

« FORMULA 62 »

Matériel de Détente des Contraintes par Vibrations

Comparé à la méthode plus ancienne de détente thermique, le matériel de détente vibratoire « FORMULA 62 » offre de nombreux avantages:

- **Le matériel est portable et peu encombrant. Il se déplace facilement en n'importe quel point de l'atelier de fabrication, permettant d'effectuer la détente sur place.**
- **L'investissement coûte peu et les frais d'entretien et d'exploitation sont minimaux.**
- **Le traitement est rapide, allant de 15 à 30 minutes par application, selon le poids et la configuration de la pièce ou de la structure à traiter.**
- **L'utilisation est très facile, ne demandant qu'une formation très simple de l'opérateur.**
- **Le traitement est compatible avec une grande variété de matériaux:**
 - **Pièces formées de métaux dissemblables (où le traitement thermique est impossible)**
 - **Alliages ne supportant pas un traitement thermique**
 - **Matériaux ayant un fini poussé (polis, meulés)**
- **Le traitement n'a aucun effet indésirable sur le matériau de la pièce traitée:**
 - **Les caractéristiques physiques ne changent pas**
 - **La structure métallurgique ou chimique ne change pas**
 - **La dureté ne change pas**
 - **La surface obtenue est propre, sans décoloration, ni laitier, ni scories**
- **Les tolérances des pièces traitées sont respectées avec une rigueur qu'il serait impossible d'obtenir avec les méthodes de détente thermique.**
- **Le traitement peut être utilisé durant la fabrication**
 - **Pendant et après le soudage**
 - **Entre des étapes d'usinage**

DÉFINITION DES CONTRAINTES RÉSIDUELLES

Dans le secteur de la fabrication métallique, l'accumulation des contraintes est un problème majeur, produisant des distorsions et des instabilités dimensionnelles. Toute personne habituée à travailler avec les métaux, que ce soit un chaudronnier ou un fabricant de moules ou de machines-outils, sait combien il est difficile de maintenir les tolérances dimensionnelles des pièces fabriquées.

Techniquement parlant, une contrainte résiduelle est définie comme étant une contrainte quelconque au sein d'un corps élastique libre de tout effort ou restriction externe et ne présentant aucun gradient de température (variations thermiques). Ces contraintes internes résultent souvent d'une certaine incompatibilité entre des régions adjacentes du métal, susceptible de déformer les régions avoisinantes.

Un déséquilibre des contraintes engendre une déformation du métal. De fortes contraintes localisées sur un côté d'une pièce métallique vont créer un mouvement ou une déformation. Des contraintes même très élevées, tant qu'elles sont uniformes à travers tout le métal, ne produisent aucune déformation. Par contre, les déformations seront d'autant plus prononcées que les contraintes sont en déséquilibre. Si ce déséquilibre est suffisant, la déformation des grains devient permanente et aucune libération des contraintes ne peut alors ramener la pièce à son état initial.

Les contraintes résiduelles sont de deux types : tension et compression. Les lois physiques et mathématiques exigent que les degrés de compression et de tension soient égaux. Malheureusement, à travailler avec les métaux, on obtient rarement un tel équilibre.

Dans le domaine de la fabrication métallique, le but est de produire une pièce ou une structure métallique libre de toutes contraintes résiduelles. Ceci nécessite ainsi de recourir à un traitement de détente, c'est à dire de réduction de ces contraintes résiduelles, pour éviter d'endommager le métal.

Pour mieux expliquer la chose, prenons l'exemple de votre corps durant le sport. Supposons qu'en jouant au tennis, vous subissez un claquage ou une crampe sévère au niveau d'un des muscles de la jambe. Ceci est comparable à une contrainte résiduelle. Si vous continuez à jouer sans réduire la contrainte résiduelle (crampe ou claquage), vous risquez une lésion sévère et peut-être permanente du muscle concerné. Par contre, si vous massez le muscle, lui permettant de se relaxer, vous pourrez peut-être continuer à jouer et finir la partie. Voilà un exemple d'un traitement de détente.

Les contraintes résiduelles sont introduites dans de nombreuses structures et pièces métalliques durant leur fabrication - durant le moulage par suite des forces de contraction au sein de la pièce moulée qui se refroidit, durant le façonnage en raison des caractéristiques élastiques du métal, durant la découpe, car les forces de cisaillement s'accompagnent de déformations, et durant le soudage, susceptible de provoquer des contraintes résiduelles

particulièrement prononcées, vu que le métal se dilate puis se contracte en fonction des variations de température.

Bien qu'il soit difficile de la calculer ou de la mesurer, une contrainte résiduelle qui n'est pas corrigée pourra à la longue se manifester de plusieurs façons désagréables ; fissuration ou un affaiblissement prématuré des pièces, déformations ou des gauchissements, ou une dégradation de la résistance mécanique des soudures essentielles, réduisant ainsi la longévité de pièces qui sont à tous autres égards d'excellente qualité. Etant données les tolérances très strictes qui sont aujourd'hui la norme, le traitement de détente apparaît comme une méthode de choix pour maintenir la stabilité dimensionnelle et éliminer les distorsions.

TRAITEMENT DES CONTRAINTES RÉSIDUELLES

Le traitement de la structure cristalline consiste à introduire de l'énergie au sein du métal afin de déplacer les atomes et ainsi réduire ces contraintes. Si la détente thermique est bien connue, il existe également d'autres méthodes de réduction des contraintes résiduelles.

La méthode thermique utilise des températures élevées pour réduire les contraintes résiduelles. Ce type de détente, s'il donne souvent de bons résultats, présente certains désavantages et certaines limitations. Son coût est élevé, il demande un certain temps et il dégrade souvent les caractéristiques physiques du métal lorsque le cycle thermique (c.-à-d., échauffement, maintien à température et refroidissement final) est incorrect. Son utilisation se limite également à des structures homogènes. Le fabricant peut aussi subir d'autres coûts indirects : par exemple, l'absence d'un four convenable sur place, ce qui engendre des coûts de transport et de manutention supplémentaires, sans mentionner une perte de temps accrue.

De plus, dans le secteur de la fabrication métallique, on a souvent manifesté un intérêt poussé pour des équipements qui seraient capables d'abaisser les contraintes résiduelles à un niveau acceptable au cours de la fabrication. Etant donné les exigences associées à de tels équipements, le procédé de détente thermique peut devenir prohibitif et même incompatible sur le plan logistique.

On peut aussi détendre une pièce en la laissant vieillir au-dehors. Dans ce cas, l'énergie nécessaire au réarrangement de la structure cristalline provient des faibles mouvements naturels du sol et des fluctuations habituelles de la température. Ce procédé est toutefois incontrôlable et il est difficile de déterminer à quel moment les contraintes ont été suffisamment réduites pour reprendre la fabrication de manière satisfaisante. De plus, lors du vieillissement, les contraintes se dissipent plus vite durant les saisons chaudes et plus lentement durant les saisons froides. Qui est disposé à attendre un an ou plus que les contraintes résiduelles disparaissent?

Avec la méthode vibratoire, la pièce reçoit l'énergie sous forme de vibrations. La structure atomique sous contrainte ne fait aucune différence entre l'énergie thermique et l'énergie provenant des vibrations. L'application de cette énergie modifie la structure, ce qui réduit les contraintes et stabilise la pièce sans la déformer.

Ce procédé peut être utilisé pour dissiper les contraintes dues à des opérations aussi variées que l'usinage, le fraisage, le meulage, le poinçonnage, l'alésage, l'emboutissage, le

perçage, le rabotage, la coupe, le forgeage et le soudage. Il est particulièrement adapté aux structures de grandes dimensions pour lesquelles une détente thermique serait prohibitive, sinon impossible, et aux pièces usinées de haute précision pour éviter des déformations du métal susceptibles de compromettre des tolérances très exactes.

LE MATÉRIEL ET LE PROCÉDÉ DE DÉTENTE PAR VIBRATIONS « FORMULA 62 »

La société « Stress Relief Engineering » a été la première à mettre au point, puis à améliorer durant les 35 dernières années, une méthode de détente vibratoire non thermique très efficace, basée sur la résonance. Maintenant largement accepté dans l'industrie, le procédé « FORMULA 62 » est très simple d'emploi et il permet de conserver la stabilité dimensionnelle du métal tout en augmentant sa résistance élastique sans aucune perte de résistance à la fatigue.

La méthode « FORMULA 62 » introduit des vibrations basse fréquence à haute amplitude pendant une courte durée variant en fonction du poids de la pièce concernée. Cette méthode dissipe les contraintes résiduelles dans la pièce métallique et dans ses soudures sans engendrer de déformations, ni changer la résistance à la traction, la limite élastique ou la résistance à la fatigue du métal. Ceci permet la réduction des contraintes résiduelles au point où l'équilibre statique est rétabli.

Les vibrations résonantes se sont avérées être le moyen le plus efficace de réduire les contraintes résiduelles à l'aide de vibrations. L'utilisation de la fréquence de résonance assure une meilleure redistribution des contraintes que les méthodes employant des fréquences sous-harmoniques ou sous-résonantes. Les vibrations à basse fréquence, porteuses de l'énergie associée aux fortes amplitudes, réduisent considérablement et efficacement les contraintes résiduelles dans la pièce et dans ses soudures.

UTILISATION DU « FORMULA 62 »

Le système « FORMULA 62 » comprend un vibreur à vitesse variable de qualité industrielle que l'on attache à la pièce et d'une console électronique mobile que l'on peut déplacer n'importe où dans l'atelier de fabrication.

Egalement attaché à la pièce, un accéléromètre détecte les vibrations et transmet par câble un signal à un circuit électronique de la console. La fréquence de résonance de la pièce est alors déterminée et affichée sur un indicateur monté sur la console. Sur les appareils disposant d'un enregistreur graphique, il est possible d'obtenir un graphe qui détaille la procédure de réglage et établit le point de résonance.

Ce point de résonance s'établit en modulant la vitesse du vibreur jusqu'à obtenir l'amplitude voulue. Il faut deux minutes en moyenne pour atteindre la fréquence de résonance. Ceci fait, la pièce est soumise à des vibrations pendant une durée qui varie en fonction du poids de la pièce pour chaque application. La durée de traitement se situe généralement entre 10 minutes et une heure ou plus en fonction de la taille de la pièce. En cas de structures importantes, voire très longues ou du type charpente ouverte, il faudra peut-être appliquer « FORMULA 62 » en différents endroits, ce qui va prendre plus de temps. On peut prolonger la durée d'application des vibrations sans pour autant fatiguer le métal ou réduire sa résistance à la traction.

« FORMULA 62 » peut être utilisé en mode automatique, au cours duquel le vibreur tourne pendant 15 minutes au total, consistant de trois cycles de cinq minutes à des vitesses prédéterminées. Ceci est suffisant pour stabiliser des pièces allant jusqu'à 10 tonnes. Pour les pièces plus importantes, on peut utiliser deux périodes consécutives de 15 minutes.

Toute application doit se conformer à deux règles très simples:

- Isoler la pièce autant que possible afin qu'elle puisse vibrer librement
- Le vibreur doit être en contact direct avec la pièce afin de lui transmettre intégralement l'énergie vibratoire.

La méthode « FORMULA 62 » est applicable à de nombreux métaux ferreux et non ferreux, y compris les aciers au carbone, les aciers inoxydables, l'aluminium, la fonte, le manganèse, et à des pièces de formes très diverses. La taille des pièces importe peu, allant de pièces moulées de petite taille (arbres de transmission et engrenages) aux assemblages soudés et usinés de grande taille, trop volumineux pour subir un traitement thermique.

Pour les pièces de petite taille, les pièces de haute précision et les pièces moulées ou soudées de formes inhabituelles, SRE propose sa table vibratoire « Loadmaster 2000 ». Cette table comporte une suspension pneumatique réglable qui assure une excellente isolation de la pièce et fonctionne sur pratiquement n'importe quelle source d'air comprimé. La table vibratoire permet de détendre les moules, les matrices et les pièces de haute précision et de traiter simultanément de nombreuses pièces.

LIMITATIONS DE « FORMULA 62 »

Comme tout procédé de transformation des métaux, la méthode de détente vibratoire « FORMULA 62 » a ses limitations. « FORMULA 62 » n'est pas très efficace sur les métaux laminés à froid, profilés, recuits par écrouissage ou par précipitation. Sauf s'il risque d'endommager les pièces, un traitement thermique en lots convient généralement mieux lorsque l'on doit traiter un grand nombre de petites pièces. La méthode vibratoire est utilisée seulement pour réduire les contraintes résiduelles dans les métaux. Elle ne fait ni recuit, ni revenu, ni normalisation et elle ne supplante aucunement les traitements thermiques de tous genres (y compris les traitements thermiques après soudage). La méthode vibratoire ne modifie pas les caractéristiques mécaniques ou métallurgiques du matériau. Finalement, « FORMULA 62 » ne peut prévenir ou éliminer les déformations, voilages ou flambages causés par la chaleur, ni redresser ou aplatir des matériaux déjà déformés, voilés ou flambés.

L'un des avantages majeurs de la méthode « FORMULA 62 » réside dans son aptitude à réduire les contraintes résiduelles dans la pièce à n'importe quelle étape de sa fabrication; son usinage préliminaire, son alésage ou son meulage.

En cas de pièces soudées, la réduction des contraintes est possible durant le soudage, offrant ainsi un moyen efficace d'éviter l'accumulation de contraintes résiduelles susceptibles de fissurer la soudure ou de déformer certaines parties de la pièce. « FORMULA 62 » est compatible avec les procédés de soudage à la baguette (SMAW), MIG (GMAW) et Héliarc

(GTAW). D'autres procédés de soudage peuvent présenter des complications logistiques insurmontables.

Le soudage s'accompagnant d'importantes variations de température durant un temps relativement court, les contraintes résiduelles ont, dynamiquement parlant, une action plus prononcée sur la pièce. Il faudra peut-être les détendre durant ou immédiatement après le soudage. Des tensions résiduelles très prononcées risquant, par un phénomène de fatigue, de raccourcir la longévité des pièces soudées, il est très facile de les détendre en appliquant le traitement « FORMULA 62 » à ces pièces.

DÉTERMINATION DU NIVEAU DE DÉTENTE

Une question fondamentale se pose souvent: comment peut-on être sûr que les contraintes ont été réduites. L'évaluation des contraintes après un traitement thermique ou vibratoire est à la fois difficile et coûteuse.

Pour mesurer les contraintes résiduelles, l'une des meilleures méthodes est basée sur la diffraction des rayons X. Cette méthode est généralement réservée aux laboratoires en raison de la précision d'alignement nécessaire pour obtenir des mesures correctes.

Les domaines de contraintes résiduelles sont complexes et couvrent une étendue relativement large. Dans le champ d'observation coexistent des contraintes résiduelles en tension et en compression de magnitudes variées. Le procédé de détente provoque une redistribution de ces contraintes qui égalise leur énergie dans les zones tendues et comprimées et ramène le domaine en question à un état d'équilibre.

On ne peut donc pas se limiter à une mesure en un point donné d'une structure, évaluer la valeur obtenue et déclarer que la pièce est parfaitement détendue. Pour valider cette conclusion, il faudrait dresser un plan détaillé des contraintes et établir une moyenne statistique des résultats obtenus. C'est pourquoi on n'effectue pas de mesures localisées ou autres sur des pièces détendues par procédé thermique ou vibratoire, avant ou après le traitement.

A vrai dire, il n'existe aucune méthode simple et économique pour mesurer les contraintes après un traitement de détente. Au mieux, il faut s'efforcer à appliquer le traitement comme il se doit, que ce soit à un certain nombre de degrés par heure et par centimètre d'épaisseur de la pièce dans le cas du traitement thermique, ou dans le cas du traitement vibratoire, durant un certain nombre de minutes en fonction du poids de la pièce. Dans l'un ou l'autre cas, on est assuré d'obtenir des résultats satisfaisants si l'on respecte ces consignes.

La stabilité dimensionnelle étant généralement le principal critère d'acceptation, on considère la détente réussie si les caractéristiques dimensionnelles des pièces restent stables après le traitement.

CLARIFICATION DU CODE CONCERNANT LA DÉTENTE THERMIQUE ET VIBRATOIRE

Les températures élevées pouvant sérieusement endommager les métaux, la température doit être soigneusement contrôlée et ne pas dépasser ce que l'on appelle la température critique, c.-à-d., celle à laquelle des transformations de phases ou autres changements métallurgiques indésirables se produisent. Ceci justifie l'existence d'un code ; atteindre une température

suffisante, mais par une régulation stricte de la température appliquée, veiller à ne pas endommager l'ouvrage. La température optimale varie selon le métal. La durée du traitement varie selon l'épaisseur de la pièce. En résumé, les paramètres de l'opération sont ajustés de façon à ne pas dégrader la pièce.

Les traitements thermiques étant parfois arbitraires ou capricieux, par peur d'endommager la pièce traitée, il n'est pas rare de les effectuer à une température égale à la moitié ou aux trois quarts de la température spécifiée. Et, en règle générale, on ne considère qu'un seul traitement thermique durant la fabrication, ce qui fait peu de cas des accumulations de contraintes pouvant survenir au gré des différentes opérations, souvent bien longtemps avant le traitement thermique.

Ainsi, les traitements de détente thermique normalisés ne sont pas la référence absolue à laquelle se comparent les autres méthodes de détente. Dans ses manuels de spécifications, les normes en vigueur fournissent en fait des détails relativement vagues et vont même jusqu'à déconseiller le traitement thermique de certains types de matériaux. Par exemple: AWS D1.1 ne recommande pas le traitement thermique des aciers A514, A517, A709 ou Grade 100. D'autres aciers au carbone ou aciers faiblement alliés peuvent subir des modifications indésirables de leur microstructure qui vont affaiblir leurs caractéristiques mécaniques, provoquer une fissuration ou les deux à la fois. Il convient, par ailleurs, de considérer les risques de déformation, d'oxydation, d'affaiblissement de la résistance à la corrosion et de fissuration granulaire.

Dans de nombreux cas, la détente vibratoire des contraintes peut très économiquement se substituer à la méthode thermique lorsque cette dernière vise uniquement à assurer la stabilité dimensionnelle de la pièce, soit pour maintenir un alignement critique, soit pour ne pas altérer le fini de la surface, soit pour répondre aux conditions d'utilisation.

Puisque tant de facteurs entrent en jeu, le procédé de détente vibratoire non thermique « FORMULA 62 » n'est pas destiné à devenir un substitut général aux exigences des normes. Avant de décider si la détente vibratoire peut remplacer le traitement thermique, il faut prendre en considération les éléments suivants :

- 1) Est-ce que l'on choisit le procédé thermique en vue de réduire au maximum les contraintes résiduelles et uniformiser au mieux les caractéristiques de la soudure et du métal de base?
- 2) Est-ce que l'on choisit le procédé thermique par simple raison d'habitude?
- 3) Refuse-t-on de détendre les contraintes par peur d'endommager le matériau ou sa surface, comme dans le cas du traitement thermique?

Dans les deux derniers cas, il est très clair que la méthode vibratoire est préférable au traitement thermique. Elle fournit en effet une solution avantageuse, d'un coût bien inférieur aux coûts directs et indirects du traitement thermique.

A l'heure actuelle aux états-Unis, il est de plus en plus fréquent de trouver plusieurs recommandations quant à la méthode de détente à utiliser. Dans les cahiers des charges publiés par certaines agences gouvernementales, on trouve désormais des références indiquant de relaxer certaines pièces conformément à la section VIII de l'ASME et à la norme D.1.1 de l'AWS et stipulant le traitement « FORMULA 62 » pour d'autres pièces. Certaines spécifications nomment même la marque commerciale « FORMULA 62 » ainsi que sa source, la société Stress Relief Engineering Co. Par exemple : le cahier des charges du Département de l'Intérieur des états-Unis concernant les vannes et autres pièces utilisées dans les barrages.

Pour conclure, le procédé « FORMULA 62 » n'est pas destiné à remplacer tous les traitements de détente thermique, bien qu'il soit fréquemment approuvé comme solution de rechange à la méthode thermique au gré du fabricant. Dans certains cas, il est vivement recommandé d'utiliser le procédé thermique. Stress Relief Engineering Company le conseille même fortement pour toutes les applications touchant au nucléaire, à la chaudronnerie sous pression, à la génération d'électricité et à la pétrochimie. Dans de telles situations, les avantages obtenus justifient la dépense supplémentaire. Les normes n'interdisent pas à un fabricant de recourir à la détente vibratoire s'il le désire, et plus spécialement durant la fabrication lorsque la stabilité dimensionnelle est critique, sous réserve que celles-ci soient respectées et appliquées comme il se doit.

STRESS RELIEF ENGINEERING COMPANY



Exclusive Export Manager:

Dreyfus
GLOBAL TRADE, LLC.

Dreyfus Global Trade
521 Fifth Avenue, Suite 2130
New York, NY 10175 USA
Telephone: +1 212 867 7700
Telefax: +1 212 867 7820
Email: info@dreyfusglobal.com