



MUMETAL – PERMIMPHY SUPERMIMPHY

ALLIAGES MAGNETIQUES DOUX FeNi

I. INTRODUCTION

Mumétal, Permimphy et Supermimphy sont parmi les alliages magnétiques doux cristallins ceux dotés :

- Des perméabilités les plus élevées
- Des champs coercitifs les plus faibles
- Des plus faibles pertes magnétiques.

Le tableau ci dessous indique leur composition chimique type en % pondéraux :

Ni	Mo	Si	Mn	C	Fe
80-81	4.5-6	0.05-0.4	0-0.5	0.01	reste

II. APPLICATIONS

Les principales applications de ces alliages sont :

- Les noyaux magnétiques à hautes caractéristiques magnétiques, réalisés à partir de profils empilés ou de tores (en bande enroulée ou en rondelles empilées). Ces noyaux magnétiques sont utilisés entre autres dans les instruments de mesures, les disjoncteurs différentiels et les transformateurs de ligne utilisés dans les modems informatiques.
- Les blindages magnétiques, pour protéger certains composants ou sous-ensembles d'un champ magnétique perturbateur ou pour la réalisation de chambres blindées par exemple dans le secteur médical.
- Les pièces de relais de disjoncteurs différentiels à haute sensibilité dans le domaine de la sécurité électrique.
- Les capteurs magnétiques : têtes de lecture et/ou d'enregistrement sur bandes magnétiques,
- Les capteurs de courant avec ou sans sonde à effet hall,
- Toutes les applications nécessitant l'emploi d'un matériau magnétique à perméabilité élevée, faible champ coercitif et faible niveau de pertes, dans un domaine allant des basses fréquences jusqu'à 1 mégahertz.

III. GAMMES

Imphy Alloys propose une gamme complète d'alliages FeNi vers 80%Ni. Les compositions chimiques et le process de fabrication de ces produits ont été spécialement définies pour répondre, selon les applications visées, à des compromis entre :

- Les propriétés magnétiques
- L'aptitude à la mise en œuvre (découpabilité, emboutissabilité ...)
- La bonne tenue des propriétés magnétiques en température
- La bonne tenue des propriétés magnétiques lors d'un fonctionnement sous contraintes mécaniques.

III. 1. MUMETAL

Cette nuance couvre la majeure partie des applications courantes, tant en blindages qu'en noyaux magnétiques, grâce à des perméabilités relatives maximales en champ continu atteignant 350 000 et des champs coercitifs de 0.6 A/m, valeurs types mesurées sur bandes d'épaisseur 1.5 mm.

III. 2. PERMIMPHY

Cette nuance, obtenue par des conditions spéciales d'élaboration, présente des caractéristiques magnétiques aussi élevées que celles du Mumétal avec en supplément une très bonne aptitude à la découpe mécanique de profils en grande série.

III. 3. SUPERMIMPHY

Ces nuances constituent le haut de gamme au niveau des propriétés magnétiques.

Sous forme de tores finis en bande enroulée d'épaisseur inférieure à 0.10 mm (0.004") la perméabilité relative maximum d'impédance à 50 Hz μ_{max} s'élève à 400 000.

Le Supermimphy existe selon deux nuances. Une nuance standard, le Supermimphy L et une nuance « Low Stress », le Supermimphy LLS à composition chimique spécifiquement définie pour limiter l'action néfaste des contraintes mécaniques appliquées en fonctionnement après traitement thermique. Un cas typique est l'application d'une résine d'enrobage pour protéger un composant comme un capteur de courant ou un transformateur de ligne de modems informatiques.

IV. PROPRIETES PHYSIQUES

	Valeurs types	Unités
Masse spécifique *	8,7	g.cm^{-3}
Chaleur spécifique *	460	$\text{J.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$
Conductibilité thermique *	19	$\text{W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$
Coefficient de dilatation moyen entre - 50 °C et + 200 °C	12.10^{-6}	°C^{-1}
Résistivité électrique *	60	$\mu\Omega.\text{cm}$
Point de Curie	420	°C
Coefficient de magnétostriction à saturation *	1-3	10^{-6}
$\frac{\Delta l}{l}$		
Point de fusion	1450	°C

* mesurées à température ambiante.

V. TRAITEMENT THERMIQUE FINAL

Les caractéristiques magnétiques optimales du Mumétal, du Permimphy et des Supermimphy ne sont obtenues qu'après traitement thermique des tôles ou des pièces finies à haute température.

Ce traitement, impératif, a principalement pour objet de recristalliser le matériau.

Le traitement thermique final doit impérativement être réalisé dans de bonnes conditions, suivant les préconisations des paragraphes ci-dessous.

V. 1. ATMOSPHERE

L'hydrogène, qui contribue à réduire certaines impuretés résiduelles, constitue la meilleure atmosphère protectrice.

Il est également possible d'utiliser l'ammoniac craqué ou le vide comme atmosphère protectrice.

Toutes les précautions doivent être prises pour éliminer les risques de pollution, notamment par l'oxygène et la vapeur d'eau. Les pièces à traiter doivent être soigneusement nettoyées et dégraissées. La poudre inerte (alumine, magnésie) souvent utilisée pour isoler les pièces, doit être parfaitement anhydre.

Dans tous les cas, le point de rosée à l'intérieur du four doit être inférieur à $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En pratique, on réalise un balayage d'hydrogène de l'ordre de 5 volumes/heure et on effectue si nécessaire un palier vers $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ au cours de la montée en température pour garantir un bon point de rosée dans le four.

V. 2. TEMPERATURES

Imphy Alloys recommande un maintien de 2 à 6 heures à $1100 - 1175\text{ }^{\circ}\text{C}$. La vitesse de montée en température a peu d'influence sur les caractéristiques magnétiques. En revanche, une température de traitement moins élevée affecte le niveau de perméabilité.

V. 3. VITESSE DE REFROIDISSEMENT

La vitesse de refroidissement, par son action sur l'ordre à courte distance des atomes, a une influence très sensible sur la perméabilité des alliages Fe-Ni 80.

Dans la plupart des cas ordinaires un simple refroidissement à l'intérieur du four est suffisant, sous réserve que la vitesse de refroidissement soit de l'ordre de $100\text{ }^{\circ}\text{C/h}$ entre $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Cependant, pour optimiser certaines caractéristiques magnétiques telles que la perméabilité initiale ou la rectangularité du cycle d'hystérésis, ou pour réduire les variations de la perméabilité autour de la température ambiante, il peut être nécessaire d'ajuster avec précision les conditions de refroidissement entre $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En pratique, une solution consiste à laisser les pièces refroidir lentement à l'intérieur du four jusqu'à une « température d'arrêt » se situant entre $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $520\text{ }^{\circ}\text{C}$, à opérer un palier de l'ordre d'une heure, puis de les sortir rapidement du four afin de terminer le traitement avec une vitesse de refroidissement élevée (de l'ordre de $1000\text{ }^{\circ}\text{C/h}$).

La valeur de la température d'arrêt est fonction des caractéristiques magnétiques recherchées.

Une autre possibilité consiste à réaliser un second traitement de typiquement une heure autour de $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ suivi d'une trempe énergique ($1000\text{ }^{\circ}\text{C/h}$) après le traitement thermique à haute température (2 à 6 heures à $1100 - 1175\text{ }^{\circ}\text{C}$).

V. 4. OXYDATION

Certaines applications requièrent des pièces recouvertes d'une fine couche d'oxyde (isolation électrique de profils en Mumétal par exemple).

Dans ce cas, durant la phase finale du traitement thermique, l'atmosphère protectrice est remplacée par une atmosphère oxydante contrôlée (maintien à l'air de 1 heure vers $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ par exemple).

V. 5. TRAITEMENT THERMIQUE A FAÇON

En cas d'exigences magnétiques particulières, Imphy Alloys met à la disposition des utilisateurs sa grande expérience du traitement thermique des alliages magnétiques. Par ailleurs, MECAGIS, filiale d'IUP, disposant d'équipements remarquables en fours de traitement, est en mesure d'effectuer pour leur compte le traitement thermique de toute pièce dont les caractéristiques magnétiques doivent être optimisées.

VI. PROPRIETES MAGNETIQUES

Les tableaux suivants indiquent les valeurs magnétiques types mesurées après traitement thermique selon les normes :

- ASTM AS96
- DIN 50560
- IEC 60404

VI. 1. COURANT CONTINU

Mesures réalisées sur rondelles 35*26*0.34 mm après traitement thermique de 4h à 1170°C avec refroidissement à 200°C/h.

Nuance	Bs (1) (Tesla)	Br (2) (Tesla)	Hc (2) (A/m)	μ_4 (3)	μ_{max}
Mumétal	0.76	0.5	0.6	120000	350000
Permimphy	0.75	0.45	0.65	150000	320000
Supermimphy L	0.75	0.4	0.35	550000	570000
Supermimphy LLS	0.7	0.23	0.4	285000	300000

(1) saturation pratique mesurée pour H = 800 A/m.

(2) induction rémanente Br et champ coercitif Hc mesurés depuis H = 80 A/m.

(3) mesure pour H = 4 mA/cm (valeur crête)

Sur produit massif : mesures réalisées en courant continu sur tore 24*20*10 mm

Nuance	Traitement thermique	Bs (1) (Tesla)	Hc (2) (A/m)	μ_{zmax}
Permimphy	1050°C sous vide	0.73	19	150000
	4h 1170°C sous H2	0.73	10	300000

(1) saturation pratique mesurée pour H = 80 A/m.

(2) champ coercitif Hc mesuré depuis H = 80 A/m.

VI. 2. COURANT ALTERNATIF 50Hz-60Hz.

Mesures réalisées sur rondelles 36*25*0.34 mm après traitement thermique de 4h à 1170°C avec refroidissement à 200°C/h.

Nuance	$\mu_{4z}(1)$	μ_{zmax}
Mumétal	50000	95000
Permimphy	50000	80000
Supermimphy L	70000	95000
Supermimphy LLS	70000	85000

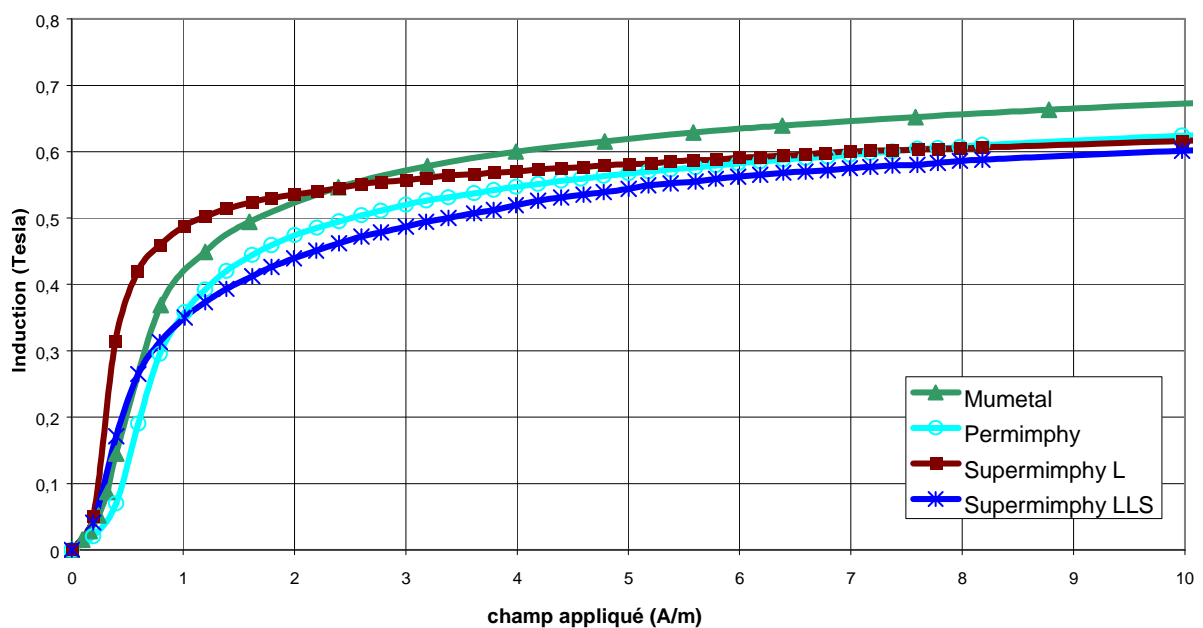
(1) champ d'excitation sinusoïdal H = 4 mA/cm (valeur crête)

Mesures réalisées sur tore 30*20*0.07 mm après traitement thermique de 4h à 1170°C et température d'arrêt optimale

Nuance	μ_{4z} (1)	μ_{zmax}
Supermimphy L/LLS	340000	400000

(1) champ d'excitation sinusoïdal $H = 4 \text{ mA/cm}$ (valeur crête)

VII. COURBES D'AIMANTATIONS TYPES



Courbes d'aimantation en courant continu – Mumétal, Permimphy, Supermimphy L, Supermimphy LLS.

Imphy Alloys, sur demande, met à la disposition de ses clients les points de mesure de ces courbes en format informatique.

VIII. PROPRIETES MECANIQUES

VIII. 1. BANDES LAMINEES A FROID

Les valeurs ci dessous sont des valeurs types et les mesures sont faites selon les normes :

- NF EN 10002 pour les essais de traction
- EN ISO 6507 pour la dureté
- NFA 04102 pour la taille de grain

Caractéristiques	Etat écroui	Etat adouci	Pièces finies traitées à 1 170°C
Dureté (HV)	325	160	110
Rm (MPa)	1050	650	530
Rp _{0,2%}	1030	280	160
Allongement A(%)	3	35	45
Grain	–	8	0-3

Imphy Alloys réalise sur demande tout état non standard souhaité par l'utilisateur.

VIII. 2. PRODUITS MASSIFS

Caractéristique	Etat naturel de transformation à chaud (barres, tôles, pièces forgées)
Dureté (HV)	150 +/- 50
Grain	4 - 10

Imphy Alloys réalise sur demande tout état non standard souhaité par l'utilisateur.

IX. MISE EN OEUVRE

IX. 1. DECOUPAGE, CISAILLAGE

Les opérations de découpage se font généralement sur métal écroui.

IX. 2. PLIAGE, EMBOUTISSAGE ETIRAGE, REPOUSSAGE MATRIÇAGE

Pour de telles mises en forme, le métal est utilisé à l'état adouci, c'est à dire ayant subi un recuit en fin de process de fabrication.

En fonction des besoins exprimés par l'utilisateur, Imphy Alloys propose du métal adouci pour pliage ou adouci pour emboutissage profond.

Lorsque le métal adouci subit une déformation plastique importante, il enregistre un durcissement qu'il est possible d'estimer à l'aide du tableau suivant :

Taux d'écrouissage (%)	10	25	50	75
Dureté (HV)	220	270	300	330
Rm (MPa)	686	834	981	1079
Allongement A (%)	25	10	4	2

L'utilisateur doit parfois réaliser un recuit d'adoucissement intermédiaire lors du façonnage de ses pièces.

Imphy Alloys préconise la procédure suivante : maintien pendant 1 heure minimum à 850 – 900 °C. Il est indispensable de prendre toutes les précautions pour éviter une pollution du métal : four et pièces propres, atmosphère protectrice, point de rosée inférieur à – 40 °C.

IX. 3. USINAGE

Le comportement du Mumétal, du Permimphy et du Supermimphy diffère de celui des aciers inoxydables : il s'agit d'alliages « gras » pour lesquels les copeaux « collent » à l'outil. Ils nécessitent donc des vitesses d'usinage relativement faible :

	Tournage	Fraisage	Perçage
Outil	Acier rapide	Acier rapide	Acier rapide
Lubrifiant	Huile soluble ou entière	Huile soluble ou entière	Huile soluble ou entière
Angle de coupe (°)	10	10	-
Angle de dépouille (°)	6	6	6
Vitesse de coupe (m/minute)	25	25	15
Avance (mm/tour)	0,25	-	0,10

L'utilisation d'un outil en carbure permet de doubler ces vitesses.

Les pièces doivent être soigneusement nettoyées après l'usinage, pour éviter les risques de pollution.

IX. 4. SOUDAGE

Les règles de soudage du Mumétal et du Permimphy sont comparables à celles des aciers austénitiques inoxydables.

Imphy Alloys recommande un soudage sans métal d'apport. Le soudage par points est de loin le plus fréquent. Il est également possible de souder par bombardement électronique ou sous argon.

Le soudage doit normalement être effectué avant le traitement thermique final des pièces, même dans le cas d'un soudage par points.

IX. 5. BRASAGE

Le brasage doit être réalisé impérativement après traitement thermique final à haute température.

Les zones de brasage sont généralement dégradées magnétiquement.

IX. 6. RESISTANCE A LA CORROSION

La tenue à la corrosion du Mumétal, Permimphy et du Supermimphy est meilleure que celle des aciers ordinaires en raison de leur teneur élevée en nickel. Ils ne sont pas toutefois inoxydables et leur tenue à l'oxydation doit être vérifiée dans chaque cas particulier.

X. FORMES DE LIVRAISON

Nuances	Tores traités (1)	Pièces traitées (1)	Bandes laminées à froid	Produits longs et massifs (2)
Mumétal	■	■	■	
Permimphy	■	■	■	■
Supermimphy L	■	■	■	
Supermimphy LLS	■	■	■	

(1): profils, empilages collés, tôles de rotors et stators, blindages, plaques pour découpe chimique vendus par MECAGIS, filiale d'Imphy Ugine Précision.

(2) : barres, profilés, pièces forgées, tôles laminées à chaud

X. 1. PRODUITS PLATS

Forme	Epaisseur (mm)	Largeur maximum (mm)	Etat
Bande laminée à froid livrée en couronnes	0,025 à 0,07	300	Ecroui ou recuit
	0,07 à 3	640	Ecroui ou recuit
Bande laminée à froid livrée en plaques coupées à longueur (longueur maximale 3500 mm)	0,1 à 3	10 à 640	Ecroui ou recuit
Tôle laminée à chaud	5 à 50	500 à 2 000	Brut de laminage Décapé

Imphy Alloys est à la disposition des utilisateurs pour toute demande spécifique.

X. 2. BARRES

Diamètre (mm)	Longueurs courantes de fabrication (mm)
$\Phi \leq 13$	2000 à 3000
$14 \leq \Phi \leq 80$	3000 à 4000
$\Phi > 80$	En fonction du diamètre et de la quantité commandée

Imphy alloys est à la disposition des utilisateurs pour toute demande spécifique.

X. 3. PIECES MOULEES ET FORGEES

Etude sur demande