

MUMETAL – PERMIMPHY SUPERMIMPHY МАГНИТНО-МЯГКИЕ Fe-Ni-СПЛАВЫ

I. ВВЕДЕНИЕ

Mumetal, Permimphy и Supermimphy представляют собой кристаллические магнитно-мягкие сплавы, обладающие:

- самой высокой магнитной проницаемостью
- наименьшей коэрцитивной силой
- наименьшими магнитными потерями.

Ниже в таблице приводится их номинальный состав (в масс.%):

Ni	Mo	Si	Mn	C	Fe
80-81	4,5-6	0,05-0,4	0-0,5	0,01	остальное

II. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Основными областями применения этих сплавов являются:

- магнитные сердечники с высокими рабочими характеристиками, полученными в виде пакетированных профильных пластин или тороидальных сердечников (навитых или сложенных в пакет колец). Эти магнитные сердечники используются в измерительных приборах, прерывателях тока при электрическом замыкании на землю и линейных трансформаторах для модемов компьютеров;
- магнитное экранирование для защиты определенных компонентов и подборок от воздействия внешних магнитных полей или для изготовления экранированных камер, например, в медицинской аппаратуре;
- в области электрической безопасности – высокочувствительные компоненты реле для прерывателей тока при электрическом замыкании на землю;
- магнитные датчики – считывающие и записывающие головки систем записи на магнитную пленку;
- датчики тока с использованием эффекта Холла или без него;
- все применения, требующие использования магнитного материала с высокой проницаемостью, низкой коэрцитивной силой и низкими потерями в области от низких частот до 1 МГц.

III. АССОРТИМЕНТ ПРОДУКЦИИ

Компания Imphy Alloys предлагает полный диапазон марок Fe-Ni-сплавов с центральным сплавом в этом диапазоне, содержащим 80% Ni. Химический состав сплава и производственные процессы были специально разработаны для улучшения определенных характеристик в зависимости от предполагаемого применения:

- Оптимальные магнитные свойства
- Простота изготовления (штампруемость, способность в вытяжке и т.д.)
- Стабильность магнитных свойств в зависимости от температуры
- Удовлетворительная стабильность магнитных свойств при механической нагрузке.

III.1. MUMETAL

Эта марка охватывает большинство обычных применений, как для экранирования, так и для магнитных сердечников, благодаря максимальной относительной проницаемости до 350 000 в постоянных полях и коэрцитивной силе 0,6 А/м (типичные значения, измеренные на полосе толщиной 1,5 мм).

III.2. PERMIMPHY

Данная марка, полученная с применением специальных режимов рафинирования, предлагает такие же высокие магнитные свойства, как у Mumetal вместе с превосходной склонностью к механической штамповке профилей для изготовления крупных партий изделий.

III.3. SUPERMIMPHY

Эта марка имеет самые высокие магнитные свойства.

Сплав в виде готовых спиральных ленточных сердечников, выполненных из полосы толщиной менее 0,10 мм, имеет максимальную относительную проницаемость μ_{max} импедансного материала при 50 Гц, достигающую 400 000.

Существуют две марки сплава: Supermimphy L и Supermimphy LLS, вариант "Low Stress" (*низкое напряжение*). Химический состав последнего сплава специально разработан для ограничения вредного воздействия механических напряжений, возникающих при эксплуатации, после термообработки. Типичным случаем является пластмассовое покрытие для защиты деталей, например, датчики тока или линейные трансформаторы компьютерных модемов.

IV. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Свойства	Типичные значения	Единицы
Плотность*	8,7	г/см ³
Удельная теплоемкость*	460	Дж·кг ⁻¹ ·°С ⁻¹
Теплопроводность*	19	Вт·м ⁻¹ ·°С ⁻¹
Средний коэф. теплового расширения от -500°С до +200°С	12·10 ⁻⁶	°С ⁻¹
Удельное электросопротивление*	60	мкОм·см
Точка Кюри	420	°С
Коэффициент магнитострикции $\frac{\Delta l}{l}$ при насыщении	1-3	10 ⁻⁶
Температура плавления	1450	°С

* измерение при окружающей температуре

V. ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ ТЕРМООБРАБОТКА

Оптимальные магнитные свойства марок Mumetal, Permimphy и Supermimphy получены только после высокотемпературной термообработки конечных листов или деталей.

Главная цель такой термообработки – это рекристаллизация материала.

Окончательная термообработка должна быть обязательно выполнена при соответствующих условиях согласно данным ниже рекомендациям.

V.1. АТМОСФЕРА

Водород, который способствует удалению некоторых остаточных примесей, является наилучшей защитной атмосферой.

Тем не менее, альтернативным вариантом является расщепленный аммиак и вакуум.

Для устранения риска загрязнения, особенно кислородом и водяными парами, должны быть предприняты все необходимые меры предосторожности. Обрабатываемые детали должны быть тщательно очищены и дегазированы. Инертный порошок (оксид алюминия или магния), часто используемый для изоляции деталей, должен быть совершенно безводным.

Во всех случаях точка росы внутри печи должна быть ниже -40°С.

На практике используется расход водорода порядка 5 объемов в час, а при необходимости в цикл нагрева вводится несущая полка при 400°С, чтобы гарантировать, что точка росы в печи правильная.

V.2. ТЕМПЕРАТУРЫ

Компания Imphy Alloys рекомендует выдержку 2-6 ч при 1100 - 1175°C. Скорость нагрева оказывает слабое влияние на магнитные свойства. Наоборот, более низкая температура термообработки будет неблагоприятно влиять на величину магнитной проницаемости.

V.3. СКОРОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ

Скорость охлаждения определяет степень ближнего порядка атомов и поэтому имеет резко выраженное влияние на проницаемость сплавов Fe-80% Ni.

В большинстве случаев простое охлаждение печи достаточно при условии, что скорость охлаждения составляет порядка 100 – 300°C/ч от 600 до 300°C.

Однако для оптимизации определенных магнитных свойств, таких как начальная проницаемость или прямоугольность петли гистерезиса или для снижения изменений проницаемости при окружающей температуре необходимо точно отрегулировать условия охлаждения между 600°C и 300°C.

Хорошее практическое решение – постараться медленно охлаждать детали в печи до температуры выдержки между 400 и 520°C в течение приблизительно 1 ч, затем быстро извлечь их из печи для завершения термообработки с высокой скоростью охлаждения (порядка 1000°C/ч). Температура выдержки зависит от требуемых магнитных свойств.

Другая возможность – выполнить вторую термообработку, как правило, при 500°C в течение 1 ч с последующей быстрой закалкой (1000°C/ч) после начальной высокотемпературной обработки (2-6 ч при 1100 - 1175°C).

V.4. ОКСИДИРОВАНИЕ

Для некоторых целей детали должны быть покрыты тонким слоем оксида (например, электроизоляция профилей из сплава Mumetal).

В этом случае в течение окончательной ступени термообработки защитная атмосфера заменяется на атмосферу с контролируемым окислительным потенциалом (например, выдержка на воздухе в течение 1 ч при 500°C).

V.5. ТЕРМООБРАБОТКА ПО ТРЕБОВАНИЮ ЗАКАЗЧИКА

В случае необходимости получить специальные магнитные свойства по требованию заказчика компания Imphy Alloys может использовать свой богатый опыт в термообработке магнитных сплавов. Более того, MECAGIS, дочерняя компания IUP, обладает комплектом высокопроизводительного оборудования для работы с магнитными сплавами и может провести термообработку для заказчиков любых деталей, магнитные свойства которых необходимо оптимизировать.

VI. МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА

Ниже в таблице приводятся типичные значения магнитных свойств, измеренных после термообработки, в соответствии со стандартами:

- ASTM AS96
- DIN 50560
- IEC 60404

VI.1. ПОСТОЯННЫЙ ТОК

Измерения, выполненные на кольцевых образцах размером 35×26×0,34 мм после термообработки при 1170°C, 4 ч с последующим охлаждением со скоростью 200°C/ч.

Марка	B _s (1), Тл	B _r (2), Тл	H _c (2), А/м	μ ₄ (3)	μ _{max}
Mumetal	0,76	0,5	0,6	120 000	350 000
Permimphy	0,75	0,45	0,65	150 000	320 000
Supermimphy L	0,75	0,4	0,35	550 000	570 000
Supermimphy LLS	0,7	0,23	0,4	285 000	300 000

(1) практическое насыщение измеряли в магнитном поле H = 800 А/м

(2) остаточная индукция B_r и коэрцитивная сила H_c измеряли в поле H = 80 А/м

(3) измерение в поле H = 4 мА/см (пиковая величина)

Массивный материал: измерения в постоянном магнитном поле на сердечниках размером 24×20×10 мм

Марка	Термообработка	B _s (1), Тл	H _c (2), А/м	μ _{z max}
Permimphy	1050°C в вакууме	0,73	19	150 000
	1170°C, 4 ч, в H ₂	0,73	10	300 000

(1) практическое насыщение измеряли в магнитном поле H = 80 А/м

(2) коэрцитивную силу H_c измеряли в поле H = 80 А/м.

VI.2. ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК С ЧАСТОТОЙ 50-60 Гц

Измерения выполняли на кольцевых образцах размером 36×25×0,34 мм после термообработки при 1170°C, 4 ч с последующим охлаждением со скоростью 200°C/ч.

Марка	μ _{4z} (1)	μ _{zmax}
Mumetal	50 000	95 000
Permimphy	50 000	80 000
Supermimphy L	70 000	95 000
Supermimphy LLS	70 000	85 000

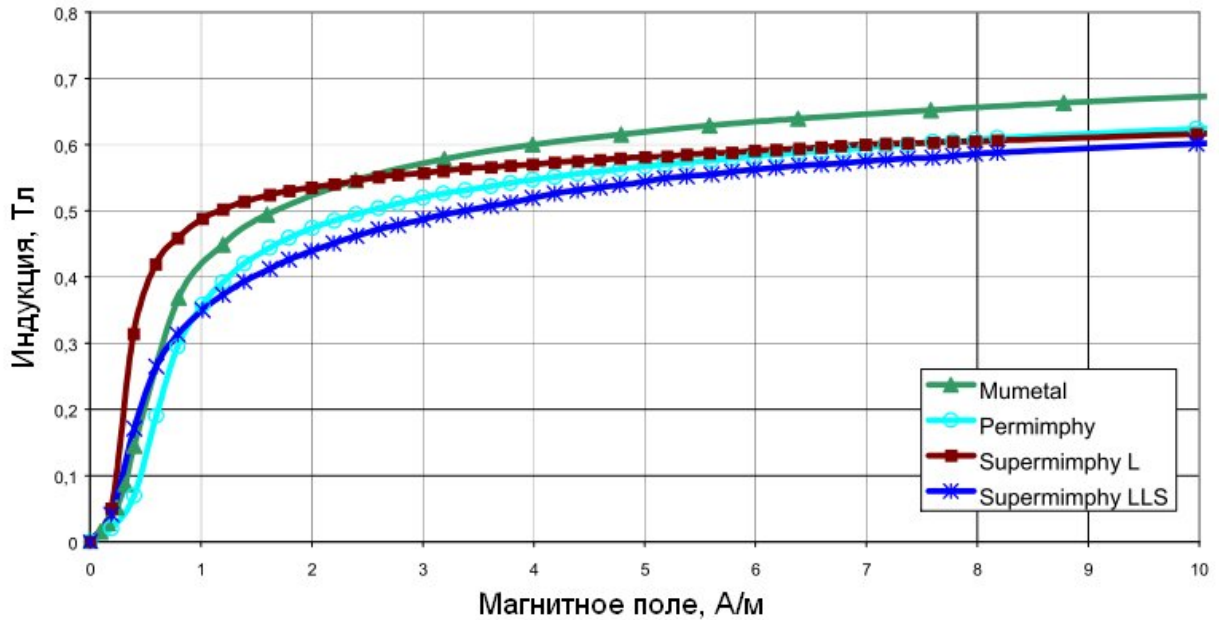
(1) синусоидальное магнитное поле возбуждения H = 4 мА/см (пиковая величина)

Измерения выполняли на тороидальных сердечниках размером 30×20×0,07 мм после термообработки при 1170°C, 4 ч и оптимальной температуре остановки

Марка	μ _{4z} (1)	μ _{zmax}
Supermimphy L/LLS	340 000	400 000

(1) синусоидальное магнитное поле возбуждения H = 4 мА/см (пиковая величина)

VII. ТИПИЧНЫЕ КРИВЫЕ НАМАГНИЧИВАНИЯ



Кривые намагничивания сплавов Mumetal, Permimphy, Supermimphy L и Supermimphy LLS

По запросу заказчика компания Imphy Alloys может предоставить точки измерения, соответствующие этим кривым, в компьютерном формате.

VIII. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

VIII.1. ХОЛОДНОКАТАНАЯ ПОЛОСА

Ниже приводятся типичные данные. Методы измерения соответствуют стандартам:

- NF EN 10002 для испытания на растяжение
- EN ISO 6507 для измерения твердости
- NFA 04102 для определения размера зерен

Свойства	Холодная обработка	Отжиг	Готовые детали, обработанные при 1150 °С
Твердость, HV	325	160	110
σ_B , МПа	1050	650	530
$\sigma_{0,2}$, МПа	1030	280	160
δ , %	3	35	45
Размер зерна	-	8	0-3

По желанию заказчика компания Inphy Alloys может поставить сплавы в любом нестандартном состоянии.

VIII.2. МАССИВНЫЕ ИЗДЕЛИЯ

Свойства	В состоянии после горячей обработки (прутки, листы, поковки)
Твердость, HV	150 ± 50
Размер зерна	4 – 10

По желанию заказчика компания Inphy Alloys может поставить сплавы в любом нестандартном состоянии.

IX. ПРИМЕНЕНИЕ

IX.1. ВЫРУБКА И РЕЗКА

Как правило, вырубка осуществляется на металле в нагартованном состоянии.

IX.2. ИЗГИБ, ГЛУБОКАЯ ВЫТЯЖКА, ПРОТЯГИВАНИЕ СВОБОДНОЙ КОВКОЙ, ВЫДАВЛИВАНИЕ И ШТАМПОВКА

Для этих процессов формоизменения металл используется в размягченном состоянии, т.е. после термообработки отжигом.

В зависимости от требований заказчика компания Inphy Alloys может применить термообработку размягчения для операций изгиба или глубокой вытяжки.

Если отожженный металл подвергается значительной пластической деформации, происходит деформационное упрочнение, степень которого можно оценить из следующей таблицы:

Пластическая деформация (% уменьшения толщины)	10	25	50	75
Твердость, HV	220	270	300	330
σ_B , МПа	686	834	981	1079
Отн. удлинение, %	25	10	4	2

Необходимо иногда проводить промежуточную размягчающую обработку при проведении формования.

Компания Imphy Alloys рекомендует выдержку минимум 1 ч при 850–900°C. Важно принять все необходимые меры предосторожности, чтобы не допустить загрязнения металла, в том числе следует использовать чистую печь, чистые детали и защитную атмосферу с точкой росы ниже –40°C.

IX.3. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Поведение сплавов Mumetal, Permimphy и Supermimphy отличается от поведения нержавеющей сталей: сплавы отличаются своей "липкостью", его стружки которого стремятся прилипнуть к инструменту. Поэтому требуются относительно низкие скорости резания.

	Токарная обработка	Фрезерование	Сверление
Инструмент	Быстрорежущая сталь	Быстрорежущая сталь	Быстрорежущая сталь
СОЖ	Смазочная эмульсия или масло	Смазочная эмульсия или масло	Смазочная эмульсия или масло
Угол резки, град.	10	10	-
Передний угол, град.	6	6	6
Скорость резки, м/мин	25	25	15
Скорости подачи, мм/об	0,25	-	0,10

Использование твердосплавных инструментов позволяет удвоить скорость резания.

Детали следует тщательно вычистить после механической обработки, чтобы не допустить риска загрязнения.

IX.4. СВАРКА

Процедуры сварки Mumetal и Permimphy такие же, как для аустенитных нержавеющей сталей.

Компания Imphy Alloys рекомендует проводить сварку без сварочного металла. Точечная сварка сопротивлением является, несомненно, наиболее употребительным способом, однако электроннолучевая и аргодуговая сварка также возможны.

Как правило, сварка проводится перед окончательной термообработкой деталей, даже в случае точечной сварки.

IX.5. ПАЙКА

Крайне необходимо все операции пайки выполнять после окончательной высокотемпературной обработки.

Магнитные свойства зон пайки обычно ухудшаются.

IX.6. КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ

Коррозионная стойкость сплавов Mumetal, Permimphy и Supermimphy лучше, чем стойкость углеродистых сталей, благодаря высокому содержанию никеля в них. Однако эти сплавы не являются нержавеющими, и их стойкость к окислению следует проверять в каждом конкретном случае.

X. АССОРТИМЕНТ

Марка	Обработанные сердечники (1)	Обработанные детали (1)	Холоднокатаная полоса	Длинные и массивные изделия (2)
Mumetal	■	■	■	
Permimphy	■	■	■	■
Supermimphy L	■	■	■	
Supermimphy LLS	■	■	■	

(1): профили, пакетированные пластины, роторные и статорные пластины, экраны, пластины для химико-механической обработки, продаваемые компанией MECAGIS, дочерней компании Imphy Ugine Précision;

(2): прутки, фасонный профиль, штампованная поковка, холоднокатаные листы.

X.1. ПЛОСКИЙ ПРОКАТ

Ассортимент	Толщина, мм	Макс. ширина, мм	Состояние
Холоднокатаная полоса, поставляемая в рулонах	0,025 ÷ 0,07	300	нагартованное или отожженное
	0,07 ÷ 3	640	нагартованное или отожженное
Холоднокатаная полоса, поставляемая в виде мерных листов (макс. длина 3500 мм)	0,1 ÷ 3	10 ÷ 640	нагартованное или отожженное
Горячекатаная полоса	5 ÷ 50	500 ÷ 2000	после прокатки и травления

По специальным требованиям просим проконсультироваться в компании Imphy Alloys.

Х.2. ПРУТКИ

Диаметр \varnothing , мм	Стандартная длина, мм
$\varnothing \leq 13$	2000 ÷ 3000
$14 \leq \varnothing \leq 80$	3000 ÷ 4000
$\varnothing > 80$	Зависит от диаметра и заказанного количества

По специальным требованиям просим проконсультироваться в компании Imphy Alloys.

Х.3. ШТАМПОВАННЫЕ ПОКОВКИ И ЛИТЫЕ ЗАГОТОВКИ

Изучение конкретного вопроса проводится по запросу.