

9-4 دورة التخلف المغناطيسي Hysteresis loop

من دراسة البنود السابقة يمكن القول انه اذا وضعت مادة في مجال مغناطيسي خارجي فإن شدة التـمغنـط M تتوقف قيمتها على نوع المادة وشدة المجال المغناطيسي H وكذلك درجة الحرارة. وتنقسم المواد الفيرومغناطيسية من حيث تأثير المجال المغناطيسي الخارجي عليها إلى قسمين رئيسيين نستعرضهما فيما يلي:

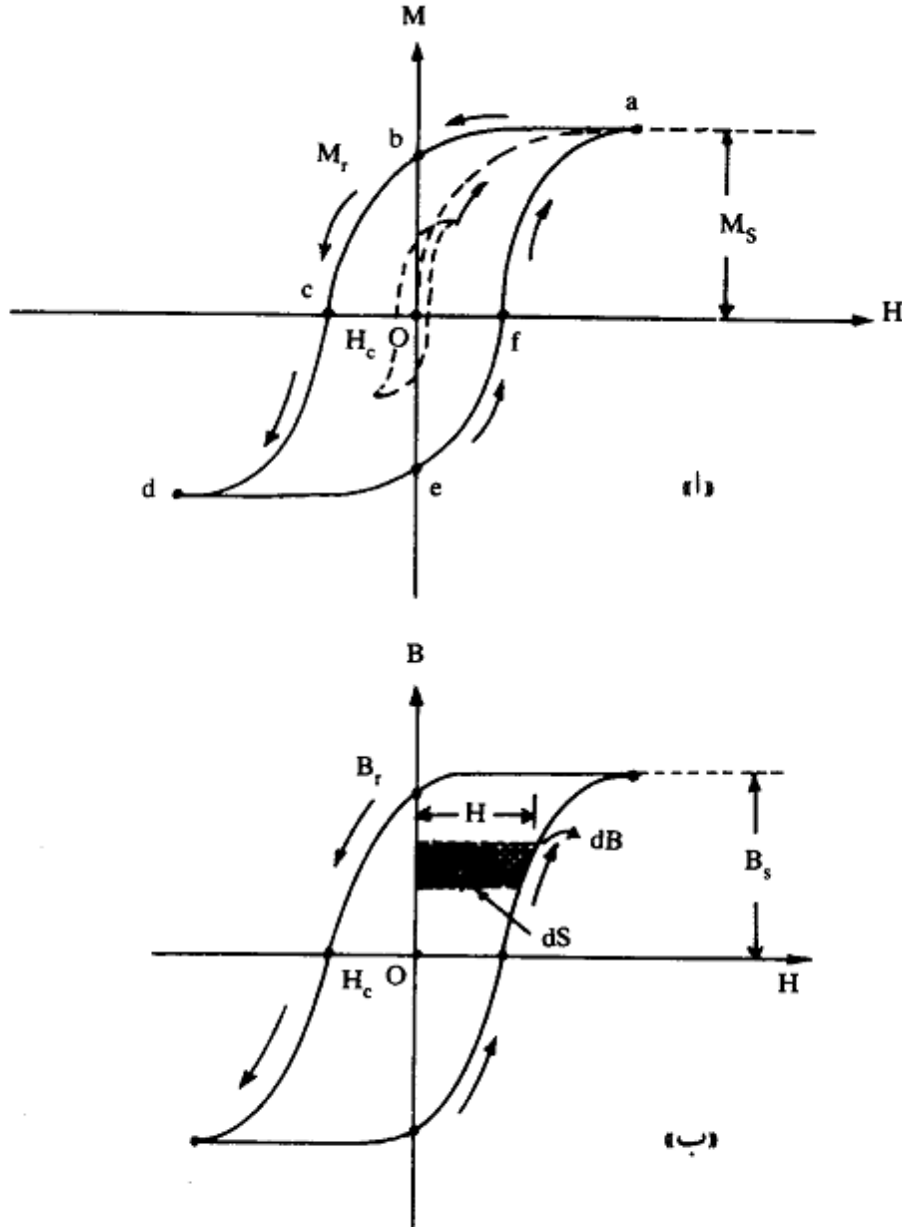
9-4-1 مواد فيرومغناطيسية صلبة Hard ferromagnetic material

وهي نوع من أنواع الفولاذ (steel) فإذا سلط عليها مجال مغناطيسي خارجي فإنها تحتفظ ببعض مغناطيسيتها حتى بعد زوال المجال الخارجي .

فإذا وضعت مادة حديدية مغناطيسية صلبة في مجال مغناطيسي H ، كما في شكل (4-5) ناتج عن تيار كهربائي مار في ملف حلقي (teroidal coil) فإن العلاقة بين شدة التـمغنـط M للمادة والمجال المغناطيسي H المسلط عليها يوضحها الشكل (4-5) أ . ويتبع سلوك التـمغنـط من البداية حيث تكون $M = 0$ عندما $H = 0$ نجد أنه إذا زاد المجال المغناطيسي فإن العزوم الذرية ستوجه نفسها مع المجال المغناطيسي وتزداد هذه العزوم مع زيادة H ويزداد تبعاً لذلك شدة التـمغنـط M حتى نصل إلى قيمة معينة لـ H عند النقطة (a) حيث تصبح كل العزوم متجهة مع المجال المغناطيسي ولا يمكن بعدها زيادة M بزيادة H وتسمى هذه الحالة بالتشبع المغناطيسي (saturation magnetization) M_s حيث $M_s = N P_m$.

فإذا نقصت H فإن M تنقص ولكن على خط عودة آخر. فإذا أصبحت $H = 0$ نجد أن هناك مغنطة متبقية ممثلة بالنقطة b. أي أنه رغم زوال المجال المغناطيسي فإن المادة مازالت ممغنطة بمغناطيسيتها وهذا يعني أن بعض العزوم الذرية مازالت باقية على اتجاهها، ويتولد ما نسميه بالمغناط الدائمة (permanent magnets) وتسمى شدة المغنطة في هذه الحالة بالمغنطة المتبقية «التخلف» M_r (remanent magnetization). ولإزالته يجب تسليط مجال مغناطيسي معاكس حتى تصل إلى النقطة c وعندما تنعدم المغنطة M رغم وجود مجال مغناطيسي يسمى المجال في هذه الحالة بالمجال القاهر H_c (coercive field) الذي يزيل المغنطة. وبزيادة المجال المغناطيسي الخارجي H في الاتجاه المعاكس يمكن الوصول إلى حالة الشبع d وإذا عكس المجال مرة أخرى فإنه يمكن الحصول على النقطتين e و f المناظرتين لـ b و c ثم إلى النقطة a مرة أخرى.

وتسمى هذه الظاهرة بالتخلف المغناطيسي (magnetic hysteresis) وتسمى الدورة الكاملة المغلقة بدورة التخلف المغناطيسي (hysteresis loop) ويعتمد حجمها على نوع المادة وشكلها والقيمة العظمى للمجال المغناطيسي كأن تختار قيمة H بحيث يعطينا الدورة الكاملة الصغيرة الممغنطة المبينة في شكل (4-5) أ.

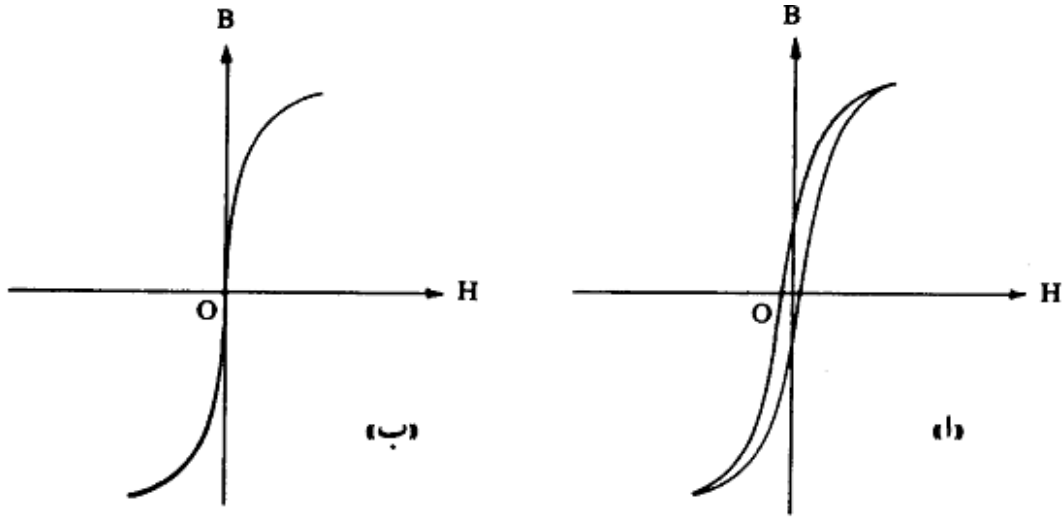


شكل (4-5) أ - دورة ممغنطة كاملة بين M و H «دورة التخلف المغناطيسي لمادة حديدية مغناطيسية صلبة».

ب - دورة تخلف كاملة بين B و H .

2-9-4 مواد فيرومغناطيسية رخوة (مطاوع) Soft ferromagnetic material

مثل الحديد المطاوع، وهذه المواد تتمغنط بسهولة في المجال المغناطيسي الخارجي ولكنها تفقده بسهولة عند زواله أي لا تبقى أي اثر للمغناطيسية بعد زوال المسبب. أما المواد الفيرومغناطيسية الرخوة، مطاوعة فإن السلوك المثالي للدورة المغناطيسية يمثلها الشكل (6-4) أ. ولكن لا يمكن الحصول على ذلك بصورة عملية ولكن يمكن القول ان دورة التخلف المغناطيسية للمواد الفيرومغناطيسية الرخوة تكون ضيقة جداً.



شكل (6-4) أ - دورة تخلف مغناطيسية لمادة حديد ومغناطيسية صلبة تختلف عن المادة التي وردت دورة تخلفها في الشكل (4-5).
ب - دورة التخلف لمادة حديد ومغناطيسية رخوة مثالية .

9-5 الطاقة اللازمة لمغنطة المواد الفيرومغناطيسية

لحساب الطاقة اللازمة لمغنطة المواد الفيرومغناطيسية نفرض أن طول الملف l ومساحة مقطعة S وأن التيار المار به فإنه حسب المعادلة () يكون:

$$H = \frac{nI}{l} \quad (29-4)$$

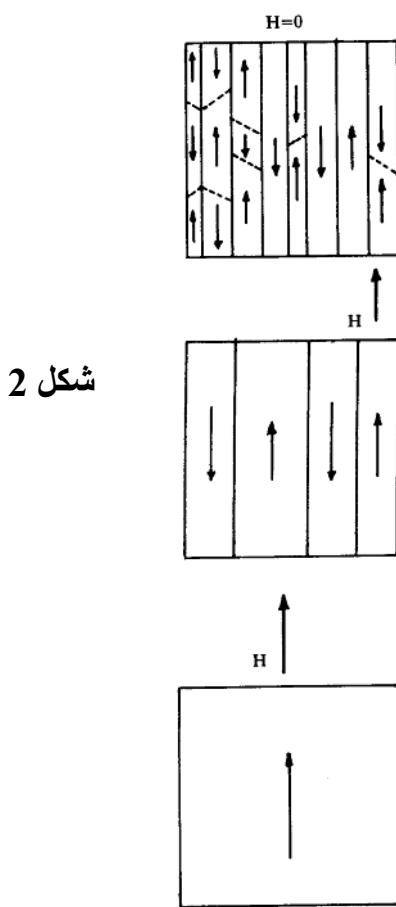
حيث n يمثل عدد لفات الملف.

فإذا زاد التيار زيادة مقدارها dI في زمن قدره dt فإن المجال يزيد مقداراً قدره dH وكذلك الحث المغناطيسي dB وبذلك تكون الزيادة في الفيض المغناطيسي (flux) هي :

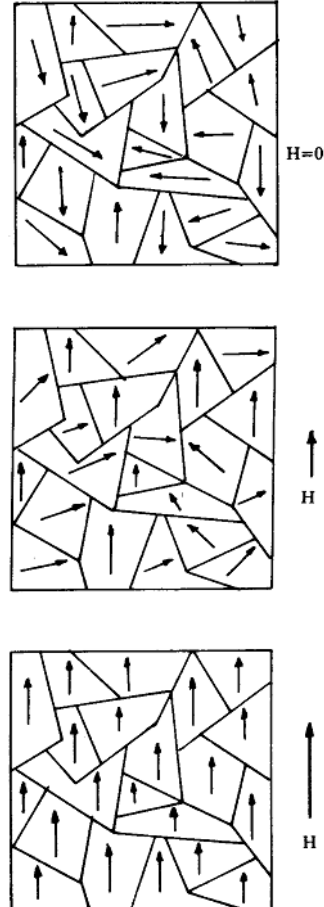
$$d\Phi = SdB \quad \dots \dots \dots (30-4)$$

يمكن تعريف مناطق التكوين بانها مناطق متباينة دخل المادة الفيرومغناطيسية بحيث تكون عزوم كل منطقة لها الاتجاه نفسه أي تكون في حالة تشبع مغناطيسي بصورة منعزلة أي يمكن تمثيل مجموعة العزوم لكل منطقة بمتجه واحد. وتكون هذه المتجهات «العزوم» لكل المناطق في حالة عشوائية، أي أن محصلتها تساوي الصفر، إذا كانت المادة غير ممغنطة كما في شكل 1 أ

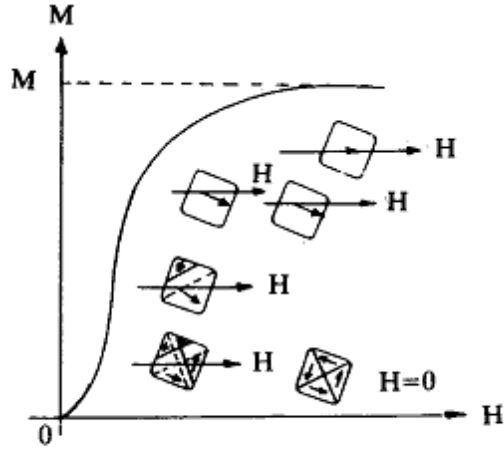
وقد تحدث تغيرات مختلفة للمناطق عندما توضع العينة في مجال مغناطيسي خارجي فإذا كان المجال ضعيفا فإن التغير ينحصر في دوران اتجاهات تمغنط المناطق بحيث تتخذ الاتجاه الأقرب إلى اتجاه المجال كما في 1 ب. ويزداد هذا الاتجاه كلما زاد المجال الخارجي كما في شكل 1 ج. وقد يتضمن التغير في تحرك حدود المناطق (domain boundaries)، وتسمى أيضا بجدر المناطق (domain walls)، فتكبر المناطق التي يكاد اتجاه تمغنطها يوازي المجال الخارجي على حساب المناطق الأخرى كما في شكل 2



شكل 2



شكل 1



شكل 3 العلاقة بين توجيه المناطق وشدة التمهظ M كلما زاد المجال المغناطيسي.

وتختلف أحجام المناطق بحيث تكون أبعادها تتراوح بين 10^{-4} سم إلى حدود المليمترات بل أحيانا إلى السنتيمترات. ويوضح الشكل 3 العلاقة بين توجيه المناطق وشدة التمهظ M مع تغيير المجال المغناطيسي الخارجي.

10-5 الدوائر المغناطيسية Magnetic circuit

فكرة الدوائر المغناطيسية تماثل الدوائر الكهربائية (electric circuit) المعروفة. فقد وجد في الفصل الثاني، أن خطوط القوى المغناطيسية داخل الملف الحلقي تمثل بمسار مغلق، يشبه تماما مرور تيار كهربائي في دائرة مغلقة، وأنه بتطبيق قانون أمبير على هذا المسار فإن الحث المغناطيسي B داخل الملف الحلقي، حسب المعادلة، يساوي:

$$B = \mu_0 NI/l$$

حيث N عدد لفات الملف و l طول المسار و I التيار المار في الملف و μ_0 نفاذية الفراغ. وإذا وضعت مادة قابلة للتمهظ فإن:

$$B = \mu NI/l$$

وإذا فرض أن S مساحة مقطع الملف الحلقي فإن التدفق المغناطيسي العمودي على S يعطى، حسب المعادلة كالتالي:

$$\Phi = B S$$

$$\therefore \Phi = \mu N I S / l$$

أو

$$\Phi = \frac{NI}{l/\mu S} \quad \dots \dots \dots (36-4)$$

وبمناظرة هذه المعادلة مع معادلة قانون اوم (راجع) والخاصة بالدوائر الكهربائية وهي :

$$I = \frac{V}{l\rho/S}$$

حيث l سلك المقاومة و ρ المقاومة النوعية و S مساحة مقطع السلك ؛ نجد تشابها كبيرا بينهما حيث يلاحظ أن المقدار NI يقابل القوة الدافعة الكهربائية والمقدار $l\mu S$ يقابل المقاومة $l\rho/S$ ولهذا السبب فإن المقدار NI يسمى بالقوة الدافعة المغناطيسية (magneto-motive force) ويسمى المقدار $l\mu S$ بالممانعة (نفور) المغناطيسية (reluctance) وتسمى المعادلة (36-4) معادلة الدائرة المغناطيسية .

وإذا رمز للممانعة المغناطيسية بالرمز \mathcal{R} حيث :

$$\mathcal{R} = l\mu S \quad \dots \dots \dots (37-4)$$

فإن المعادلة (36-4) تصبح:

$$\Phi = \frac{NI}{\mathcal{R}} \quad \dots \dots \dots (38-4)$$