

CONTRÔLE NON DESTRUCTIF

Avec le courant induit, la magnétoscopie s'offre de nouvelles applications

▼ Un nouveau procédé de contrôle magnétoscopique, développé par la société Srem Technologies, ouvre la voie à des applications qu'il n'était pas possible d'envisager avec la méthode traditionnelle. Cette technique, basée sur la génération d'un courant induit dans la pièce à tester, permet de contrôler tout type de pièce ferromagnétique, y compris les pièces de forge ou les pièces de grande longueur et de faible section... Petite revue de détail d'une méthode qui offre une nouvelle alternative à la détection de défauts longitudinaux débouchants.

Acôté du contrôle ultrasonore, de la radiographie ou de l'émission acoustique, la magnétoscopie fait rarement parler d'elle... Lors du congrès de la Cofrend (Confédération Française pour les Essais Non Destructifs) qui s'est tenu à Beaune en mai dernier, elle était au programme de trois conférences, contre une vingtaine consacrée aux seules techniques ultrasonores. La méthode, pourtant, mérite que l'on s'y attarde. Par rapport aux ultrasons ou aux courants de Foucault, qui assurent un contrôle ponctuel, elle fait en effet partie des techniques dites "globales", permettant d'inspecter l'ensemble d'une pièce en une seule opération. Autre

avantage, la magnétoscopie permet de mettre en évidence aussi bien les défauts débouchants (à la surface de la pièce) que sous-jacents (jusqu'à une profondeur de l'ordre du millimètre, voire plusieurs millimètres dans le meilleur des cas).

La méthode, qui figure au rang des plus anciennes dans le domaine du contrôle non destructif, est largement éprouvée. On



Cette machine, développée par Srem Technologies, met en œuvre un nouveau procédé de contrôle magnétoscopique. La méthode permet de détecter les défauts de tout type de pièce ferromagnétique (y compris les pièces de forge) et de réduire le risque d'arc électrique présent dans la technique traditionnelle.

du champ magnétique. Toute distorsion des lignes de champ trahissait une irrégularité de la surface...

De la même manière, la magnétoscopie consiste à soumettre une pièce ferromagnétique* à un flux magnétique intense. Lorsqu'il traverse la pièce, le flux suit le chemin le plus simple. S'il parvient à un obstacle dû à la présence d'un défaut, il préfère le contourner plutôt que le traverser. Lorsque le champ appliqué est faible, cela ne pose aucun problème : les lignes de champ se répartissent de part et d'autre du défaut à l'intérieur de la pièce. Mais si l'on applique un champ suffisamment élevé pour atteindre la saturation magnétique, les lignes proches de la surface ne trouvent plus assez de place pour circuler à l'intérieur du matériau. La voie la plus simple consiste alors à sortir de la pièce. Ce faisant, elles créent un champ magnétique, appelé "champ de fuite", au droit du défaut. Il suffit ensuite d'appliquer sur la pièce un produit révélateur (constitué

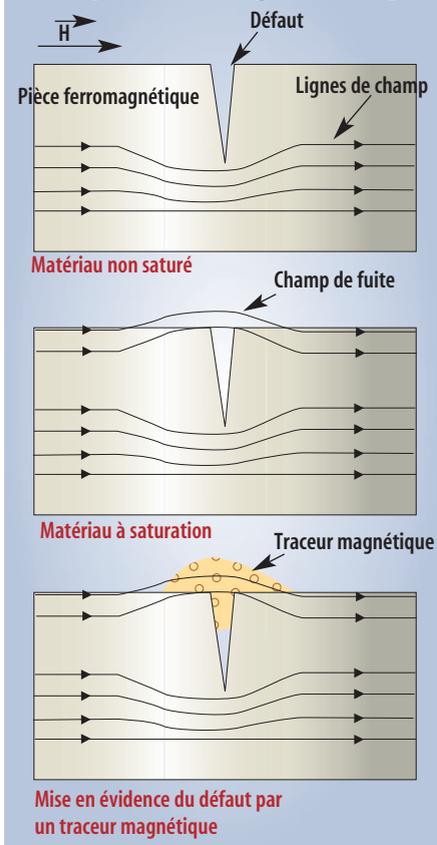
L'essentiel

- Un nouveau procédé de contrôle magnétoscopique, développé par Srem Technologies, permet de s'affranchir des inconvénients de la méthode d'aimantation traditionnelle
- Il réduit les risques d'arc électrique et ouvre la voie à de nouvelles applications
- Il est désormais possible de détecter les défauts des pièces de forge, et de contrôler les pièces longues de faible section

l'utilise couramment dans les industries automobiles, aéronautiques ou 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. Son principe repose sur le comportement de ces matériaux lorsqu'ils sont soumis à un champ magnétique. Pour le comprendre, il suffit de se souvenir de nos travaux pratiques de physique où l'on déposait de la limaille de fer sur une pièce aimantée. Les grains de limaille s'orientaient, comme l'aiguille d'une boussole, dans la direction

tacle dû à la présence d'un défaut, il préfère le contourner plutôt que le traverser. Lorsque le champ appliqué est faible, cela ne pose aucun problème : les lignes de champ se répartissent de part et d'autre du défaut à l'intérieur de la pièce. Mais si l'on applique un champ suffisamment élevé pour atteindre la saturation magnétique, les lignes proches de la surface ne trouvent plus assez de place pour circuler à l'intérieur du matériau. La voie la plus simple consiste alors à sortir de la pièce. Ce faisant, elles créent un champ magnétique, appelé "champ de fuite", au droit du défaut. Il suffit ensuite d'appliquer sur la pièce un produit révélateur (constitué

Principe de la magnétoscopie



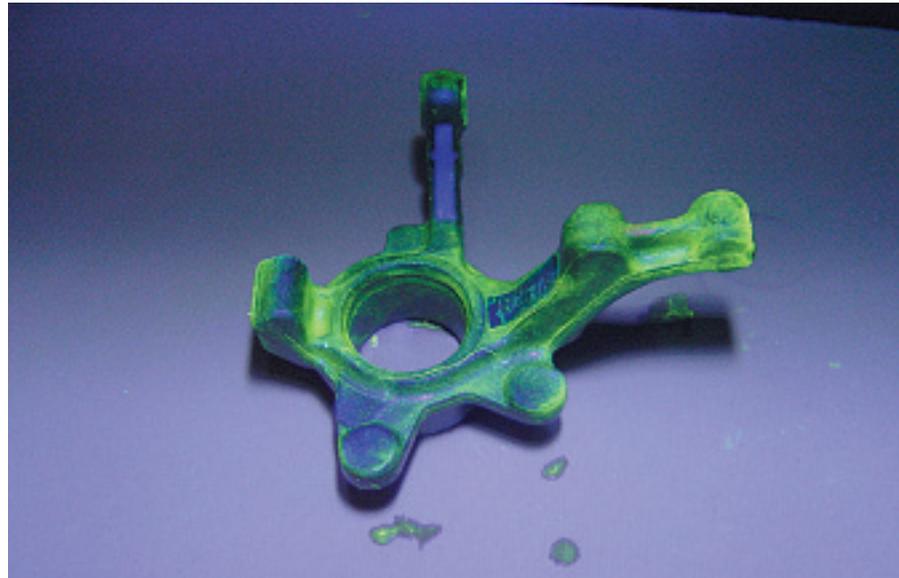
d'une poudre ferromagnétique) pour le mettre en évidence.

La réussite du contrôle dépend de l'orientation du champ magnétique appliqué à la pièce. En effet, les défauts sont d'autant mieux détectés qu'ils sont orientés dans une direction perpendiculaire aux lignes de champ (ou parallèle aux lignes de courant). Pour s'affranchir de cette limitation, on réalise habituellement un contrôle suivant deux directions de champ orthogonales.

On distingue pour cela deux types de techniques, suivant que l'on souhaite réaliser une aimantation longitudinale (dans le sens de la longueur de la pièce) ou transversale (dans le sens de sa largeur). L'aimantation longitudinale est généralement obtenue à partir d'un aimant, d'un électro-aimant ou d'un solénoïde. Ceux-ci induisent un flux magnétique qui permet de mettre en évidence les défauts transversaux.

Pour réaliser une aimantation transversale, en revanche, on fait directement circuler un courant électrique de forte intensité à l'intérieur de la pièce. Le courant génère alors un champ magnétique circulaire qui permet de détecter les défauts longitudinaux.

Cette méthode présente un certain nombre de limitations. Sur un banc magnétoscopique standard, la pièce à contrôler est en effet reliée au générateur de courant par de "grandes"



Les défauts présents à la surface des pièces (ici, un repli de forge) provoquent une déviation du flux magnétique et l'apparition d'un champ de fuite. Pour les mettre en évidence, il suffit d'appliquer un révélateur constitué de particules ferromagnétiques et d'un substrat sensible aux UV...

longueurs de câbles (jusqu'à six ou sept mètres). Il y a donc une importante chute de tension entre le dispositif d'alimentation et la pièce (précisons que l'on a ici affaire à des courants de plusieurs kA). Pour la compenser, on utilise une tension d'alimentation largement supérieure à celle que l'on appliquerait directement aux bornes de la pièce. Si le contact entre les électrodes et la pièce est de mauvaise qualité, cette tension est présente "en bout de ligne". Il y a donc un risque non négligeable de provoquer des arcs électriques, et d'endommager à la fois la pièce (au niveau des contacts électriques) et l'installation. De plus, contrairement à l'aimantation longitudinale, où la pièce peut défiler devant l'aimant ou l'électro-aimant durant le procédé de magnétisation, la pièce contrôlée par aimantation transversale doit rester solidaire du dispositif d'alimentation.

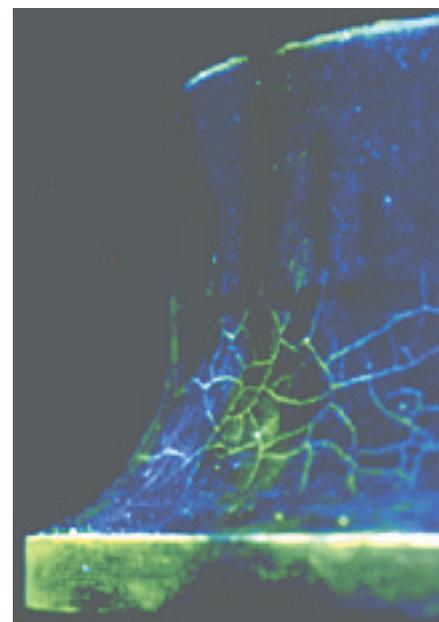
Réduire les risques d'arc électrique

Pour supprimer les inconvénients liés aux câblages, on peut utiliser des techniques d'aimantation transversale par courant induit. Le passage du courant à travers un conducteur, que l'on introduit au cœur de la pièce à contrôler, provoque l'apparition d'un flux magnétique à l'intérieur de la pièce. Ce flux, d'orientation transversale, permet de mettre en évidence les défauts longitudinaux. La technique a fait ses preuves, mais son champ d'applications reste limité aux pièces creuses formant d'elles-mêmes un circuit électrique (telles que des pièces de forme circulaire ou cylindrique).

Un nouveau procédé de contrôle magnétoscopique, développé et breveté par la société française *Srem Technologies*, permet de pallier l'en-

semble de ces limitations. Son principe est lui aussi basé sur une aimantation transversale par courant induit. Un circuit inducteur, formé d'une ou de plusieurs spires conductrices, est parcouru par un courant alternatif. Celui-ci fait naître un flux magnétique, et donc une circulation de courant, dans le circuit induit. La particularité, c'est que le circuit induit est ici composé de la pièce à contrôler et d'un câble de retour, permettant d'assurer la circulation du courant dans la pièce.

Ce montage présente de multiples avantages. Contrairement à la méthode d'induction précédente, le champ d'applications n'est plus limité à des pièces creuses. Il s'étend à toute pièce de forme simple ou complexe, du moment qu'elle est de nature ferromagnétique. De plus, le circuit induit forme un ensemble autonome et mobile, ce qui facilite



Ici, la magnétoscopie met en évidence un défaut de tapure thermique.

Comparaison des deux montages

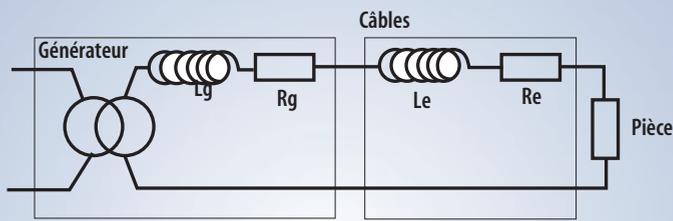


Schéma électrique équivalent d'un passage de courant direct

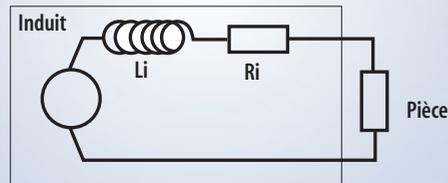
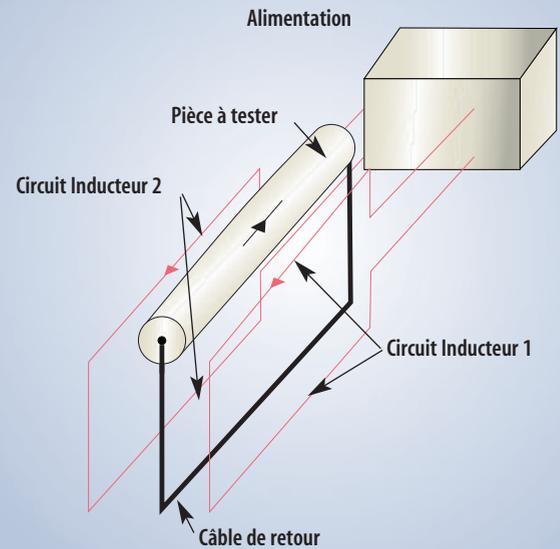


Schéma électrique équivalent d'un passage de courant induit

Principe de la méthode



le contrôle de pièces en défilement. En associant ce procédé à une technique d'aimantation longitudinale traditionnelle (par aimant ou électro-aimant), on peut détecter la présence de défauts d'orientation quelconque.

Enfin, le montage permet de réduire fortement le risque d'arc électrique. Ce résultat est la combinaison de deux facteurs : la tension à la sortie du générateur est plus faible (il n'y a pas de câblage, donc pas de chute de tension à compenser) et la vitesse d'établissement du courant est plus lente (elle est beaucoup plus faible dans le cas d'un courant induit qu'avec un passage de courant direct).

Pour s'en convaincre, il suffit d'observer les schémas électriques équivalents des deux montages. Sur un banc de magnétoscopie "classique" fonctionnant par passage direct du courant, l'impédance de sortie du générateur est de l'ordre de $0,5 \text{ m}\Omega$. L'inductance L_c et la résistance R_c des câbles sont par contre beaucoup plus élevées (typiquement de l'ordre de $4,6 \mu\text{H}$ et $1,8 \text{ m}\Omega$).

Dans le cas d'une aimantation par circuit induit, en revanche, il n'y a pas de câblage et donc pas de valeurs R_c et L_c à prendre en compte. Les valeurs d'inductance L_i et de résistance R_i du circuit induit entrent en jeu, mais celles-ci sont nettement plus faibles (typiquement $0,3 \mu\text{H}$ pour L_i et $0,05 \text{ m}\Omega$ pour R_i) que les inductances et les résistances du circuit précédent :

$$L_i < L_c$$

$$R_i \ll R_c$$

L'impédance globale est donc nettement plus faible que pour le montage avec un passage direct de courant. Par conséquent, la tension

présente aux bornes de la pièce en cas de mauvais contact se trouve minimisée. Et il en est de même de la puissance dissipée dans la zone de contact en cas d'arc électrique ($P = U^2/R$, avec une résistance R constante due au mauvais contact avec les électrodes).

Pour ce qui est du temps d'établissement du courant, il dépend du rapport L/R . Compte tenu des valeurs respectives de L et R dans les deux cas de figure, on observe que la vitesse d'établissement du courant dans la pièce est jusqu'à trois fois plus faible que celle d'une aimantation traditionnelle par câbles (et l'on peut la réduire encore en "jouant" sur la résistance R_i).

De nouvelles applications en champ tournant

La méthode mise en œuvre par Srem Technologies ouvre la voie à des applications qu'il n'était pas possible d'envisager avec les techniques traditionnelles, notamment

Srem Technologies, en bref

La société Srem Technologies, créée en 1952, est l'un des plus anciens fabricants français de machines spéciales pour le contrôle non destructif. Spécialisée dans les techniques de magnétoscopie et de ressuage, elle peut aussi intégrer d'autres technologies de contrôle (telles que les courants de Foucault ou les ultrasons) sur des installations polyvalentes.

La société réalise des études de faisabilité (à l'aide de méthodes de simulation numérique), définit des solutions personnalisées dans la création et la mesure de champ magnétique, et propose une activité de services (avec des prestations de contrôle et de désaimantation). Elle dispose pour cela d'importants moyens techniques : générateurs de champ magnétique, bobinages spéciaux, bancs de mesure, analyseurs de champ, etc.

La société appartient au groupe Sofranel. Elle emploie une trentaine de personnes à La Flèche (72), et réalise un chiffre d'affaires de 2,5 millions d'euros.

MLZ

Le pupitre associé à la machine de Srem Technologies permet de régler les différents paramètres de l'aimantation (la direction du champ, sa puissance, la position du chariot, etc.).





En reliant la machine à un convoyeur, il est possible de réaliser un contrôle magnétoscopique de pièces en défilement.

dans le domaine de la magnétoscopie sans contact par champ tournant.

La méthode permet, comme son nom l'indique, de créer un champ magnétique de direction variable dans le temps, sans qu'il n'y ait de contact entre la surface à contrôler et le système magnétisant. Pour cela, on utilise généralement une chambre composée de deux ou trois bobines créant des champs orthogonaux entre eux, et proportionnels à l'intensité du courant qui les traverse. En alimentant ces bobines avec des courants alternatifs déphasés, on obtient un vecteur de magnétisation résultant tournant.

La technique est efficace, mais elle présente deux inconvénients majeurs. Si l'on sait que la nature tournante du champ permettra de détecter tout type de défaut, on peut également être sûr qu'à un instant donné, le champ sera perpendiculaire à la surface de la pièce. A cet instant, il crée un flux sortant et provoque l'apparition d'un pôle magnétique, qui se manifeste par un bruit de fond important. Dans ces conditions, la détection de défauts de petite taille (tels que les défauts de repli sur les pièces de forge) devient très difficile. D'autre part, comme toute magnétisation en circuit ouvert, la magnétoscopie par champ tournant 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 de petite section, il peut ainsi être nécessaire d'utiliser un champ magnétisant de 25 à 30 kA/m pour obtenir en réalité un champ de 3 kA/m

sur la pièce. Cette contrainte nécessite le plus souvent d'utiliser de puissants bobinages et de brider la pièce.

L'utilisation d'un circuit induit composé de la pièce et du câble de retour permet de pallier ces inconvénients. Elle permet en effet d'obtenir une aimantation transversale de la pièce en créant un flux tournant en circuit fermé (à l'intérieur de la pièce). L'aimantation ne crée pas de pôle magnétique à la surface de la pièce, ce qui diminue le bruit de fond et améliore la détection de défauts de petite taille.

De même, il n'y a plus de champ démagnétisant suivant la plus petite dimension de la pièce. On contrôle alors plus efficacement des pièces longues et de faibles sections sans qu'il soit nécessaire de les brider.

Reste un phénomène physique bien connu dont on ne pourra jamais s'affranchir : l'effet de peau, qui veut que seul un champ magnétique continu puisse pénétrer dans toute la profondeur de la matière. Le champ induit, et donc alternatif, utilisé dans la méthode de Srem Technologies, ne se limite donc qu'à la surface de la pièce, autrement dit à la détection de défauts débouchants.

Stéphane Graveleau
Srem Technologies

**Un matériau est dit ferromagnétique s'il présente un moment magnétique spontané (autrement dit même en l'absence de champ magnétique). C'est le cas par exemple du fer, de la fonte, du cobalt, du nickel, des aciers moulés, forgés, etc. En revanche, les aciers à 12 % de manganèse, à 17 % de chrome, ainsi que l'aluminium, le cuivre, le titane, ou le plomb, ne sont pas ferromagnétiques.*