

# MATERIALI METALLICI PER LA PRODUZIONE DI MONETE PIÙ SICURE

R. Montanari, N. Ielpo

*La crescente diffusione di monete contraffatte, sia nello scambio interpersonale che attraverso le macchine automatiche di distribuzione, richiede l'applicazione di più stretti criteri di sicurezza.*

*Partendo dal principio di funzionamento dei validatori di monete, meccanici ed elettronici, questo lavoro esamina le vie attraverso le quali possono esser prodotte monete più sicure.*

*Tra queste una delle più promettenti consiste nell'utilizzare metalli con caratteristiche resistivo-magnetiche non comuni.*

*I procedimenti proposti hanno il vantaggio di richiedere attrezzature industriali (laminatoi, forni per trattamenti termici ecc.) e conoscenze scientifiche non facilmente accessibili ai contraffattori.*

*Inoltre non sarà necessario adottare nuovi validatori di monete ma semplicemente calibrare diversamente quelli attualmente in uso.*

PAROLE CHIAVE: acciaio inox, rame e leghe, lavorazioni plastiche freddo, trattamenti termici, produzione

## INTRODUZIONE

La diffusione di monete false ha luogo fondamentalmente per due vie: lo scambio diretto tra le persone e le macchine, che vendono prodotti e servizi (vending machines).

Nello scambio interpersonale le monete si possono distinguere per il colore, la forma, il disegno, il peso e talvolta anche il suono. Tuttavia, non è molto difficile per i contraffattori realizzare dei falsi che possano ingannare coloro che non hanno una specifica conoscenza in materia, cioè la maggior parte delle persone.

Una gran parte dello spaccio di monete false avviene tramite le macchine che in tutto il mondo hanno un peso sempre più importante nella vendita di beni e servizi. Le macchine impiegano dei mezzi tecnici, i validatori di monete, per rigettare monete contraffatte, monete di altri paesi con minor valore, tondelli, gettoni ecc.. In questo lavoro, con specifico riferimento alle caratteristiche dei validatori, viene presentato un metodo da noi brevettato [1] per produrre monete più sicure utilizzando metalli con caratteristiche resistivo-magnetiche non comuni.

R. Montanari, N. Ielpo

Dipartimento di Ingegneria Meccanica,  
Università di Roma - Tor Vergata, Roma

## VALIDATORI MECCANICI ED ELETTRONICI DI MONETE

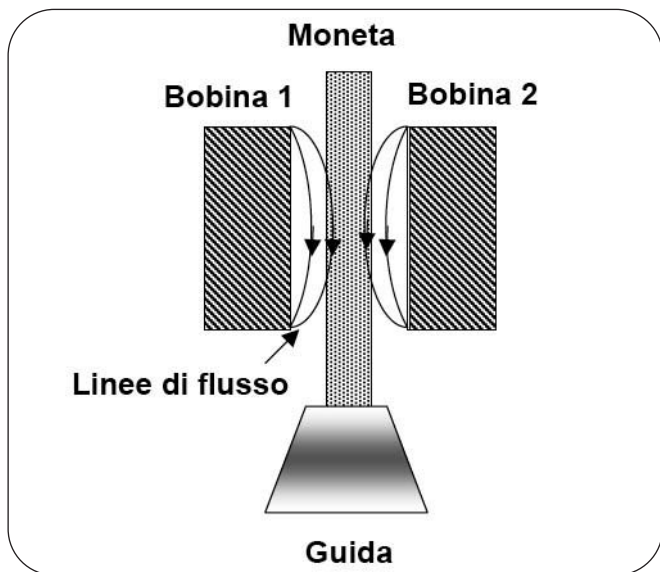
Di fatto esistono due tipologie di validatori: meccanici ed elettronici.

I validatori meccanici eseguono in serie i seguenti test sulla moneta: 1- lega, 2- diametro e spessore, 3- foro (alcune monete hanno un foro al centro), 4- morfologia dell'orlo, 5- durezza, 6- peso. Solo se la moneta inserita passa tutti i test è accettata, altrimenti viene respinta.

Il test della lega è il più importante e si esegue facendo passare la moneta, che si muove lungo una rotaia, attraverso il campo di un magnete permanente. Le correnti indotte determinano un campo di senso opposto e quindi frenano il moto della moneta; l'effetto risulta tanto maggiore quanto maggiore è la conducibilità elettrica. Dalla decelerazione è possibile distinguere monete che, a parità di altre caratteristiche, sono fatte di metalli con diversa conducibilità elettrica. Nel caso di materiali ferromagnetici anche la permeabilità magnetica contribuisce ad aumentare l'effetto frenante.

I test eseguiti dai validatori elettronici sono elencati di seguito, fra parentesi sono riportati i sensori utilizzati: 1- lega (induttivo), 2- diametro e spessore (induttivo, ottico), 3- altezza del rilievo e figura (induttivo, ottico, capacitivo), 4- morfologia dell'orlo (induttivo, ottico), 5- struttura della moneta, omogenea, stratificata, bi-metallica ecc. (induttivo), 6- massa (misura di accelerazione), 7- elasticità (acustico), 8- volume (induttivo).

I sensori induttivi consistono di una o più bobine disposte in



**Fig. 1** *Rappresentazione schematica di un sensore induttivo per la validazione di monete.*  
 Sketch of an inductive sensor for coin validation.

modo simmetrico rispetto alla rotaia sulla quale si muove la moneta (Fig.1). In genere le bobine sono la parte induttiva di un circuito elettrico risonante; quando la moneta passa tra le spire delle bobine l'induttanza cambia così la frequenza dell'oscillatore aumenta mentre l'ampiezza di oscillazione diminuisce. I metalli paramagnetici influenzano il comportamento del circuito attraverso la conducibilità elettrica, quelli ferromagnetici anche attraverso la permeabilità magnetica.

La densità delle correnti indotte dalle spire del sensore decresce con legge esponenziale dalla superficie all'interno della moneta. La profondità  $d$  (skin depth), dove la densità di corrente assume un valore pari al 37% ( $1/e$ ) del valore di superficie, può essere espresso dalla relazione:

$$d = \frac{1}{\sqrt{\pi f \sigma \mu}} \quad (1)$$

essendo  $f$  la frequenza,  $\mu$  la permeabilità magnetica and  $\sigma$  la conducibilità elettrica. Pertanto a parità di frequenza  $f$ ,  $d$  dipende da  $\sigma$  e  $\mu$ , proprietà intrinseche del metallo di cui è fatta la moneta.

Frequenze differenti sono usate per misurare caratteristiche diverse della moneta (spessore, diametro, conducibilità elettrica ecc.).

### COME PRODURRE MONETE PIÙ SICURE?

Il modo per produrre monete più sicure deve essere esaminato alla luce dei test eseguiti dai validatori. In realtà una moneta con caratteristiche di assoluta sicurezza non potrà mai esistere, l'obiettivo di questo ed altri lavori di ricerca consiste nell'individuazione di caratteristiche così complesse da richiedere conoscenze scientifiche ed apparati tecnico-industriali tali da essere a disposizione di zecche e grandi aziende ma difficilmente accessibili ai contraffattori. In questa logica possono essere adottati diversi approcci e soluzioni:

METALLO	CONDUCIBILITÀ ELETTRICA (I.A.C.S.)	Permeabilità magnetica
Ag	117	1
Cu	109	1
Au	86	1
Al	38	1
Zn	32	1
Ottone 70-30	26	1
Sn	17	1
Pt	17	1
Pb	8.9	1
Ti	4.4	1
Acciaio AISI 304	2.4	1
Nordic gold	16	1
Co	33	68
Ni	28	250
Acciaio al carbonio	14	2420

**Tab. 1** *Conducibilità elettrica e permeabilità magnetica di alcuni metalli puri e leghe.*  
 Electrical conductivity and magnetic permeability of some pure metals and alloys.

- 1- miglioramento della qualità delle monete (tolleranze molto più strette),
  - 2- geometria e struttura più complessa,
  - 3- uso di inserti (fili e laminette) di diversi metalli,
  - 4- monete formate da più strati metallici (struttura sandwich),
  - 5- deposizione di rivestimenti metallici o ceramici sulle superfici delle monete,
  - 6- microalligazione superficiale,
  - 7- microincisione superficiale,
  - 8- impiego di metalli con caratteristiche resistivo-magnetiche non comuni a quelli facilmente reperibili sul mercato.
- Le nostre ricerche hanno riguardato principalmente l'ultimo punto.

### CONDUCIBILITÀ ELETTRICA E PERMEABILITÀ MAGNETICA DEI METALLI

Come discusso precedentemente, tra i parametri usati dai validatori per distinguere le monete la conducibilità elettrica e la permeabilità magnetica giocano un ruolo fondamentale. Per questa ragione una strada, che si può percorrere per produrre monete più sicure, è quella di usare metalli con caratteristiche resistivo-magnetiche non comuni.

Valori di conducibilità elettrica e permeabilità magnetica di alcuni metalli sono riportati in tab. 1.

Gli ultimi tre metalli (cobalto, nichel e acciaio al carbonio) sono ferromagnetici mentre gli altri sono paramagnetici.

In realtà, i metalli paramagnetici non hanno lo stesso valore di permeabilità magnetica ( $\mu = 1$ ), come riportato in tabella. Tuttavia, le differenze tra loro sono così piccole, se confrontate con i valori tipici dei metalli ferromagnetici, da poter esser

considerate trascurabili. Per semplicità in Tab. 1 viene attribuito lo stesso valore di permeabilità magnetica a tutti i metalli paramagnetici.

Si può vedere come i metalli presentino grandi differenze di permeabilità magnetica formando due gruppi ben distinti: paramagnetici (basso valore di  $\mu$ ) e ferromagnetici (alto valore di  $\mu$ ). Nessun metallo puro possiede valori intermedi tra quelli dei due gruppi.

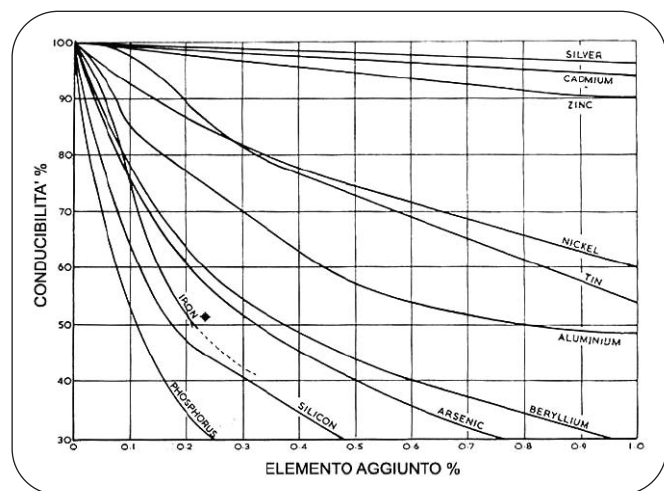
Per quanto riguarda la conducibilità elettrica i valori sono più dispersi. Inoltre questa proprietà è fortemente influenzata sia dalla densità dei difetti cristallini nel materiale, quindi dal suo stato (deformato, ricotto ecc.), che da impurità presenti anche in quantità molto piccole. Come esempio Fig.2 mostra come la conducibilità elettrica del rame vari quando sono presenti in lega piccole frazioni di altri elementi [2].

Dal momento che la conducibilità elettrica di un metallo può essere modificata in un esteso intervallo di valori (vedi per esempio ref.[3]), la misura di questa singola proprietà non rappresenta una garanzia sufficiente per distinguere i falsi.

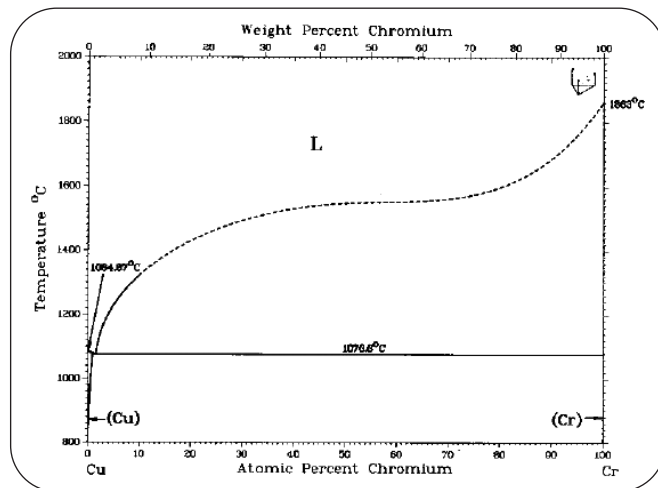
Questa considerazione ci ha indotti a studiare trattamenti metallurgici atti a modificare leghe già impiegate per monetazione o comunque presenti sul mercato per ottenere valori di permeabilità magnetica nell'intervallo tra i due gruppi (metalli paramagnetici e ferromagnetici) e quindi determinare una combinazione non comune di conducibilità elettrica e permeabilità magnetica.

Metalli con tali caratteristiche possono essere usati per produrre monete con più elevati standard di sicurezza.

Monete con valori di permeabilità magnetica intermedi possono essere prodotte unendo su scala macroscopica metalli paramagnetici e ferromagnetici come già si fa per esempio con le monete bi- e tri-metalliche. Si possono anche realizzare monete coniando tondelli con struttura stratificata ottenuta per *cladding*. Tuttavia, queste soluzioni presentano alcuni importanti inconvenienti: 1- non permettono di ottenere un qualsiasi valore voluto di permeabilità magnetica, 2- il materiale della moneta non è omogeneo per cui conducibilità elettrica e permeabilità magnetica rilevate dal sensore induttivo dipendono in modo critico dalla frequenza  $f$  impiegata nella prova in quanto la profondità del



▲ Fig. 2 **Variation of the electrical conductivity of copper in function of the quantity of different alloying elements [2].**  
*Electrical conductivity of copper vs. the quantity of different alloying elements [2].*



▲ Fig. 3 **Diagramma di stato Cr-Cu [4].**  
*Phase diagram Cr-Cu [4].*

segnale è una funzione di  $f$ .

Sulla base delle considerazioni svolte due possibili strade sono sembrate particolarmente promettenti per ottenere materiali omogenei su macroscale:

- 1- preparazione di leghe di rame con composizione opportunamente calibrata;
- 2- preparazione di acciai bifasici (martensite o ferrite / austenite) mediante trattamenti termomeccanici.

**PREPARAZIONE DI LEGHE DI RAME CON COMPOSIZIONE OPPORTUNAMENTE CALIBRATA**

Le proprietà magnetiche del rame possono essere modificate dalla presenza di soluti quali ferro, cromo e manganese, anche in quantità molto piccole dell'ordine di decine di ppm. Questi elementi producono un leggero magnetismo, effetto dovuto al rilassamento spin-reticolo. Le caratteristiche resistivo magnetiche di tali leghe non sono comuni e facili da riprodurre da parte di contraffattori.

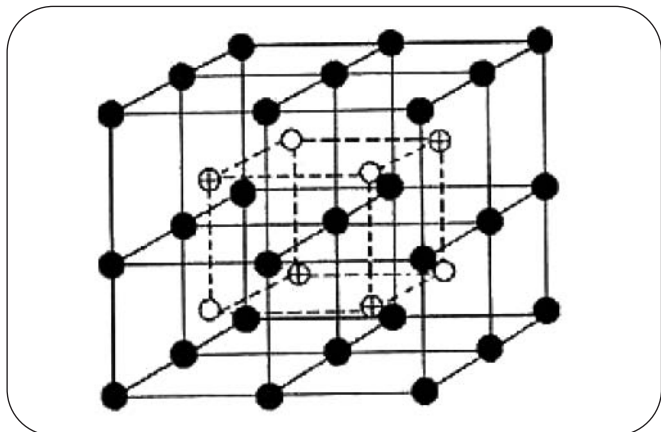
Tuttavia, il rame scioglie a temperatura ambiente quantità molto piccole di questi elementi come dimostra il diagramma di stato Cu-Cr riportato come esempio in Fig.3 [4].

Come si può vedere, a temperature inferiori a 800 °C, la matrice di rame riesce a sciogliere circa 100 ppm di cromo. Se sono presenti quantità superiori si forma una seconda fase, di fatto composta da cromo puro. I precipitati affinano il grano e rendono più resistente il metallo, fatto che costituisce un inconveniente nelle operazioni di laminazione, tranciatura dei tondelli e successiva coniazione.

D'altra parte, se il contenuto di soluto è dell'ordine di 100 ppm o più basso ancora, la sua distribuzione omogenea nella matrice potrebbe essere critica nel processo industriale.

Sulla base delle considerazioni svolte la composizione di queste leghe a base rame deve essere attentamente calibrata e i trattamenti termici accuratamente scelti per aver una distribuzione omogenea del soluto nel solvente ed evitare un eccessivo indurimento da precipitazione indesiderato nel processo di produzione delle monete.

Fra le leghe di rame un discorso a parte riguarda le leghe di Heusler. In generale, con questo termine si identificano composti intermetallici ternari di composizione stechiometrica



▲  
Fig. 4

Cella unitaria della lega  $Cu_2MnAl$ . Atomi di Cu (cerchi pieni), Al (vuoti) e Mn (con croce).  
Unit cell of  $Cu_2MnAl$  alloy. Atoms of Cu (solid circles), Al (open circles) and Mn (circles with cross).

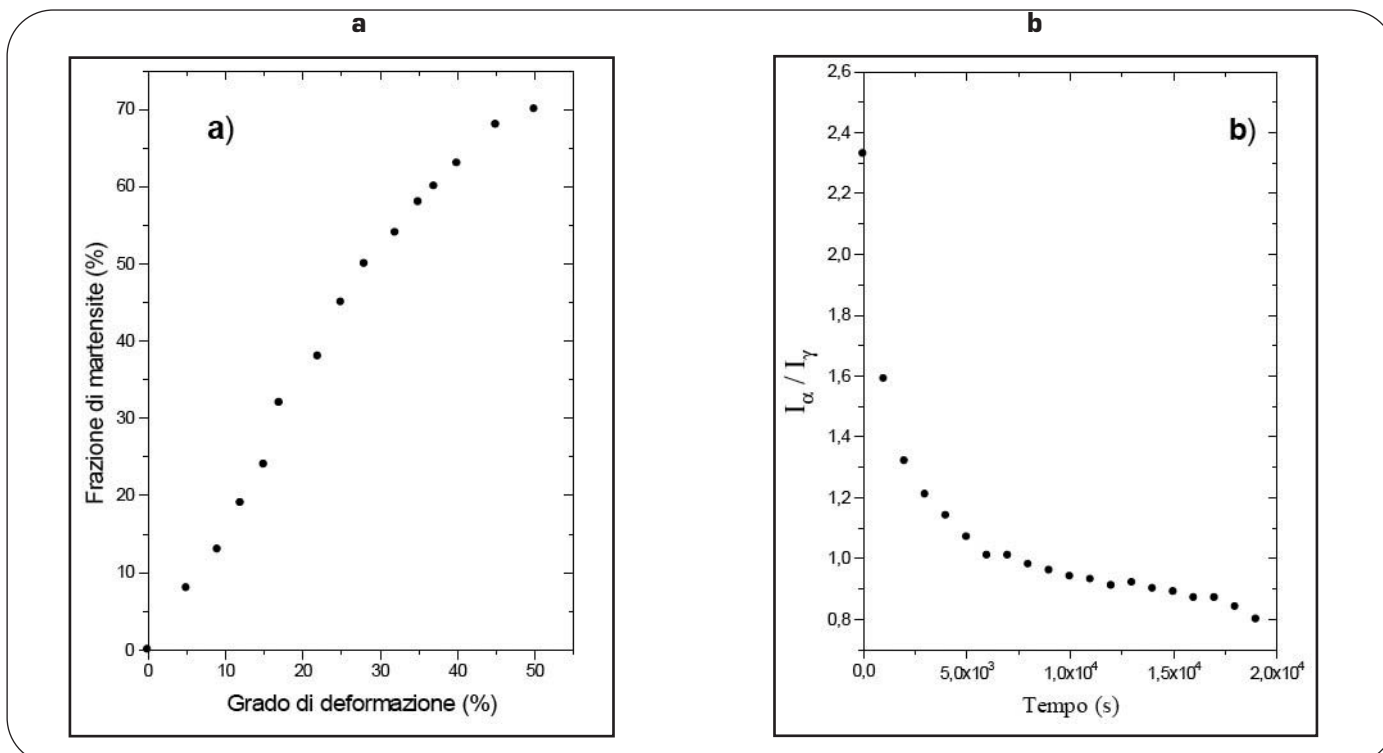
$A_2BC$ , dove A può essere un elemento 3d, 4d o 5d (Cu, Co, Ni, Pd ecc.), B = Mn, C = Al, Sn, In, Sb, Si, Ga, Ge o As. Pur essendo metallici i composti di Heusler possiedono momenti magnetici localizzati; le proprietà magnetiche dipendono fortemente sia dalla concentrazione degli elettroni di conduzione che dall'ordine chimico.

Fig.4 mostra la cella unitaria del composto  $Cu_2MnAl$  con struttura cfc (gruppo spaziale Fm3m). La lega  $Cu_2MnAl$  è ferromagnetica con temperatura di Curie  $T_C=330$  °C [5]. Informazioni dettagliate sulle proprietà elettriche, magnetiche e strutturali di questo composto si possono trovare nei lavori [6-8].

**PREPARAZIONE DI ACCIAI BIFASICI (MARTENSITE E AUSTENITE) MEDIANTE TRATTAMENTI TERMO-MECCANICI**

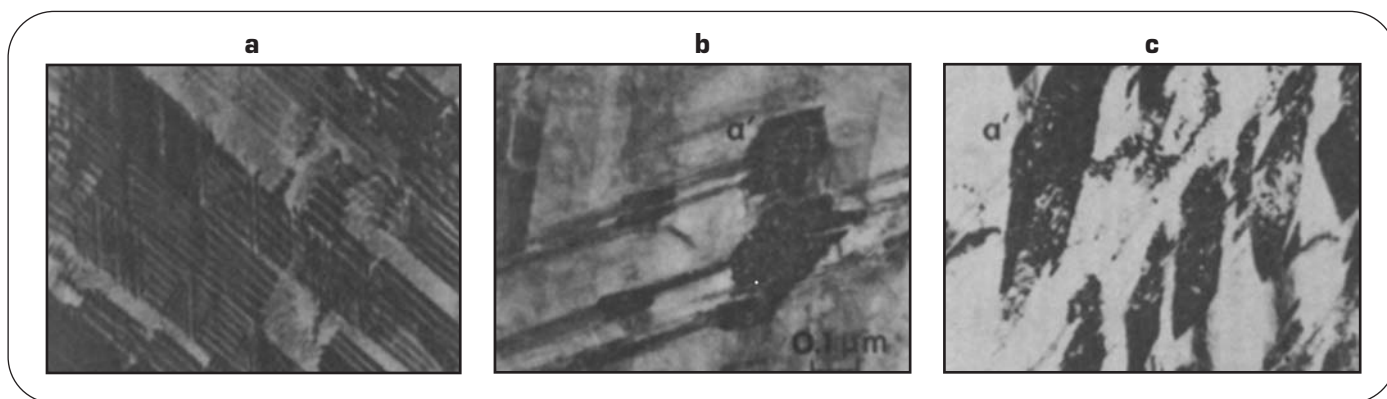
In numerosi acciai austenitici si forma martensite a seguito di deformazione plastica [9]. In generale, la quantità di martensite cresce al crescere del tasso di deformazione. La trasformazione può essere invertita mediante opportuni trattamenti termici [10-13]. Così mediante deformazione plastica e trattamenti termici si può calibrare con precisione (circa 1%) la frazione delle due fasi, una paramagnetica (austenite), l'altra ferromagnetica (martensite). Di seguito l'acciaio AISI 304 verrà usato come esempio ma le considerazioni sono valide per tutti gli altri acciai che presentano questo fenomeno.

Fig.5 a) mostra come varia la quantità di martensite in funzione del tasso di deformazione per laminazione a freddo. In b) si riportano risultati di misure di diffrazione dei raggi X eseguite direttamente in temperatura (400°C) per tempi crescenti durante un trattamento termico dell'acciaio con struttura iniziale bifasica ( $\alpha' + \gamma$ ). La diminuzione del rapporto  $I_\alpha / I_\gamma$ , tra le intensità delle righe {211} della martensite e {220} dell'austenite indica la progressiva reversione della martensite [14].



▲  
Fig. 5

Acciaio AISI 304: a) frazione di martensite in funzione del grado di deformazione per laminazione a freddo; b) l'andamento del rapporto  $I_\alpha / I_\gamma$  tra le intensità della riga di diffrazione X {211} della martensite e quella {220} dell'austenite indica la progressiva reversione martensitica durante il trattamento termico a 400 °C [14].  
AISI 304 steel: a) martensite fraction vs. deformation degree by cold rolling; b) the trend of  $I_\alpha / I_\gamma$  ratio between the intensities of X-ray reflections {211} of martensite and {220} of austenite shows the progressive martensite reversion during the heat treatment at 400 °C [14].



▲  
Fig. 6

**Acciaio AISI 304 steel: le micrografie TEM mostrano gli stadi successivi della trasformazione martensitica indotta da deformazione plastica [9].**

*AISI 304 steel: TEM micrographs show the successive stages of the martensitic transformation induced by plastic deformation [9].*

Il meccanismo fisico della trasformazione  $\gamma \rightarrow \alpha'$  indotta dalla deformazione plastica è stato studiato a fondo ed è descritto in letteratura [9]. Esso consiste di una serie di passi successivi:

- 1- la deformazione plastica dà luogo a bande di scorrimento parallele, geminati e difetti di impilamento (Fig.6 a);
- 2- embrioni di martensite  $\alpha'$  si formano per scorrimento del cristallo all' intersezione delle bande di scorrimento, geminati e difetti di impilamento (Fig.6 b);
- 3- sopra una dimensione critica (~10 nm) gli embrioni diventano nuclei stabili (blocchi) di martensite (Fig.6c);
- 4- un ulteriore incremento di deformazione plastica provoca la coalescenza dei blocchi di martensite a formare blocchi di maggior dimensione.

Come mostrato da Fig.6 le due fasi (austenite e martensite) hanno dimensioni microscopiche e sono mescolate su scala microscopica.

La trasformazione  $\gamma \rightarrow \alpha'$  implica una variazione di permeabilità magnetica essendo l'austenite paramagnetica e la martensite ferromagnetica. Pertanto mediante un'opportuna calibrazione della deformazione plastica o del trattamento termico si possono ottenere tutti i valori di permeabilità magnetica intermedi. Di fatto, da questo punto di vista si ottiene un "nuovo materiale".

Il metodo produce un materiale in cui le fasi paramagnetica e ferromagnetica sono di dimensione microscopica e mescolate su scala microscopica. Questa è un'importante differenza rispetto a quanto si ottiene con altri metodi (*cladding*, monete bimetalliche e trimetalliche, ecc.) dove i metalli con diverse caratteristiche sono uniti su scala macroscopica. In questo caso i validatori di monete misurano sempre lo stesso valore di permeabilità magnetica indipendentemente da posizione e dimensione delle bobine e dalla frequenza impiegata, che determina lo spessore di materiale su cui si esegue la prova.

## CONCLUSIONI

Monete con più elevati standard di sicurezza possono essere realizzate utilizzando metalli con proprietà resistivo-magnetiche non comuni. Considerando il principio di funzionamento dei validatori di monete presenti nelle macchine distributrici di prodotti e servizi è di fondamentale impor-

tanza che queste proprietà siano omogenee in tutto il materiale di cui è fatta la moneta.

Il lavoro mostra come alcune leghe di rame con composizione opportunamente calibrata ed alcuni acciai bifasici (martensite e austenite) possano soddisfare questi requisiti.

La preparazione di questi materiali su larga scala richiede attrezzature industriali (laminatoi, forni ecc.) e conoscenze tecniche difficilmente a disposizione dei contraffattori di monete. Un ulteriore vantaggio del metodo proposto è che non richiede la sostituzione dei validatori di monete attualmente in uso ma solamente una loro diversa calibrazione.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) R. MONTANARI e N. IELPO, Procedimento per la produzione di monete con un elevato standard di sicurezza mediante l'impiego di materiali a permeabilità magnetica predefinita, Brevetto RM2005A000196.
- 2) R.A. HIGGINS, Engineering Metallurgy – Part I, Edward Arnold, London, 1993, p. 377.
- 3) <http://www.matweb.com>
- 4) T.B. MASSALSKI, Binary Alloy Phase Diagrams – Vol. 1, American Society for Metals, Metals Park-Ohio, p. 820.
- 5) LANDOLT-BÖRSTEIN New Series 1988 Group III, Vol. 19c (Berlin: Springer) pp. 75-185.
- 6) R. KOZUBSKI and J. SOLTYS, J. Mater. Sci., 17 (1982) p.1441.
- 7) J. SOLTYS, M. STEFANIAK and J. HOLENDER, Phil. Mag. B 49 (1984) p.151.
- 8) Y. SAKKA and M. NAKAMURA, J. Mater. Sci. 25 (1990) p.2549.
- 9) P. MARSHALLI, Austenitic stainless steels-microstructure and mechanical properties, Elsevier, New York, 1984, p.30.
- 10) R. MONTANARI, Materials Letters 8 (1989) p.297.
- 11) R. MONTANARI, Zeitschrift für Metallkunde., 81-H2 (1990) p.114.
- 12) F. GAUZZI, R. MONTANARI, G. PRINCIPI, A. PERIN, M.E. TATA, Mater. Sci. & Eng. A 273-275 (1999) p.443.
- 13) M.E. TATA, F. GAUZZI, A. MADDALENA, R. MONTANARI, G. PRINCIPI, Atti del 28° Convegno Nazionale AIM, Milano Novembre 2000, p.1115.
- 14) F. GAUZZI, R. MONTANARI, G. PRINCIPI, M.E. TATA, Mater. Sci. & Eng. A 438-440 (2005) p. 202.

# ABSTRACT

## METALLIC MATERIALS FOR COINS OF HIGHER SECURITY STANDARDS

### Keywords:

This paper describes a patented method to produce coins of higher security standards [1].

Today, in addition to interpersonal exchange, a lot of coin transactions are performed through vending machines. Vending machines use technical means (mechanical and electronic coin validators) for rejecting slugs (counterfeited coins, lower value foreign coins, tokens etc.). Many tests are carried out, among them the alloy test is the most relevant.

In mechanical validators coins move along a rail through a magnetic field which induces Eddy currents giving rise to a force opposite to the motion direction: higher the electrical conductivity of the coin, larger the braking. In the case of ferromagnetic materials also magnetic permeability plays a role enhancing the braking effect.

In electronic validators there are more coils symmetrically allocated with respect to a runway on which the coin moves (see Fig. 1). They are part of a resonant circuit; when the coin passes through the coils the frequency increases and the amplitude decreases. The paramagnetic metals influence the circuit response through their electrical conductivity, the ferromagnetic ones also through the magnetic permeability.

The current density inside the coin exponentially diminishes from the surface inwards. The skin depth  $d$ , i.e. the depth where the current density becomes 37% ( $1/e$ ) of the surface value, is expressed by eq. (1) being  $f$  the frequency,  $\mu$  the magnetic permeability and  $\sigma$  the electrical conductivity.

On the basis of the tests performed by coin validators different routes can be envisaged to produce safer coins; the present paper focuses the attention on materials with uncommon magnetic-resistive characteristics.

Electrical conductivity and magnetic permeability of some metals are reported in Tab. 1.

The values of electrical conductivity are quite scattered, in addition this property is affected by crystal defects and impurities, also in very small amounts, as shown in Fig. 2 for copper [2]. Since electrical conductivity can be modified in an extended range of values [3], the measurement of this single property is not a sufficient guarantee to identify the slugs.

Table 1 clearly shows that metals exhibit great differences of magnetic permeability (low values for paramagnetic materials, high values for ferromagnetic materials). No metal has intermediate values.

This consideration induced us to investigate metallurgical treatments able to suitably modify some alloys available on the market to get values of magnetic permeability in the middle range.

The task can be accomplished by joining on macro-scale paramagnetic and ferromagnetic metals (for example by cladding), however the material is not homogeneous along its thickness thus the combination of electrical conductivity and magnetic permeability "experienced" by sensors depends on the frequency  $f$  employed in the test (skin depth  $d$  is a function of  $f$ ).

Two possible routes have been considered to obtain materials homogeneous on macro-scale:

1. composition tailoring of copper alloys,
2. martensitic transformation induced by thermo-mechanical treatments in some austenitic steels.

The magnetic properties of copper can be modified by addition of alloying elements such as iron, chromium and manganese also in very small quanti-

ties (tens of ppm). Magnetic-resistive characteristics of such alloys are uncommon and not easily reproducible by counterfeiters.

When the content of impurities is of the order of 100 ppm or lower, their homogeneous distribution in the matrix could be a critical aspect in the industrial process of blank production. On the other hand, the solubility of these elements in copper is very low. An amount of impurities above 100 ppm gives rise to the formation of second phases with consequent hardening, a serious drawback for rolling and coining operations. For instance, at temperatures below 800° C about 100 ppm of Cr can be dissolved in the Cu matrix (see Cu-Cr phase diagram in Fig. 3 [4]). If a higher Cr quantity is present in the alloy, a second phase forms and is made of nearly pure Cr. Cr precipitates increase the recrystallization temperature, refine the grain and harden the metal. Therefore, a careful tailoring of composition is of the utmost importance to avoid an excessive hardening and an inhomogeneous distribution of solute in the matrix.

Among copper alloys of particular interest are Heusler alloys, intermetallic ternary compounds ( $A_2BC$ ). The alloy  $Cu_2MnAl$ , whose structure is displayed in Fig. 4, is ferromagnetic with Curie temperature of 330° C [5]. Details of its electrical and magnetic properties can be found in ref.[6-8].

The other route investigated by us to prepare metals with uncommon magnetic properties regards those austenitic stainless steels, which undergo a martensitic transformation induced by plastic deformation [9]. Austenite (paramagnetic  $\gamma$  phase) transforms to martensite (ferromagnetic  $\alpha$  phase); higher the deformation degree, larger the amount of martensite. The transformation can be reverted by suitable heat treatments [10-13].

In the following AISI 304 steel, one of the most used metals exhibiting such phenomenon, has been chosen as example. Fig. 5 shows how the martensite fraction increases with the deformation degree by cold rolling (left) and decreases after heat treatment at 400° C (right).

The physical process of austenite to martensite transformation induced by plastic deformation consists of successive steps, which can be described as follows [9]:

- 1- formation of parallel slip bands, twins and stacking faults (Fig. 6 a);
- 2- martensite embryos originate from crystal shears at the intersection of slip bands, twins and stacking faults (Fig. 6 b);
- 3- above a critical size (10nm) embryos become stable blocks of martensite (Fig. 6 c);
- 4- when the degree of plastic deformation is further increased blocks coalesce forming blocks of larger size.

As displayed in Fig. 6, the two phases (austenite and martensite) have microscopic size and are mixed on microscopic scale.

In conclusion the relative amounts of martensite and austenite can be suitably changed through plastic deformation and heat treatments, the  $\gamma \rightarrow \alpha'$  transformation involves a change of magnetic permeability and the two phases are mixed on microscopic scale. On the contrary of other methods (cladding, bimetallic coins etc.) where metals with different characteristics are joined on macroscopic scale, coin validators detect always the same value of magnetic permeability independently on position and size of coils or frequency used in the test.

Both the routes considered here to get materials with uncommon magnetic-resistive properties require industrial equipments and scientific know-how not easily accessible to counterfeiters.

In addition, they do not require the introduction of new coin validation devices but only a different calibration of those currently in use.