

SUPRA 50 – SP 510

МАГНИТНО-МЯГКИЕ Fe-Ni-СПЛАВЫ

I. ВВЕДЕНИЕ

Разработанные компанией Imphy Alloys магнитно-мягкие сплавы с содержанием Ni порядка 50% включают следующие марки:

- SUPRA 50 / SUPRA 50 SP
- SUPRA 50 G / SUPRA 50 GSP
- SUPRA 50 T
- SP 510

- Типичная характеристика всех сплавов SUPRA 50 – максимальная индукция насыщения, которую могут иметь сплавы системы Fe-Ni. Отдельные марки отличаются значениями магнитной проницаемости и коэрцитивной силы.

- Марка SP 510 отличается удовлетворительным компромиссом между магнитными свойствами (индукция насыщения, коэрцитивная сила, магнитная проницаемость) и коррозионной стойкостью.

Ниже в таблице приведены номинальные химические составы сплавов (масс.%)

	Ni	Mn	Si	C	Cr	Fe
Supra 50						
Supra 50 SP						
Supra 50 G	47,5	0,5	0,1	0,005	-	остальное
Supra 50 GSP						
Supra 50 T						
SP 510	50	0,5	0,2	0,01	10	остальное

II. ПРИМЕНЕНИЕ

Основными областями применения этих сплавов являются:

- прерыватель замыкания на землю (реле)
- железнодорожная сигнализация (реле)
- изготовление часовых механизмов (шаговые электродвигатели)
- телефония (приемные устройства и телефонные коммутаторы)
- магнитные датчики (тока, углового положения, смещения)
- газовое оборудование (защитные колпачки)
- все применения, для которых требуется магнитный материал с высокой индукцией и низкими магнитными потерями: роторы и статоры электродвигателей, синус-косинусные вращающиеся трансформаторы
- детали электронной пушки для ЭЛТ.

III. ПРЕЗЕНТАЦИЯ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК

III.1 SUPRA 50 и SUPRA 50 SP

Эти основные марки (с изотропными свойствами) касаются всех общих применений (типичная коэрцитивная сила $H_c = 2,8$ А/м). Их высокие технические характеристики и химическая чистота делают их особенно применимыми для тех случаев, когда требуются высокая чувствительность и высокая точность.

SUPRA 50 и SUPRA 50 SP отличаются друг от друга процессами холодной прокатки и поверхностными условиями, размерными допусками и диапазоном доступных толщин.

Они уже используются, в основном, в телефонии (детали приемных устройств), для безопасности (компоненты для колпачков безопасности газового оборудования) и в электротехнике (трансформаторы, сигнальные реле, датчики). Они также используются при изготовлении часовых механизмов (детали электродвигателей для аналоговых кварцевых часов), в авиационной технике (корпуса гиперчастотных генераторов), в компьютерных периферийных устройствах (полюсные наконечники печатающих головок), в электрических устройствах безопасности (компоненты реле для прерывателей замыкания на землю) и для медицинских устройств (слуховые аппараты).

III.2 SUPRA 50 T

Данная марка, имеющая полуизотропные свойства, поставляется в виде неотожженной холоднокатаной полосы (типичная толщина 0,08 – 0,35 мм), для штамповки различных профилей или для изготовления спиральных ленточных сердечников.

После соответствующей термообработки профили обладают структурой вторичной рекристаллизации с гигантскими зернами, что обеспечивает очень высокую начальную проницаемость и очень низкую коэрцитивную силу ($H_c = 1,4$ А/м).

Основные области применения относятся к телефонии и интегрированным средствам обработки передачи данных (токовые трансформаторы, катушки индуктивности).

III.3 SUPRA 50 G и SUPRA 50 GSP

Эти марки с изотропными свойствами имеют повышенную склонность к механической вырубке по сравнению с базовыми сплавами SUPRA 50 и SUPRA 50 SP.

III.4 SUPRA 510

Данная марка характеризуется уровнем индукции магнитного насыщения, близким к уровню насыщения сплава Fe-80% Ni, вместе с низкой коэрцитивной силой и удовлетворительной коррозионной стойкостью. Благодаря этой комбинации свойств, основным применением сплава является изготовление статоров шаговых электродвигателей для часовых механизмов.

IV. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Свойства	Единицы	SUPRA 50 – SUPRA 50 SP SUPRA 50 G – SUPRA 50 GSP SP SUPRA 50 T	SP 510
Плотность*	г/см ³	8,2	8,2
Удельная теплоемкость*	Дж·кг ⁻¹ ·°C ⁻¹	500	-
Удельная теплопроводность*	Вт·м ⁻¹ ·°C ⁻¹	13	-
Средний коэффициент теплового расширения в диапазоне 0°C – 100°C	10 ⁻⁶ ·°C ⁻¹	8	10
Удельное электросопротивление*	мкОм·см	45	100
Точка Кюри	°C	450	230
Коэффициент магнитострикции $\frac{\Delta l}{l}$ при насыщении	10 ⁻⁶	24	-
Температура плавления	°C	1 425	-
Индукция насыщения*	Тл	1,6	0,75

* измерение при +20 °C

V. МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА

Ниже в таблице приводятся магнитные свойства, определенные после оптимальной термообработки в соответствии со следующими стандартами:

- ASTM A596
- DIN 50460
- IEC 60404

V.1. Магнитные свойства холоднокатаной полосы при намагничивании в постоянном магнитном поле

Измерения проводили после оптимальной термообработки при температуре 1150 °C в течение 4 ч в чистом сухом водороде на кольцевых образцах, имеющих наружный диаметр 36 мм, внутренний диаметр 25 мм и толщину 0,34 мм для сплавов Supra 50, Supra 50 SP, Supra 50T и SP 510 и толщиной 1,5 мм для сплавов Supra 50 G и Supra 50 GSP. Приведенные ниже цифры являются типичными значениями.

Марка	B _s ⁽¹⁾ , Тл	B _s ⁽¹⁾ , Тл	B при 100 А/м, Тл	μ _{макс}	H _c , А/м
Supra 50, Supra 50 SP	1,5	1,1	1,2	190 000	2,8
Supra 50T	1,5	0,6	1,2	165 000	1,4
Supra 50 G, Supra 50 GSP	1,5	1,1	1,2	100 000	5,1
SP 510	0,75	0,25	0,6	30 000	3,2

(1) для измерения индукции насыщения B_s и остаточной индукции B_r использовали поле H = 800 А/м

V.2 Магнитные свойства холоднокатаной полосы при намагничивании в переменном магнитном поле

Измерения проводили после оптимальной термообработки при температуре 1150 °С в течение 4 ч в чистом сухом водороде на кольцевых образцах, имеющих наружный диаметр 36 мм, внутренний диаметр 25 мм и толщину 0,34 мм для сплавов Supra 50, Supra 50 SP, Supra 50T и SP 510. Приведенные ниже цифры являются типичными значениями.

Марка	60 Гц	
	μ_{4z} (1)	μ_{z8} (2)
Supra 50, Supra 50 SP	10 400	54 000
Supra 50T	16 500	52 000
Supra 510	7 000	-

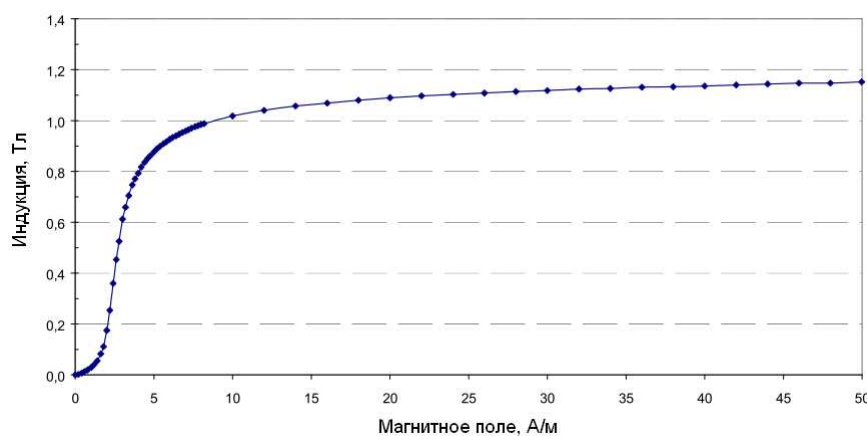
- (1) начальная проницаемость импедансного материала для синусоидального тока возбуждения 0,4 А/м (пиковая величина)
- (2) проницаемость импедансного материала для $B = 0,8$ Тл.

V.3 Магнитные свойства массивных материалов при намагничивании в постоянном магнитном поле

Измерения в постоянном магнитном поле проводили на вырезанных образцах размером 24x20x10 мм после термообработки при 1150 °С в течение 4 ч в чистом сухом водороде. Приведенные ниже цифры являются типичными значениями.

Марка	B_s (1), Тл	H_c (2), А/м	$\mu_{\text{макс сс}}$
Supra 50	1,5	4,8	80 000

- (1) индукцию насыщения измеряли в поле $H = 800$ А/м.



- (2) для измерения коэрцитивной силы H_c использовали магнитное поле $H = 800$ А/м.

Рис. 1. Кривая намагниченности в постоянном магнитном поле холоднокатаного образца из сплава Supra 50 толщиной 0,34 мм после термообработки при 1150 °С в течение 4 ч в чистом сухом водороде

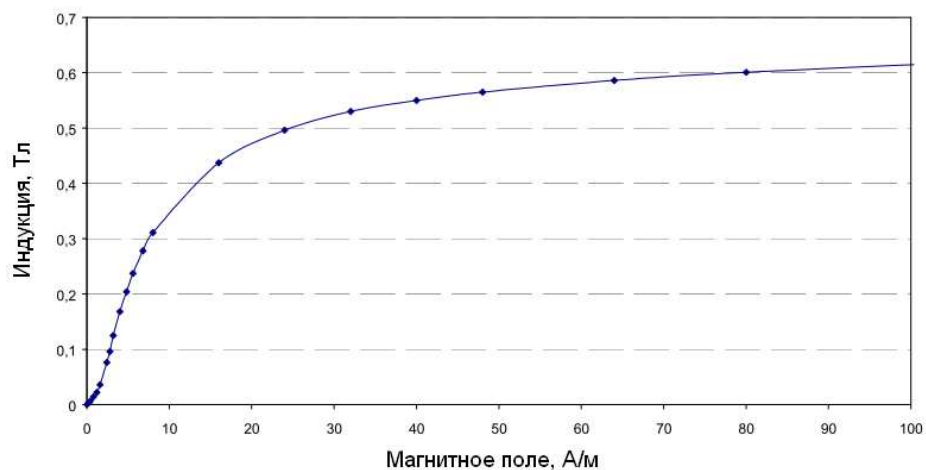


Рис. 2. Кривая намагниченности в постоянном магнитном поле холоднокатаного образца из сплава Supra 510 толщиной 0,50 мм после термообработки при 1150 °С в течение 4 ч в чистом сухом водороде

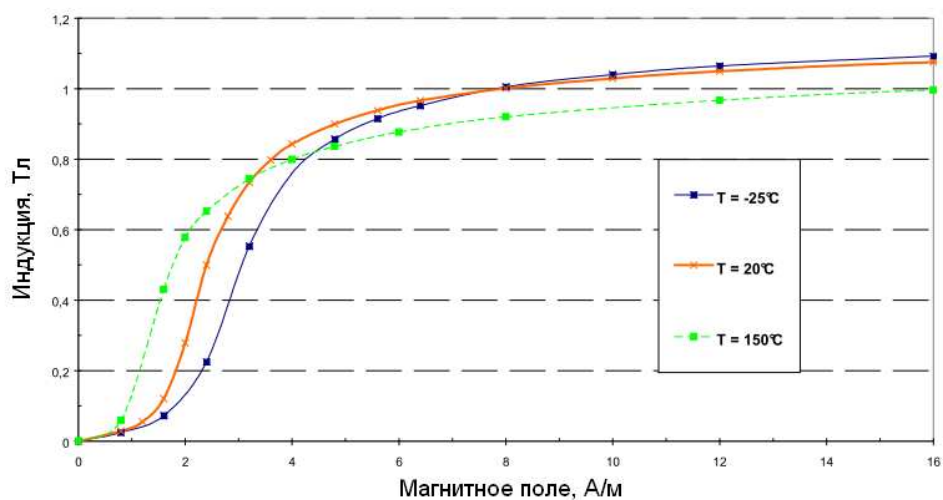


Рис. 3. Кривая намагниченности в постоянном магнитном поле при температурах -25°C , $+25^{\circ}\text{C}$ и $+150^{\circ}\text{C}$ холоднокатаного образца из сплава Supra 50 толщиной 0,34 мм после термообработки при 1150 °С в течение 4 ч в чистом сухом водороде

VI. ТЕРМООБРАБОТКА ГОТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

Оптимальные магнитные свойства сплавов Supra 50 и SP 510 достигаются высокотемпературной обработкой готовых деталей.

- Для рекристаллизации металла применяется термообработка. С термообработанными деталями следует обращаться с большой осторожностью, так как даже незначительная деформация приведет к ухудшению их магнитных свойств.
- Защитная атмосфера важна для предотвращения окисления металла. Существенной является роль атмосферы. Рекомендуется применение восстановительной атмосферы, состоящей из чистого сухого водорода, так как такая атмосфера способствует устранению определенных остаточных примесей в металле, таких как углерод, особенно при отжиге тонких деталей.
- Должны быть предприняты все необходимые меры предосторожности для гарантии чистоты атмосферы. Термообрабатываемые детали должны быть дегазированы и очищены перед отжигом. Инертный порошок (оксиды алюминия и магния), часто используемые для изоляции деталей друг от друга, должен быть полностью обезвожен. Водород должен быть очищен перед вводом его в печь с помощью раскисляющей обработки и молекулярного сита. Рекомендуется скорость потока водорода порядка 7 объемов в час для постоянного обновления атмосферы.

При выполнении нагрева необходимо провести выдержку в течение 1-2 часов при 400°C при необходимости, чтобы понизить точку росы в камере печи. Точка росы должна быть ниже -40°C при проведении высокотемпературной термообработки. Марки сплавов, содержащие 47,5% Ni и разработанные компанией Imphy Alloys, менее чувствительны к скорости нагрева и охлаждения. Обычные производственные скорости нагрева и охлаждения от нескольких десятых до нескольких сотен °C/ч являются вполне удовлетворительными.

VI.1. Термообработка в окислительной среде

Для определенных применений готовые детали должны быть покрыты тонким слоем оксида (например, чтобы электроизолировать роторные пластины или профили). Это может быть достигнуто выдержкой деталей приблизительно при 500°C в атмосфере с контролируемым давлением кислорода (например, 1 ч в воздухе).

VI.2. Supra 50 / Supra 50 SP

В таблице ниже показано влияние температуры термообработки между 1050°C и 1150°C с временем выдержки около 4 ч. Измерения проводились на кольцевых образцах толщиной 0,34 мм с наружным диаметром 36 мм и внутренним диаметром 25 мм. Высокая температура способствует как укрупнению первичных зерен, так и очистке металла, что приводит к повышению магнитной проницаемости.

Марка	Температура термообработки	
$\mu_{\text{макс}}_{\text{cc}}$ (1)	135 000	190 000
Hc (A/m)	3,8	2,8
μ_{4z} (2)	7 400	10 400

(1) Максимальная проницаемость в постоянном магнитном поле

(2) Начальная проницаемость импедансного материала для синусоидального поля возбуждения 0,4 A/m (пиковая величина)

VI.3. *Supra 50 T*

Термообработка при высокой температуре (1150 – 1175 °C) является важным фактором для обеспечения удовлетворительной вторичной рекристаллизации и очень высокой магнитной проницаемости. В этом случае выдержка в течение 4 ч является очень эффективной.

Толщина, мкм	1050 °C		1175 °C	
	$\mu 4z$ (1)	Hc, A/m	$\mu 4z$ (1)	Hc, A/m
0,34	9 500	3	16 500	1,4
0,08	6 500	4,4	11 000	3

(1) Начальная проницаемость импедансного материала для синусоидального поля возбуждения 0,4 A/m (пиковая величина)

VII. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

VII.1. *Механические свойства холоднокатаной полосы*

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	Supra 50 / Supra 50 SP Supra 50 G / Supra 50 GSP			Supra 510		
	Холодная обработка	Отжиг	Готовые детали, обработанные при 1150 °C	Холодная обработка	Отжиг	Готовые детали обработанные при 1150 °C
Твердость, HV	250	140	100	275	110	100
σ_B , МПа	850	500	450	900	520	-
$\sigma_{0,2}$, МПа	820	250	200	850	210	-
δ , %	3	40	35	1	40	-
Размер зерна	-	9	0	-	8	-

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

VII.2. Механические свойства массивных продуктов (типичные значения)

Свойства	В состоянии после горячей обработки (прутки, листы, поковки)
σ_B , МПа	540
Твердость, HV	170 ± 50
Размер зерна	4 – 10

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

VIII. ПРИМЕНЕНИЕ

VIII.1. Вырубка и резка

Эти операции проводятся на металле в холоднообработанном состоянии. Рекомендуется выполнить несколько опытов на материалах с различной твердостью, чтобы приспособить для режущих инструментов.

VIII.2. Изгиб, глубокая вытяжка, протягивание свободной ковкой и выдавливание

В этих процессах формовки металл используется в отожженном состоянии. Сложные условия глубокой вытяжки должны быть точно определены, так как компания Imphy Alloys разработала режим, специально предназначенный для этой цели.

Если первоначально отожженный металл подвергается заметной пластической деформации, получающееся увеличение твердости и предела прочности на разрыв можно оценить из следующей таблицы.

Пластическая деформация (% уменьшения толщины)	10	25	50	75
Твердость, HV	200	225	250	265
σ_B , МПа	590	710	850	930
Отн. удлинение, %	20	7	3	2

Поэтому необходимо иногда проводить промежуточную размягчающую обработку при проведении формования.

Компания Imphy Alloys рекомендует выдержку минимум 1 ч при 800–850°C. Важно принять все необходимые меры предосторожности, чтобы не допустить загрязнения металла, в том числе следует использовать чистую печь, чистые детали и защитную атмосферу, которая может быть даже восстановительной с точкой росы ниже –40°C.

VIII.3. Механическая обработка

Сплав Supra 50 можно подвергать механической обработке в виде таких деталей, как прутки или горячекатаные листы.

Supra 50 представляет собой "липкий" сплав, стружки которого стремятся прилипнуть к инструменту. Поэтому требуются относительно низкие скорости резания.

	Токарная обработка		Фрезерование	Сверление
	Зачистка	Резка		
Инструмент	Твердосплавный инструмент S3 или S4	Быстрорежущая сталь	Быстрорежущая сталь	Быстрорежущая сталь
СОЖ	Смазочная эмульсия	Смазочная эмульсия	Смазочная эмульсия	Смазочная эмульсия
Угол резки, град.	12-17	7-10	15	-
Передний угол, град.	5-8	6-10	3-7	9-13
Скорость резки, м/мин	50-75	15-20	10-15	10
Скорости подачи	0,2-0,5 мм/об	0,03-0,07 мм/об	0,05-0,10 мм/зуб	0,10 мм/об

После механической обработки детали следует тщательно очистить, чтобы снизить риск загрязнения, особенно смазочной эмульсией.

VIII.4. Сварка

Сварка сплавов, содержащих 47,5% Ni, проводится так же, как сварка аустенитных нержавеющих сталей, однако рекомендуется проводить предварительную термообработку для снятия напряжений при 600-800°C.

Можно использовать все сварочные методы, в том числе точечную сварку сопротивлением, электроннолучевую сварку и аргонодуговую сварку. Если требуется сварочный металл, предпочтительно использовать тот же сплав (47,5% Ni).

Обычно сварка должна быть проводиться перед окончательной термообработкой деталей, даже в случае точечной сварки.

Сварные швы больших размеров, которые ухудшают магнитные свойства продукта, должны быть предпочтительно размещены на тех участках, где ухудшение свойств менее важно.

VIII.5. Пайка

Крайне необходимо выполнять все операции пайки после окончательной высокотемпературной обработки. Магнитные свойства зон пайки обычно ухудшаются.

VIII.6. Коррозионная стойкость

Коррозионная стойкость сплава Supra 50 лучше, чем стойкость углеродистых сталей, благодаря присутствию никеля. Однако эти сплавы не являются нержавеющей, и их стойкость к окислению следует проверять в каждом конкретном случае.

IX. АССОРТИМЕНТ

Марка	Обработанные сердечники (1)	Обработанные детали (1)	Холоднокатаная полоса	Длинные и массивные изделия (2)
SUPRA 50	■	■	■	■
SUPRA 50 SP	■	■	■	
SUPRA 50 G	■	■	■	
SUPRA 50 GSP	■	■	■	
SUPRA 50 T	■	■	■	
SP 510	■	■	■	

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

(2): прутки, профили, штампованная поковка, холоднокатаные листы.

IX.1. ПЛОСКИЙ ПРОКАТ

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

SUPRA 50 T			
Ассортимент	Макс. толщина, мм	Макс. ширина, мм	Состояние
Холоднокатаная полоса, поставляемая в рулонах	0,35	640	нагартованное

SP 510			
Ассортимент	Типичная толщина, мм	Макс. ширина, мм	Состояние
Холоднокатаная полоса, поставляемая в рулонах	0,5 ÷ 0,7	640	нагартованное или отожженное

По размерным допускам и специальным требованиям просим проконсультироваться в компании Imphy Alloys.

IX.2. ПРУТКИ

SUPRA 50	
Диаметр Ø, мм	Стандартная длина, мм
$\text{Ø} \leq 13$	2000 ÷ 3000
$14 \leq \text{Ø} \leq 80$	3000 ÷ 4000
$\text{Ø} > 80$	Зависит от диаметра и заказанного количества

По размерным допускам и специальным требованиям просим проконсультироваться в компании Imphy Alloys.

IX.3. ШТАМПОВАННЫЕ ПОКОВКИ И ЛИТЫЕ ЗАГОТОВКИ

Для оценки возможности применения просим проконсультироваться с нами.