

CONTRÔLE NON DESTRUCTIF

La magnétoscopie n'a pas dit son dernier mot

▼ **La magnétoscopie est l'une des plus anciennes méthodes de contrôle non destructif. Couramment employée dans l'automobile, l'aéronautique ou encore l'industrie pétrolière pour inspecter des pièces ferromagnétiques, elle souffre cependant d'une image peu attractive. Pourtant la méthode a connu ces dernières années des évolutions majeures. De nouveaux procédés de magnétisation sont venus faciliter sa mise en œuvre et raccourcir les temps de contrôle. D'autres méthodes telles que la magnétoscopie sans contact ouvrent la voie à des applications qu'il n'était pas possible d'envisager jusqu'alors... Et le mouvement se poursuit. Loin d'avoir dit son dernier mot, la magnétoscopie est déjà prête à surmonter de nouveaux défis.**

Elle fait rarement parler d'elle, et pourtant la magnétoscopie fait partie des méthodes "incontournables" de contrôle non destructif. On l'utilise depuis plusieurs dizaines d'années dans les industries automobiles, aéronautiques ou encore ferroviaires pour contrôler des pièces en fer, en fonte, des aciers forgés, des soudures, des tôles, des tubes... bref, toutes sortes de pièces de géométrie simple ou complexe, pourvu que le matériau qui les constitue soit de nature ferromagnétique. La méthode est complémentaire à celle des ultrasons ou des courants de Foucault. Là où les ultrasons détectent les

défauts situés à une certaine profondeur, la magnétoscopie met en évidence tous les défauts débouchants (jusqu'à quelques micromètres de largeur), et certains défauts sous-jacents peu profonds. Contrairement aux courants de Foucault, elle ne craint pas les effets de bord, et surtout elle ne se limite pas à un contrôle ponctuel. La magnétoscopie fait en effet partie des techniques dites "globales",

qui autorisent l'inspection de l'ensemble d'une pièce en une seule opération. Les contrôles, relativement rapides, s'effectuent aussi bien sur des vis de dix millimètres de long que sur des vilebrequins de train de plus d'une centaine de kilos. Le principe, lui, reste toujours le même. Il consiste à soumettre la pièce à contrôler à un champ magnétique intense. Le flux magnétique qui la traverse suit alors le chemin le plus simple. Lorsqu'il parvient à un obstacle dû à la présence d'un défaut (tel qu'une fissure ou une inclusion), il le contourne. Si le champ magnétique appliqué est faible, cela ne pose aucun problème : les lignes de champ se répartissent de part et d'autre du défaut. Mais si l'on applique un champ suffisamment élevé, les lignes de champ proches de la surface ne trouvent plus assez de place pour circuler à l'intérieur du matériau. Elles vont alors choisir le chemin le plus simple en sortant de la pièce. Ce phénomène crée un champ magnétique appelé "champ de fuite". Il suffit ensuite d'appliquer un produit révélateur et d'éclairer la pièce avec la longueur d'onde adéquate (généralement l'ultraviolet) pour que le défaut soit mis en évidence. Reste une petite particularité : le défaut est d'autant mieux détecté qu'il est orienté dans une direction perpendiculaire aux lignes de champ autrement dit parallèle aux lignes de courant. Pour s'assurer que l'on détecte bien tous les défauts présents à la surface de la pièce, il faut donc appliquer à la pièce deux

directions de champ orthogonales. Tandis qu'une aimantation longitudinale (dans le sens de la longueur de la pièce) mettra en évidence les défauts transversaux, l'aimantation transversale (dans le sens de sa largeur) détectera les défauts longitudinaux...

Une seule magnétisation au lieu de deux

Cette particularité a donné lieu à plusieurs variantes de la méthode. Le principe le plus ancien est celui du "champ tournant sur banc". Théoriquement, la magnétoscopie impose de réaliser deux magnétisations orientées perpendiculairement : l'une (transversale) en faisant passer un courant dans la pièce, l'autre (longitudinale) à l'aide d'un solénoïde entourant la pièce, ou de têtes magnétiques disposées à ses extrémités. La méthode est efficace mais elle nécessite deux opérations distinctes, et donc un temps d'inspection relativement long. En 1972, la société Fluxo (alors filiale de SREM) développe un nouveau procédé pour pallier cet inconvénient. Elle décrit le moyen de soumettre la pièce à l'action simultanée de deux champs magnétiques, tous deux périodiques et déphasés. On obtient alors un vecteur de magnétisation résultant tournant. Mais le procédé ne convainc pas... Il faut dire que la grande majorité des contrôles sont alors effectués avec des têtes magnétiques continues, et que le nouveau principe nécessite des champs magnétiques alternatifs. Il faut attendre le milieu des années 90, et l'apparition de têtes magnétiques alternatives, pour que l'idée refasse surface. Le principe, appelé "aimantation simultanée" ou "par champ tournant sur banc" séduit rapidement les constructeurs automobiles qui y voient le moyen d'augmenter les cadences du contrôle. D'autres, en revanche, confondent ce nouveau procédé avec celui de "l'aimantation combinée". Dans ce cas, la pièce est soumise à une aimantation transversale puis longitudinale, sans observation intermédiaire, en même temps que l'arrosage par le

L'essentiel

- ▶ Les premiers bancs de magnétoscopie sont apparus dans les années 50.
- ▶ Cette méthode de contrôle non destructif a su profiter des progrès réalisés dans l'électronique et l'informatique pour fiabiliser et simplifier les contrôles.
- ▶ Parallèlement, les techniques de magnétisation se sont développées. Parmi elles, le champ tournant par passage de courant induit offre de belles perspectives.



La magnétoscopie consiste à soumettre la pièce à contrôler à un champ magnétique intense, puis à l'arroser avec un produit révélateur qui mettra en évidence les défauts à l'aide d'un éclairage spécifique.

révélateur. L'arrosage présente le risque non négligeable de "laver" les défauts, et cela influe très nettement sur la qualité finale du contrôle... Malgré cette confusion, la nouvelle méthode est bien accueillie par le marché. Les pièces sont magnétisées en une seule opération, et la qualité du contrôle est préservée. Reste que ce procédé met en évidence uniquement les défauts débouchants. Le courant alternatif ne circule en effet qu'en surface (c'est l'effet de peau).

Un autre point fait l'objet de tous les débats. Pour réaliser une aimantation transversale, on fait généralement circuler un courant électrique dans la pièce à contrôler. Si celle-ci

est reliée au générateur par des longueurs de câbles importantes, il y a une forte chute de tension entre le générateur et la pièce. Pour la compenser, on utilise une tension à vide plus importante. Si le contact entre les électrodes et la pièce est de mauvaise qualité, il y a donc un risque non négligeable de générer des arcs électriques, et d'endommager à la fois la pièce et l'installation. De plus, la pièce aimantée par un passage direct du courant doit rester solidaire du dispositif d'alimentation.

Conscients de ces limites, les professionnels de la magnétoscopie se sont alors penchés sur d'autres techniques de magnétisation. →

Un spécialiste du contrôle non destructif

La société *SREM Technologies*, créée en 1952, est spécialisée dans les machines spéciales pour le contrôle non destructif (CND). Après avoir présenté en 1953 le premier appareil de contrôle par magnétoscopie conçu en France, elle a très vite ajouté à son offre une gamme d'installations de détection par ressuage. En quelques années, son savoir-faire s'est étendu à d'autres technologies de contrôles (telles que les courants de Foucault ou les ultrasons), que la société peut désormais intégrer sur des installations polyvalentes. Outre le matériel qu'elle conçoit et commercialise, *SREM Technologies*



propose également une activité de prestation de services. Filiale du groupe *Sofranel*, spécialisé lui aussi dans le CND, elle emploie 32 personnes et a réalisé en 2007 un chiffre d'affaires de 3,8 M€.

1950 - 2008 : une vie mouvementée

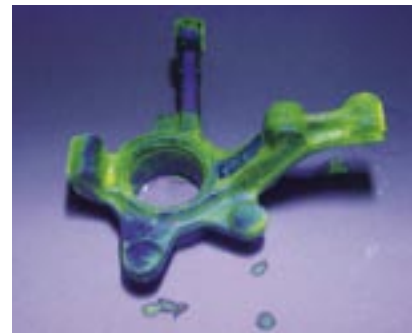
Depuis l'apparition des premiers instruments de contrôle par magnétoscopie dans les années 50, la méthode a connu des évolutions majeures. L'introduction de nouvelles technologies a favorisé l'essor de la magnétoscopie... sans manquer de susciter, au passage, plusieurs polémiques.

Les thyristors ouvrent le bal en 1975.

Jusqu'alors, les bancs de magnétoscopie sont basés sur l'emploi de transformateurs. Pour régler la puissance de sortie du générateur, il n'y a qu'à "jouer" avec les différentes positions du transformateur. Mais ces positions ne laissent qu'un choix limité et il est parfois impossible d'obtenir précisément la valeur souhaitée. L'introduction des thyristors résout le problème. Grâce à eux, il est possible de contrôler en continu la puissance de sortie, et d'obtenir n'importe quelle valeur. On peut aussi réaliser un cycle de démagnétisation automatique avec une décroissance progressive du courant. L'opération est bien plus rapide et facile à mettre en œuvre que le procédé manuel utilisé avec les bancs à transformateurs. Dès son introduction, pourtant, la technique est mal comprise. Il faut dire que les premiers appareils utilisés pour contrôler le champ magnétique ne mesuraient que la valeur moyenne du signal. Les valeurs efficaces et crêtes affichées ou calculées n'étaient issues que de l'application des coefficients de proportionnalités nécessaires. Mais contrairement au transformateur (qui modifie l'amplitude de l'onde sinusoïdale entrante), le gradateur à thyristor a la particularité de "hacher" cette onde. La forme du courant appliqué à la charge

n'est donc plus sinusoïdale (sauf à pleine puissance). Dans ces conditions, les coefficients de proportionnalité ne sont plus applicables. Il en résulte de nombreuses erreurs de mesure et d'interprétation... et une grande confusion. Pour résoudre le problème, il faut attendre l'amélioration des procédés de mesure, et en particulier l'apparition d'appareils dits "efficace vrai" (TRMS) capables de mesurer directement les valeurs efficaces et crêtes de tous types de signaux. Désormais, la technique est mieux acceptée par l'utilisateur. Les bancs sont équipés d'afficheurs de courant crête "réel" (et non plus basé sur les coefficients de conversion). Reste la confusion issue de la norme NF EN ISO 9934-1 de février 2002, qui décrit principalement le contrôle de l'aimantation dans le cas des champs issus de signaux sinusoïdaux, avec des appareils nécessitant l'emploi des coefficients de conversion... Quant à l'utilisation du courant haché par thyristors, il est simplement mentionné qu'elle requiert des "modes opératoires spéciaux"...

Les systèmes de régulation ne sont introduits sur des bancs de magnétoscopie qu'à partir de 1997. Il devient alors possible d'indiquer simplement la valeur du courant ou de la puissance magnéto-motrice souhaitée (valeur de consigne), et la machine adapte automatiquement la commande pour obtenir cette consigne en sortie. La régulation assure aussi la répétitivité de la magnétisation, et le déclenchement d'une alarme dans le cas où la sortie serait différente de la consigne. Les premiers bancs utilisent des régulateurs autonomes, mais leur fonction est



Sous un éclairage spécifique, le produit révélateur met en évidence les éventuels défauts.

très vite assurée par des automates. Il devient ainsi possible de profiter des mémorisations des automates pour enregistrer une fois pour toutes les différentes consignes et séquences de magnétisation, et les associer à une référence de pièce. Cette nouveauté marque une étape majeure dans l'essor de la magnétoscopie.

L'arrivée des écrans tactiles LCD répond elle aussi à un réel besoin. Ces écrans peuvent être programmés pour obtenir des interfaces conviviales capables de dialoguer avec de nombreux automates. On y trouve bien sûr les outils de réglage de la machine, de création et de choix des recettes, et même des synoptiques de la machine permettant de visualiser et d'accéder manuellement à chaque fonction.

Avec le développement de l'informatique et de nouveaux moyens de communications, il devient même possible, par une mise en réseau, d'interroger à distance les bancs de magnétoscopie et de réaliser un premier diagnostic.

→ C'est ainsi que l'on a vu apparaître la magnétoscopie "sans contact par champ tournant en chambre". La chambre de magnétisation par champ tournant offre une particularité : celle de créer sur toute la surface à contrôler un champ magnétique de direction variable dans le temps, sans que la pièce ne soit en contact avec le système magnétisant. On utilise pour cela deux ou trois bobinages qui créent des champs orthogonaux et proportionnels à l'intensité du courant qui les traverse. Ces bobinages sont alimentés par des courants alternatifs déphasés. Le champ résultant est un vecteur de magnétisation tournant (une alimentation à 50 Hz, par exemple, génère un champ tournant à 50 tours par seconde). Grâce à la rotation de

ce vecteur, les défauts sont mis en évidence en une seule opération. Le principe offre un avantage de taille. Hormis sa souplesse d'utilisation et la rapidité du procédé de magnétisation, il annule totalement tout risque d'arc électrique. Reste une limitation... Ce mode d'aimantation utilise un circuit magnétique ouvert (les lignes de champ se rebouclent dans l'air). Le bruit de fond est donc relativement important, et il nuit à la détection des défauts de petite taille, tels que les défauts de repli sur les pièces de forge. D'autre part, comme toute magnétisation en circuit ouvert, la méthode génère un champ démagnétisant qui s'oppose à la pénétration du flux magnétique suivant la plus petite dimension de la pièce. Pour certaines pièces

de grande longueur et petite section, il peut donc être nécessaire d'utiliser un champ magnétisant plus puissant et de brider la pièce à contrôler. Pour pallier ces limitations, la société SREM Technologies a développé une nouvelle variante. La technique, appelée magnétoscopie sans contact par passage du courant induit, autorise un contrôle aussi souple que le procédé précédent, tout en assurant la détection des défauts fins, et le contrôle des pièces longues de faible section. Le principe est basé sur un circuit inducteur parcouru par un courant alternatif. Celui-ci génère un flux magnétique (et donc une circulation de courant) dans le circuit induit. L'intérêt, c'est que le circuit induit est composé de la pièce à contrôler et d'un câble de

retour, qui assure la circulation du courant dans la pièce. L'ensemble est autonome et mobile. Il n'y a pas de câblage, donc pas de chute de tension à compenser, ce qui réduit fortement le risque d'arc électrique. L'aimantation, qui crée un flux tournant en circuit fermé (à l'intérieur de la pièce), ne crée pas de pôle magnétique susceptible d'augmenter le bruit de fond. De même, il n'y a plus de champ démagnétisant suivant la plus petite dimension de la pièce. Aujourd'hui, les trois méthodes coexistent. Si le champ tournant sur banc demeure le plus utilisé (essentiellement pour des raisons de coût), le champ tournant en chambre est privilégié dans certaines applications. Quant au courant induit, il reste encore coûteux et donc relativement peu utilisé, mais il est fort probable que la situation évolue encore dans les années à venir.

Le rêve du "tout automatique"

Parallèlement aux progrès réalisés dans les techniques de magnétisation, la magnétoscopie a également su profiter des avancées de l'électronique et de l'informatique. Le contrôle de la puissance appliquée à la pièce, l'utilisation des techniques de régulation et l'amélioration des interfaces homme-machine ont conduit à fiabiliser et à simplifier les contrôles. À partir du début des années 80, l'introduction de systèmes automatisés évite un grand nombre d'opérations manuelles. L'emploi d'automates programmables se généralise et s'étend même aux plus petites installations. Désormais il est possible de contrôler automatiquement le débit et le niveau de la pompe d'application du révélateur, ainsi que l'éclairage ultraviolet. On peut aussi contrôler la présence et le bon serrage de la pièce (pour réduire les risques d'arc électrique). Le prochain défi de la magnétoscopie dans les années qui viennent, c'est l'automatisation complète de l'examen de la pièce, avec une identification automatique des défauts. De nombreuses recherches ont été déjà réalisées sur le sujet par plusieurs constructeurs, mais sans réel succès. Il faut dire que les contraintes sont multiples. À l'heure actuelle, seul un opérateur peut discerner de petites inclusions dans un bruit de fond, ou encore identifier un défaut dans un cordon de soudeuse. Certaines solutions ont donné des résultats intéressants, mais elles restent limitées à des pièces de géométrie très simples, utilisables essentiellement pour réaliser un premier tri. L'autre préoccupation des professionnels de la magnétoscopie concerne l'environnement de l'opérateur, en particulier depuis la parution de la directive

La magnétoscopie, en bref

Principaux avantages :

- ▶ Méthode globale
- ▶ Détection de tous les défauts débouchants
- ▶ Contrôle de pièces de quelques millimètres à plusieurs mètres de long
- ▶ Inspections relativement rapides et peu coûteuses
- ▶ Résolution importante

Principales limitations :

- ▶ Contrôle limité aux pièces ferromagnétiques
- ▶ Méthode non entièrement automatisable
- ▶ Détection de défauts internes parfois difficile (suivant leur taille, leur profondeur, etc.)
- ▶ Nécessite l'emploi de produits chimiques (révélateurs)

Champ d'applications :

- ▶ Contrôle de défauts essentiellement débouchants dans les pièces ferromagnétiques.

2004/40/CE sur l'exposition aux champs magnétiques. Depuis plusieurs années déjà, certains constructeurs adoptent des mesures spécifiques pour réduire l'exposition des opérateurs : modification des bobinages, diminution des fréquences harmoniques dans les courants d'aimantation, automatisations multiples pour éloigner les opérateurs... Bien que la transposition de la directive en droit français ne soit pas encore effective, il faudra que la magnétoscopie s'adapte un jour ou l'autre à cette nouvelle réglementation. Cette méthode de contrôle non destructif est aussi concernée par la réduction des dépenses énergétiques. Pour générer des champs intenses, la magnétoscopie utilise des puissances instantanées très importantes. Néanmoins l'énergie nécessaire est essentiellement une énergie réactive (récupérable car non consommée sous la forme de puissance active), qui peut être fournie par un système de compensation interne à l'installation. Dans certains cas, il est ainsi possible de mettre en place un dispositif pour réduire jusqu'à cinq fois la consommation électrique sur le réseau... Un gain d'énergie non négligeable qui prouve que la magnétoscopie se met dans l'air du temps.

Marie-Line Zani-Demange

D'après un document de Stéphane Graveleau
SREM Technologies