящие композиционные материалы широкого сортамента (проволока, лента, трубка) с большим числом (до 1000) тончайших (до $0,007 \text{ мм}$) сверхпроводящих жил при заданном коэффициенте заполнения $S_{сп}/S_0$.

Поскольку данные сплавы характеризуются высоким уровнем удельного электросопротивления в нормальном состоянии, они также могут быть рекомендованы для изготовления тепловых ключей, используемых с целью отключения сверхпроводящих магнитных устройств.

IV.6.2. Сплав БТЦ-ВД

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 22265-76 - Материалы проводниковые. Термины и определения.

ГОСТ 23869-79 Материалы сверхпроводящие. Термины и определения.

ГОСТ Р МЭК 60317-0-1-2013 Технические условия на обмоточные провода конкретных типов.

ТУ 48-4-521-89 Проволока ниобиевая конденсаторная. Технические условия.

ТУ 14-11-245-88. Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

ОСТ1.900023-71 Сплавы ниобиевые деформируемые. Марки.

БТЦ-ВД – прецизионный сверхпроводящий сплав на основе Nb, легированный Zr, Ti.

Таблица 231. Химический состав сплава БТЦ-ВД (%)

C	N	Nb	Ti	Zr	O
до 0.03	до 0.005	98.76 - 99.73	0.07 - 0.2	0.2 - 1	до 0.005

Техническая характеристика

Сплав БТЦ-ВД, изготавливается методом вакуумно-дуговой выплавки. Критический ток на единицу ширины холоднокатаной ленты толщиной 20 мкм и шириной 90-100 мм не ниже (8,5-9,0)·10 А/м, температура сверхпроводящего перехода 8,5-9,0 К, временное сопротивление разрыву 100-110 Н/мм. Сплав устойчив к коррозии в воздушной атмосфере и химически агрессивных средах.

Формы выпуска: фасонный прокат, лента, прутки, проволока, нить.

Применение

Сплав БТЦ-ВД применяют для изготовления:

- сверхпроводниковых топологических генераторов коммутаторов в системах ввода и вывода энергии сверхпроводящих магнитов;
- различных криогенных конструкций;
- аппаратов формирования магнитных полей;
- томографов (медицинских), спектрографов, детекторов столкновения частиц;
- сверхпроводящих композиционных материалов, используемых в различных промышленных отраслях.

IV.6.3. Сплав 70ТМ-ВД

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 22265-76 - Материалы проводниковые. Термины и определения.

ГОСТ 23869-79 Материалы сверхпроводящие. Термины и определения.

ГОСТ Р МЭК 60317-0-1-2013 Технические условия на обмоточные провода конкретных типов.

ТУ 14-11-245-88. Профили стальные фасонные высокой точности. Технические условия.

ГОСТ 19807-91 Титан и сплавы титановые деформируемые. Марки.

ОСТ 90013-81 Сплавы титановые. Марки.

ОСТ1 90027-71 Лента из титановых сплавов. Технические условия.

Прецизионный сверхпроводящий сплав на основе Ti-Mo, легированный Fe.

Таблица 232. Химический состав сплава 70ТМ-ВД (%)

Fe	C	Mo	Ti
до 2.5	до 0.03	24 - 26	73.5 - 76

Техническая характеристика

Термостойкий сверхпроводящий сплав 70ТМ-ВД, изготавливается методом вакуумно-дуговой выплавки. Обладает узким сверхпроводящим переходом при 4,5 К, ширина не более 0,2 К, верхним критическим полем (0,2±0,02) Т, а также высоким удельным электросопротивлением 1,0 мКОм·м, слабо изменяющимся с температурой (относительное изменение его в диапазоне от -16 до +24 К не превышает 30%). Изготавливаемая проволока диаметром 0,25-0,35 мм покрывается медной оболочкой и слоем защитного лака.

Формы выпуска: фасонный прокат, лента, прутки, проволока, нить, сверхпроводящие композиционные материалы.

Применение

Сплав 70ТМ-ВД применяют для изготовления:

- датчиков температуры;
- уровнемеров жидкого гелия;
- различных криогенных конструкций;
- аппаратов формирования магнитных полей;
- сверхпроводящих композиционных материалов, используемых в различных промышленных отраслях.

IV.7. Термобиметаллы. Сплавы прецизионные, составляющие термобиметаллов.

IV.7.1. ТБ 200/113 (ТБ 2013, ТБ 36)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 10533-86 Лента холоднокатаная из термобиметаллов. Технические условия.

Таблица 233. Марка ТБ и марки составляющих сплавов

Марка термобиметалла	Марки составляющих сплавов	
	Активный слой	Пассивный слой
ТБ 200/113 (ТБ 2013, ТБ 36)	75ГНД	36Н

Таблица 234. Химический состав по ГОСТ 10994-74

Марки	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Fe
75ГНД	≤0.05	≤ 0.5	Основа	≤ 0.02	≤ 0.03	-	14.0-16.0	9.5-11.0	≤ 0.8
36Н	≤0.05	≤ 0.30	0.3-0.6	≤0.02	≤0.02	≤ 0.15	35.0-37.0	-	Основа

Таблица 235. Физические свойства ленты по ГОСТ 10533-86

Марка термобиметалла	Удельный изгиб			Коэффициент чувствительности			Удельное электрическое сопротивление	
	Но-мин. А·10 ⁶ , °С ⁻¹	Пред.откл., %, по классам		Номин. М·10 ⁶ , °С ⁻¹	Пред.откл., %, по классам		Номин. Ом·м 10 ⁶	Пред.откл., %
		I	II		I	II		
ТБ 200/113 А	18.9	± 5	± 8	-	-	-	1,13	± 5
ТБ 200/113 Б	19.7	± 5	± 8	-	-	-	1,13	± 4

Примечание: предельные отклонения удельного изгиба и коэффициента чувствительности для ленты I класса даны после стабилизирующей термической обработки, при этом номинальные значения не должны быть ниже чем на 3-5% и устанавливаются по согласованию изготовителя с потребителем.

Техническая характеристика

Термобиметалл с высоким коэффициентом чувствительности (30-36)·10⁻⁶, °С⁻¹, с высоким удельным электрическим сопротивлением (1,08-1,18) Ом· мм²/м

Формы выпуска: лента, фольга, пруток, проволока

Применение

Для термочувствительных элементов приборов (тепловых реле, предохранителей, термометров и т.д.)

IV.7.2. ТБ 107/71 (ТБ 1132, ТБ 32)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 10533-86 Лента холоднокатаная из термометаллов. Технические условия.

Таблица 236. Марка ТБ и марки составляющих сплавов

Марка термометалла	Марки составляющих сплавов	
	Активный слой	Пассивный слой
ТБ 107/71 (ТБ 1132, ТБ 32)	24НХ	42Н

Таблица 237. Химический состав по ГОСТ 10994-74

Марки	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Fe
24НХ	0.25-0.35	0.15-0.30	0.3-0.6	≤ 0.02	≤ 0.02	2.0-3.0	23.0-35.0	-	Основа
42Н	≤ 0.03	≤ 0.30	≤ 0.4	≤ 0.02	≤ 0.02	-	41.5-43.0	-	Основа

Таблица 238. Физические свойства ленты по ГОСТ 10533-86

Марка термометалла	Удельный изгиб			Коэффициент чувствительности			Удельное электрическое сопротивление	
	Но-мин. А·10 ⁶ , °С ⁻¹	Пред.откл., %, по классам		Номин. М·10 ⁶ , °С ⁻¹	Пред.откл., %, по классам		Номин. Ом·м 10 ⁶	Пред.откл., %
		I	II		I	II		
ТБ 107/71	19.7	± 5	± 9	17.5	± 5	± 10	1,13	± 4

Техническая характеристика

Термометалл со средним коэффициентом чувствительности (16-9)·10⁻⁶, °С⁻¹, со средним удельным электрическим сопротивлением (0,68-0,74) Ом·мм²/м

Формы выпуска: лента, фольга, прутки, проволока

Применение

Для термочувствительных элементов приборов (реле-регуляторов, импульсных датчиков, предохранителей и т.д.).

IV.7.3. ТБ 160/122 (ТБ 1613, ТБ 37)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 10533-86 Лента холоднокатаная из термометаллов. Технические условия.

Таблица 239. Марка ТБ и марки составляющих сплавов

Марка термометалла	Марки составляющих сплавов	
	Активный слой	Пассивный слой
ТБ 160/122 (ТБ 1613, ТБ 37)	75ГНД	45НХ

Таблица 240. Химический состав по ГОСТ 10994-74

Марки	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Fe
75ГНД	≤ 0.05	≤ 0.5	основа	≤ 0.02	≤ 0.03	-	14.0-16.0	9.5-11.0	≤ 0.8
45НХ	≤ 0.05	0.15-0.30	0.4-0.6	≤ 0.02	≤ 0.02	5.0-6.5	44.0-46.0	-	основа

Таблица 241. Физические свойства ленты по ГОСТ 10533-86

Марка термометалла	Удельный изгиб			Коэффициент чувствительности			Удельное электрическое сопротивление	
	Но-мин. А·10 ⁶ , °С ⁻¹	Пред.откл., %, по классам		Номин. М·10 ⁶ , °С ⁻¹	Пред.откл., %, по классам		Номин. Ом·м 10 ⁶	Пред.откл., %
		I	II		I	II		
ТБ 160/122 А	14,1	± 5	± 7	-	-	-	1,22	± 4
ТБ 160/122 Б	15.8	± 5	± 8	-	-	-	1,22	± 4

Примечание: предельные отклонения удельного изгиба и коэффициента чувствительности для ленты I класса даны после стабилизирующей термической обработки, при этом номинальные значения не должны быть ниже чем на 3-5% и устанавливаются по согласованию изготовителя с потребителем.

Техническая характеристика

Термобиметалл с высоким коэффициентом чувствительности $(23-28) \cdot 10^{-6}$, °C⁻¹, с высоким удельным электрическим сопротивлением (1,18-1,27) Ом·мм²/м

Формы выпуска: лента, фольга, пруток, проволока

Применение

Для термочувствительных элементов, нагреваемых электрическим током приборов (автоматов защиты сети, реле и т.д.)

IV.7.4. ТБ 103/70 (ТБ 1032, ТБ 52)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 10533-86 Лента холоднокатаная из термобиметаллов. Технические условия.

Таблица 242. Марка ТБ и марки составляющих сплавов

Марка термобиметалла	Марки составляющих сплавов	
	Активный слой	Пассивный слой
ТБ 103/70 (ТБ 1032, ТБ 52)	19НХ	42Н

Таблица 243. Химический состав по ГОСТ 10994-74

Марки	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Fe
19НХ	≤0.08	0.2-0.4	0.3-0.6	≤0.02	≤0.02	10.0-12.0	18.0-20.0	-	основа
42Н	≤0.03	≤0.30	≤0.4	≤0.02	≤0.02	5.0-6.5	44.0-46.0	-	основа

Таблица 244. Физические свойства ленты по ГОСТ 10533-86

Марка термобиметалла	Удельный изгиб			Коэффициент чувствительности			Удельное электрическое сопротивление	
	Но-мин. А·10 ⁶ , °C ⁻¹	Пред.откл., %, по классам		Номин. М·10 ⁶ , °C ⁻¹	Пред.откл., %, по классам		Номин. Ом·м 10 ⁶	Пред.откл., %
		I	II		I	II		
ТБ 103/70	10.3	± 5	± 9	17.0	± 5	± 10	0.70	± 5

Примечание: предельные отклонения удельного изгиба и коэффициента чувствительности для ленты I класса даны после стабилизирующей термической обработки, при этом номинальные значения не должны быть ниже чем на 3-5% и устанавливаются по согласованию изготовителя с потребителем.

Техническая характеристика

Термобиметалл со средним коэффициентом чувствительности $(15,5-18,5) \cdot 10^{-6}, ^\circ\text{C}^{-1}$, со средним удельным электрическим сопротивлением $(0,67-0,73) \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$

Формы выпуска: лента, фольга, пруток, проволока

Применение

Для термочувствительных элементов приборов (автоматов защиты сети, реле и т.д.)

IV.7.5. ТБ 148/79 (ТБ 1523, ТБ 72)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 10533-86 Лента холоднокатаная из термобиметаллов. Технические условия.

Таблица 245. Марка ТБ и марки составляющих сплавов

Марка термобиметалла	Марки составляющих сплавов	
	Активный слой	Пассивный слой
ТБ 148/79 (ТБ 1523, ТБ 72)	20НГ	36Н

Таблица 246. Химический состав по ГОСТ 10994-74

Марки	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Fe
20НГ	≤ 0.05	0.15-0.30	5.5-6.5	≤ 0.02	≤ 0.02	-	19.0-21.0	-	основа
36Н	≤ 0.05	≤ 0.30	0.3-0.6	≤ 0.02	≤ 0.02	≤ 0.15	35.0-37.0	-	основа

Таблица 247. Физические свойства ленты по ГОСТ 10533-86

Марка термобиметалла	Удельный изгиб			Коэффициент чувствительности			Удельное электрическое сопротивление	
	Но-мин. $A \cdot 10^6,$ $^\circ\text{C}^{-1}$	Пред.откл., %, по классам		Номин. $M \cdot 10^6,$ $^\circ\text{C}^{-1}$	Пред.откл., %, по классам		Номин. $\text{Ом} \cdot \text{м} 10^6$	Пред.откл., %
		I	II		I	II		
ТБ 148/79	14.8	± 5	± 9	23.0	± 5	± 10	0.79	± 4

Примечание: предельные отклонения удельного изгиба и коэффициента чувствительности для ленты I класса даны после стабилизирующей термической обработки, при этом номинальные значения не должны быть ниже чем на 3-5% и устанавливаются по согласованию изготовителя с потребителем.

Техническая характеристика

Термобиметалл с повышенным коэффициентом чувствительности $(21-25) \cdot 10^{-6}, ^\circ\text{C}^{-1}$, с повышенным удельным электрическим сопротивлением $(0,77-0,82) \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$

Формы выпуска: лента, фольга, пруток, проволока

Применение

Для термочувствительных элементов приборов (компенсаторов реле защиты и т.д.)

IV.7.6. ТБ 138/80 (ТБ 1423, ТБ 3)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 10533-86 Лента холоднокатаная из термобиметаллов. Технические условия.

Таблица 248. Марка ТБ и марки составляющих сплавов

Марка термобиметалла	Марки составляющих сплавов	
	Активный слой	Пассивный слой
ТБ 138/80 (ТБ 1423)	24НХ	36Н

Таблица 249. Химический состав по ГОСТ 10994-74

Марки	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Fe
24НХ	0.25-0.35	0.15-0.30	0.3-0.6	≤ 0.02	≤ 0.02	2.0-3.0	23.0-25.0	-	основа
36Н	≤ 0.05	≤ 0.30	0.3-0.6	≤ 0.02	≤ 0.02	≤ 0.15	35.0-37.0	-	основа

Таблица 250. Физические свойства ленты по ГОСТ 10533-86

Марка термобиметалла	Удельный изгиб			Коэффициент чувствительности			Удельное электрическое сопротивление	
	Но-мин. $A \cdot 10^6,$ $^\circ\text{C}^{-1}$	Пред.откл., %, по классам		Номин. $M \cdot 10^6,$ $^\circ\text{C}^{-1}$	Пред.откл., %, по классам		Номин. $\text{Ом} \cdot \text{м} 10^6$	Пред.откл., %
		I	II		I	II		
ТБ 138/80	13.8	± 5	± 9	22.0	± 5	± 10	0.80	± 5

Примечание: предельные отклонения удельного изгиба и коэффициента чувствительности для ленты I класса даны после стабилизирующей термической обработки, при этом номинальные значения не должны быть ниже чем на 3-5% и устанавливаются по согласованию изготовителя с потребителем.

Техническая характеристика

Термобиметалл с повышенным коэффициентом чувствительности $(20-24) \cdot 10^{-6}, ^\circ\text{C}^{-1}$, с повышенным удельным электрическим сопротивлением $(0,77-0,84) \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$

Формы выпуска: лента, фольга, пруток, проволока

Применение

Для термочувствительных элементов приборов (реле-регуляторов, импульсных датчиков, предохранителей и т.д.).

IV.7.7. ТБ 73/57 (ТБ 0831, ТБ 35)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 10533-86 Лента холоднокатаная из термобиметаллов. Технические условия.

Таблица 251. Марка ТБ и марки составляющих сплавов

Марка термобиметалла	Марки составляющих сплавов	
	Активный слой	Пассивный слой
ТБ 73/57 (ТБ 0831, ТБ 35)	24НХ	50Н

Таблица 252. Химический состав по ГОСТ 10994-74

Марки	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Fe
24НХ	0.25-0.35	0.15-0.30	0.3-0.6	≤0.02	≤0.02	2.0-3.0	23.0-25.0	-	основа
50Н	≤0.03	0.15-0.30	0.3-0.6	≤0.02	≤0.02	-	49.0-50.5	≤0.2	основа

Таблица 253. Физические свойства ленты по ГОСТ 10533-86

Марка термобиметалла	Удельный изгиб			Коэффициент чувствительности			Удельное электрическое сопротивление	
	Но-мин. $A \cdot 10^6,$ $^\circ\text{C}^{-1}$	Пред.откл., %, по классам		Номин. $M \cdot 10^6,$ $^\circ\text{C}^{-1}$	Пред.откл., %, по классам		Номин. $\text{Ом} \cdot \text{м} 10^6$	Пред.откл., %
		I	II		I	II		
ТБ 73/57	7.3	± 5	± 7	11.5	± 5	± 7	0.57	± 4.5

Примечание: предельные отклонения удельного изгиба и коэффициента чувствительности для ленты I класса даны после стабилизирующей термической обработки, при этом номинальные значения не должны быть ниже чем на 3-5% и устанавливаются по согласованию изготовителя с потребителем.

Техническая характеристика

Термобиметалл с пониженным коэффициентом чувствительности $(10-13) \cdot 10^{-6}$, °C⁻¹, со средним удельным электрическим сопротивлением (0,55-0,60) Ом·мм²/м

Формы выпуска: лента, фольга, пруток, проволока

Применение

Для термочувствительных элементов с малой величиной изгиба.

IV.7.8. ТБ 129/79 (ТБ 1323, ТБ 1)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 10533-86 Лента холоднокатаная из термобиметаллов. Технические условия.

Таблица 254. Марка ТБ и марки составляющих сплавов

Марка термобиметалла	Марки составляющих сплавов	
	Активный слой	Пассивный слой
ТБ 129/79 (ТБ 1323, ТБ 1)	19НХ	36Н

Таблица 255. Химический состав по ГОСТ 10994-74

Марки	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Fe
19НХ	≤ 0.08	0.2-0.4	0.3-0.6	≤ 0.02	≤ 0.02	10.0-12.0	18.0-20.0	-	основа
36Н	≤ 0.05	≤ 0.30	0.3-0.6	≤ 0.02	≤ 0.02	≤ 0.15	35.0-37.0	-	основа

Таблица 256. Физические свойства ленты по ГОСТ 10533-86

Марка термобиметалла	Удельный изгиб			Коэффициент чувствительности			Удельное электрическое сопротивление	
	Но-мин. А·10 ⁶ , °C ⁻¹	Пред.откл., %, по классам		Номин. М·10 ⁶ , °C ⁻¹	Пред.откл., %, по классам		Номин. Ом·м 10 ⁶	Пред.откл., %
		I	II		I	II		
ТБ 129/79	12.9	± 5	± 9	20.5	± 5	± 10	0.79	± 5

Примечание: предельные отклонения удельного изгиба и коэффициента чувствительности для ленты I класса даны после стабилизирующей термической обработки, при этом номинальные значения не должны быть ниже чем на 3-5% и устанавливаются по согласованию изготовителя с потребителем.

Техническая характеристика

Термобиметалл с повышенным коэффициентом чувствительности $(18,5-22,5) \cdot 10^{-6}, ^\circ\text{C}^{-1}$, с повышенным удельным электрическим сопротивлением $(0,76-0,83) \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$

Формы выпуска: лента, фольга, прутки, проволока

Применение

Для термочувствительных элементов приборов (реле-регуляторов, импульсных датчиков, предохранителей и т.д.).

IV.7.9. ТБ 95/62 (ТБ 1031, ТБ 68)

ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки.

ГОСТ 10533-86 Лента холоднокатаная из термобиметаллов. Технические условия.

Таблица 257. Марка ТБ и марки составляющих сплавов

Марка термобиметалла	Марки составляющих сплавов	
	Активный слой	Пассивный слой
ТБ 95/62 (ТБ1031, ТБ68)	20НГ	46Н

Таблица 258. Химический состав по ГОСТ 10994-74

Марки	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Fe
20НГ	≤0.05	0.15-0.3	5.5-6.5	≤ 0.02	≤ 0.02	-	19-21	-	Основа
46Н	≤0.05	≤ 0.30	≤0.4	≤0.02	≤0.02	≤ 0.15	45.5-46.5	-	52.71-54.5

Таблица 259. Физические свойства ленты по ГОСТ 10533-86

Марка термобиметалла	Удельный изгиб			Коэффициент чувствительности			Удельное электрическое сопротивление	
	Но-мин. А·10 ⁶ , °C ⁻¹	Пред.откл., %, по классам		Номин. М·10 ⁶ , °C ⁻¹	Пред.откл., %, по классам		Номин. Ом·м 10 ⁶	Пред.откл., %
		I	II		I	II		
ТБ 95/62 (ТБ1031, ТБ68)	15-18	-	-	-	-	-	0.60-0.66	± 5

Примечание: предельные отклонения удельного изгиба и коэффициента чувствительности для ленты I класса даны после стабилизирующей термической обработки, при этом номинальные значения не должны быть ниже чем на 3-5% и устанавливаются по согласованию изготовителя с потребителем.

Техническая характеристика

Термобиметалл со средним коэффициентом чувствительности $(15-18) \cdot 10^{-6}$, °C⁻¹, со средним удельным электрическим сопротивлением (0,60-0,66) Ом·мм²/м

Формы выпуска: лента, фольга, пруток, проволока

Применение

Для термочувствительных элементов приборов (реле, предохранителей и т.д.)

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС И ПЕРСПЕКТИВЫ

В настоящее время, в условиях экономических санкций со стороны США и коллективного Запада по отношению к нашей стране, назрела особенно острая необходимость в развитии технологий импортозамещения и создания собственных научно-технологических инноваций.

В полной мере данная тенденция затрагивает и металлургическую отрасль, в частности, сферу разработки и совершенствования прецизионных сплавов, широко применяемых в электроэнергетике, атомной, космической, судостроительной, машиностроительной, приборостроительной, химической, нефтехимической и газовой промышленности, особенно на фоне ужесточающихся требований к освоению выпуска средств и комплексных систем автоматизации с повышенными характеристиками эксплуатационных показателей, надежности и долговечности.

Стремительное развитие и совершенствование потребляющих промышленных отраслей обуславливает потребность в усложнении состава прецизионных сплавов и расширении спектра их функциональных возможностей. Так, если еще в 70-80 годы минувшего XX в. для удовлетворения потребностей промышленности было вполне достаточно прецизионных сплавов с заданными свойствами по пяти-шести физико-техническим параметрам, в настоящее время количество таких параметров исчисляется десятками, а иногда – сотнями.

Выдвигаются требования к повышению точности химсостава и гарантированной стабильности рабочих свойств в широчайшем диапазоне условий эксплуатации. При этом сплавов традиционных рецептур на базе Fe-Co-Ni уже недостаточно для удовлетворения все возрастающих требований промышленного сектора.

В последние десятилетия создано множество прецизионных композиций на основе Cr-Ti-Mn-Nb с добавлением в ряде случаев редкоземельных химических элементов. К настоящему времени в чернометаллургической отрасли выпускается более 1000 марок прецизионных сплавов различных групп, накоплен и систематизирован богатый объем информации по технологии обработки, показателям качества, особенностям применения данных материалов в тех или иных рабочих режимах.

Однако поступательный ход научно-технического прогресса не позволяет останавливаться на достигнутом. Вот почему столь актуальными являются научные исследования, направленные на изучение и практическое применение

возможных состояний, глубины составов и выявление ранее неизвестных полезных свойств уже существующих прецизионных сплавов, а также создание все новых композиций.

Разработка каждого нового прецизионного сплава начинается с изучения диаграммы «состав – свойство». В случаях, когда требуется добиться необходимого сочетания целого комплекса полезных качеств, сплавы оптимизируют одновременно по нескольким параметрам. Еще одним эффективным методом при создании прецизионных соединений является физическое прогнозирование, основанное на изучении физико-механических закономерностей в сплавах различных систем.

VI. СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Литература

1. В.В.Русаненко, А.Ф.Еднерал, О.Н.Леденева. Эливарные и механические свойства мартенситно-аустенитных сплавов. // *Металловедение и термическая обработка*. 1996 №7. Стр.27-30.
2. С.Г.Хаютин, И.П. Голямина. Магнитострикционные сплавы на основе никеля. // *Металловедение и термическая обработка*. 1997 №3. Стр. 20-23.
3. П.Л.Потапов, С.Ю.Макушев, В.Б.Дмитриев. Влияние деформации и внешней нагрузки на характеристики обратимого эффекта памяти формы в сплаве 80Г15Д2НЗХ. // *Металловедение и термическая обработка*. 1997 №3. Стр. 16-19.
4. А.Н. Захаров. Физика прецизионных сплавов с особыми тепловыми свойствами. М.1993, стр. 4-10.
5. Прецизионные сплавы. Справочник. Под редакцией Б. В. Молотилова. М. «Металлургия» 1974. – 446 с.
6. П. Гуляев., *Металловедение.*, Изд. 5- ое перераб. Изд-во М. «Металлургия», 1978., 645 с., с ил.
7. Ю. М. Лахтин Леонтьева В. Я. *Материаловедение.* — М.: Машиностроение, 1990. — 320 с.
8. *Технология обработки конструкционных материалов: Учеб. пособие для вузов.* 2-е изд., перераб., доп., Под ред. А. М. Дальского — М.: Машиностроение, 1990. — 352 с.
9. Салли А., Брендз Э. Хром.- Изд. 2-е переработ. и доп. Перев. с англ. М.: *Металлургия*, 1971.- 360 с.
10. *Энциклопедический словарь юного химика/ Сост. В.А.Крицман, В.В.Станцо.- М.: Педагогика, 1982.- 368 с.*
11. *Неорганическая химия. Энциклопедия школьника/ Гл. ред. И.П.Алимарин.- М.: Советская Энциклопедия, 1975.- 384 с.*
12. Арзамасов, Б.Н. *Материаловедение: учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин [и др.]; Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 648 с.*

13. Технология конструкционных материалов: учебное пособие для вузов / Под ред. М.А. Шатерина. –СПб.: Политехника, 2005. – 597 с.
14. Богородицкий Н. П., Пасынков В. В., Тареев Б. М. Электротехнические материалы: Учебник для вузов.. — 7-е изд., перераб. и доп.. — Л.: Энергоатомиздат, 1985. — С. 216.
15. Физические величины: справочник / Под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — С. 444. — 1232 с. — 50 000 экз. — ISBN 5-283-0413-5.
16. Любимов М. Л. Прецизионные сплавы с особыми свойствами теплового расширения и упругости. — М., 1972.
17. Бозорт Р., Ферромагнетизм, пер. с англ., М., 1956; Материалы в машиностроении. Выбор и применение, т. 3, М., 1968.
18. Прецизионные сплавы. Справочник. М.металлургия, 1974, 448 стр. ?
19. Молотиллов Б.В. Прецизионные сплавы. – М.: Металлургия, 1974.
20. Молотиллов Б.В. (ред.) Тепловые и упругие свойства прецизионных сплавов. Тематический сборник научных трудов. — М.: Металлургия, 1986. — 97 с.
21. Бугай Д.Е. Коррозионностойкие сплавы и стали Учебное пособие. - Уфа: УГНТУ, 2003. - 72 с. Классификация коррозионностойких сплавов М.: Наука, 1982. — 120 с.
22. Жуков Л.Л., Племянникова И.М. и др. Сплавы для нагревателей. М: Металлургия, 1985, 144 с.
23. Кекало И.Б., Самарин Б.А. Физическое металловедение прецизионных сплавов. Сплавы с особыми магнитными свойствами. Учебник для вузов. — М.: Металлургия, 1989. — 496 с.
24. Никулин С.А. Материаловедение. Специальные стали и сплавы Учебное пособие. — М.: МИСиС, 2013. — 123 с.
25. Ульянин Е.А., Свистунова Т.В., Левин Ф.Л. Высоколегированные коррозионностойкие сплавы М.: Металлургия, 1987. — 88 с.: ил. — (Защита металлов от коррозии).
26. Лившиц Б.Г., Крапошин В.С., Линецкий Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1980. 320 с.
27. Физическое металловедение. Под ред. Р. Кана, т.1. М.: Издательство «Мир», 1967. 339 с.

28. Кекало И. В., Самарин Б. А. Физическое металловедение прецизионных сплавов. Сплавы с особыми магнитными свойствами:— М.: Металлургия, 1989.
29. Кудрявцев И.В. (общ. ред.) Материалы в машиностроении. Выбор и применение. Справочник в 5 т. — М.: Машиностроение, Том 3. Специальные стали и сплавы.1968. — 448 с.

Онлайн-источники

<http://metallcheckiy-portal.ru/>

<http://www.lasmet.ru/>

<https://www.auremo.org/>

<https://ferromagnon.ru/>

<https://markmet.ru/>

<https://www.c-met.ru/>

<http://m-s-s.ru/>

<https://russkijmetall.ru/>

<https://scraptraffic.com/>

<https://www.evek.org/>

<https://mashinform.ru/>

<http://st-steel.ru/>

<https://www.kmz-ua.com/>

<https://markmet.ru/>

<http://www.es96.ru/>

<https://www.doccity.com/ru/>

<https://studfile.net/>

<https://azbukametalla.ru/>

<http://booksonchemistry.com/>

<http://testlib.meta.ua/>

<http://ukrnichrom.com.ua/>

<http://www.splav-kharkov.com.ua/>