

Guide de choix des traitements des aciers à outils

par **Robert LÉVÊQUE**

Ingénieur Civil des Mines

Directeur Technique. Établissement d'Unieux. IRSID SA

1. Gamme de traitements thermiques	M 1 137 - 3
1.1 Prétraitements.....	— 3
1.2 Traitements de durcissement	— 4
1.2.1 Austénitisation : montée en température.....	— 4
1.2.2 Austénitisation : température et temps de maintien	— 4
1.2.3 Trempe : milieux de refroidissement	— 5
1.2.4 Revenu	— 6
1.2.5 Traitement par le froid.....	— 6
1.3 Traitements superficiels	— 6
1.4 Traitement de détente	— 7
2. Problèmes posés par les déformations	— 8
2.1 Moyens d'action sur les changements de forme.....	— 8
2.1.1 Contraintes résiduelles.....	— 8
2.1.2 Mise en place des pièces dans les équipements de chauffage	— 8
2.1.3 Limitation des gradients thermiques	— 8
2.2 Moyens d'action sur les changements de volume	— 9
3. Incidents au traitement thermique et remèdes	— 9
3.1 Tapures	— 10
3.2 Déformations excessives	— 10
3.3 Fragilité.....	— 10
3.4 Décarburation	— 10
Pour en savoir plus	Doc. M 1 137

La tenue des outillages, qui peut se chiffrer par la durée de vie ou la fréquence entre réaffûtages, ou le ratio consommation d'aciers à outils sur quantité de produits mis en œuvre, est conditionnée par un certain nombre de facteurs parmi lesquels on peut citer :

- le dessin et la conception de la pièce ;
- la nature et la qualité du matériau choisi ;
- les qualités de l'usinage et de la finition (rectification par exemple) ;
- le traitement thermique et le traitement superficiel ;
- les conditions d'utilisation en service.

Tous ces facteurs influent sur l'état des contraintes liées d'une part à la mise en œuvre, d'autre part à la fonction. Leur maîtrise doit permettre une optimisation des outillages en vue d'une amélioration de la compétitivité des produits mis en œuvre par une réduction des coûts de production et une amélioration de la fiabilité des procédés de fabrication.

Le choix du matériau constituant l'outillage est un problème souvent complexe où se conjuguent des facteurs d'ordre technique (au niveau de la mise en œuvre et de la tenue en service) et d'ordre économique (coût matière, coût de mise en œuvre et disponibilité sur le marché). Dans ce domaine, l'expérience pratique est primordiale ; cependant, il est de plus en plus nécessaire que ce mode de jugement soit complété par une analyse aussi précise que possible des propriétés d'emploi requises pour le matériau, cette analyse devant être complétée par une approche des sollicitations thermomécaniques des outillages, soit à l'aide de méthodes analytiques, soit avec l'utilisation des codes existants pour modéliser les écoulements des produits mis en forme.

La méthode de choix proposée s'efforce de conduire à une solution correspondant au coût unitaire minimal, ce coût étant défini comme le coût total de l'outil (fabrication, entretien) divisé par le nombre effectif de pièces qu'il permet de produire (durée de vie).

Le choix de l'acier à outil et de son traitement thermique influe beaucoup plus fortement sur la durée de vie de l'outil que sur son coût total et doit être surtout conditionné par les qualités requises en service plutôt que par celles assurant un coût de fabrication réduit. Il est certain que des économies réalisées au niveau de l'acier et de son traitement thermique sont possibles, mais souvent lourdes de conséquences au niveau des propriétés d'emploi.

*Le tableau **A** donne la chronologie et le but des opérations effectuées sur les outils depuis leur conception jusqu'à leur mise en service ; il situe le traitement thermique dans le cycle de fabrication. C'est l'opération la plus critique de la gamme, car elle a pour but d'assurer aux aciers une microstructure et un état des contraintes internes dont dépendent les propriétés d'emploi comme la dureté, la ténacité, la résistance à l'usure et à la fatigue sous toutes ses formes (mécanique, thermique, de surface). De petites variations des paramètres de traitement peuvent se traduire par des écarts importants au niveau du comportement en service.*

*Le présent guide rassemble les données d'ordre pratique pour aider l'utilisateur dans le choix de sa gamme de traitement ; le problème des variations dimensionnelles est également abordé avec les indications nécessaires pour minimiser ces dernières ; en guise de conclusion, les tableaux **1**, **2**, **3** et **4** rassemblent les principaux incidents pouvant survenir au cours de la fabrication des outillages et fournissent à l'utilisateur des données sur les causes possibles et les remèdes correspondants.*

Tableau A – Opérations de fabrication des outils en acier

Opération	Nature	But	Conditions d'utilisation
Traitement d'adoucissement.	Recuit complet.	Faciliter l'usinage.	Traitement effectué par l'aciériste (acier livré à l'état adouci) et utilisé exceptionnellement mais impérativement sur les ébauches forgées ou lorsque l'on veut reprendre en usinage un outil déjà trempé.
Usinage de 1 ^{re} et 2 ^e ébauches.	Usinage par coupe ou électro-érosion.	Ébauchage de la forme (cotes finales + surépaisseurs).	Peut être omis en l'absence de problème de déformation à la trempe (outil directement fini).
Usinage de finition.	Usinage par coupe, rectification ou électro-érosion.	Mise aux cotes finales.	
Prétraitement.	— Recuit complet. — Recuit de détente. — Prêtempe : trempe + revenu à haute température.	Contrôler et minimiser les déformations lors du traitement de durcissement. Améliorer la ténacité dans certains cas.	Recommandé pour les pièces de forme compliquée avec des tolérances sévères et présentant des problèmes de déformation à la trempe.
Traitement de durcissement.	Trempe + revenu.	Durcissement de l'acier au niveau exigé par les conditions de travail.	Impératif sauf dans les cas où : — l'outil est peu sollicité (pour petite ou moyenne séries) ; — l'acier est livré à l'état durci (<i>prétraité</i>).
Traitement superficiel.	— Nitruration. — Oxydation. — Cémentation (1). — Trempe superficielle (1). — Revêtement métallique (1). — Carbonitruration (1).	Durcissement superficiel destiné à augmenter la résistance à l'usure ou au grippage, à l'enfoncement et à la fatigue mécanique ou thermique.	Recommandé pour : — les outils sollicités pour grandes séries ; — les problèmes d'adhésion et de grippage.
Réaffûtage.	Usinage par rectification.	Redonner aux arêtes leur forme initiale.	
Traitement de détente.	Détente par chauffage à une température inférieure à la température de revenu.	Diminuer la fragilité de l'outil (en réduisant les contraintes résiduelles de tension introduites par l'usinage).	Recommandé pour les outils qui présentent des problèmes de fragilité (après rectification finale ou réaffûtage).

(1) Pour ces quatre traitements, la gamme de fabrication des outils est modifiée. Le traitement thermique de durcissement (trempe et revenu) *suit* le traitement superficiel. La rectification finale se fait *avant* le traitement superficiel dans le cas de la réalisation des revêtements métalliques.

1. Gamme de traitements thermiques

1.1 Prétraitements

Lorsqu'un outil présente des difficultés de mise en œuvre (formes complexes conduisant à des enlèvements de matière importants : matrices de presse, moules de coulée sous pression), il est fortement recommandé d'effectuer un ou plusieurs prétraitements dans le but de présenter au traitement final de trempe et revenu des pièces dans l'état le plus favorable au bon déroulement de ce traitement. Il est en effet souhaitable que le niveau des contraintes résiduelles soit le plus bas possible dans les outils à traiter pour éviter les incidents lors du traitement thermique ultérieur (déformations, fissurations au chauffage pouvant conduire à des risques de tapures lors de la trempe ultérieure). Ce niveau de contraintes sera d'autant plus bas que la structure initiale de l'acier est plus stabilisée et plus facilement usinable. Ces caractéristiques sont obtenues pour une dispersion

homogène de carbures globulisés dans une matrice ferritique. Pour réaliser de telles structures, l'utilisateur aura le choix entre plusieurs procédés (article *Traitements superficiels des aciers à outils* [M 1 135] dans le présent traité).

■ Recuit complet

Ce traitement est à conseiller dans les cas suivants :

— reprise en usinage par outil coupant d'une ébauche préalablement traitée : l'ébauche est alors recuite, usinée, puis à nouveau traitée ;

— traitement thermique mal conduit nécessitant un second cycle de trempe et revenu ;

— ébauches reprises par contreforgeage chez des sous-traitants et qui sont livrées sans aucune garantie de structure optimale de recuit.

■ Recuit de détente

Il doit être effectué entre l'usinage de la première ébauche et l'usinage de la deuxième ébauche ou l'opération de finition (rectification par exemple). Il est bon de savoir que le détensionnement des contraintes d'usinage sera d'autant plus difficile à réaliser complètement que les propriétés mécaniques de résistance à la

déformation à chaud et au fluage de l'acier sont plus fortes. Par exemple, dans un acier d'outillage à chaud du type Z 38 CDV 5, il faut atteindre 650 °C pour détensionner 90 % des contraintes résiduelles. Pour les aciers de cette famille, il est plutôt conseillé le traitement décrit ci-après.

■ **Prétrempé**

Elle est destinée à assurer la meilleure reproductibilité possible des variations dimensionnelles inévitablement provoquées par l'opération ultérieure de trempé. Ce traitement consiste en une austénitisation à basse température (860 à 920 °C), suivie par un refroidissement à l'air, à l'huile, ou par étape, et un revenu à haute température immédiatement au-dessous de Ac₁ (700 à 750 °C).

Exemple : un acier à outil du type Z 160 CDV 12 pourra être prétraité à 860 °C avec une trempé par étape à 520 °C arrêtée à l'air et un revenu à 750 °C, pour une utilisation délicate en matrice de presse, et un acier du type Z 38 CDV 5 pourra être prétraité à 900 °C avec une trempé à l'huile ou par étape à 520 °C avec arrêt à l'air et revenu à 750 °C pour une utilisation en moule de coulée sous pression de forme particulièrement complexe.

L'utilisateur peut également souhaiter réduire les hétérogénéités chimiques dues au processus de solidification pour atténuer leurs conséquences néfastes sur le comportement ultérieur de l'outil au traitement thermique (variations dimensionnelles). Il peut être ainsi amené à réaliser des traitements thermiques particuliers comme indiqué ci-après.

■ **Recuit d'homogénéisation**

La réduction des hétérogénéités est obtenue par un traitement à haute température (> 1 100 °C), avec un temps nécessaire pour assurer cette réduction par diffusion des éléments ségrégués. Le compromis température temps de maintien peut être optimisé par une maîtrise des lois de la diffusion des éléments incriminés. Le calcul de ces conditions peut se faire par l'application de la relation suivante :

$$\Delta C = \Delta C_0 \exp\left(-\frac{Dt}{\ell^2} \pi^2\right)$$

- avec ΔC_0 (%) écart de teneur maximal avant traitement,
- ΔC (%) écart de teneur visé après traitement,
- t (h) durée du maintien en heures,
- ℓ (cm) distance moyenne entre les points immédiatement voisins de concentration maximale et minimale,
- D (cm²/s) coefficient de diffusion à la température de traitement.

À titre d'exemple, si l'on veut réduire une ségrégation en manganèse de 0,6 à 0,4 %, avec $\ell = 100 \mu\text{m}$, il faut maintenir l'acier pendant 5,7 h à 1 100 °C :

$$D_{Mn} \text{ à } 1\ 100\ \text{°C} = 2 \times 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s}$$

Ce traitement d'homogénéisation doit être obligatoirement suivi d'un affinage structural réalisé par un traitement du type prétrempé et revenu ou normalisation.

1.2 Traitements de durcissement

1.2.1 Austénitisation : montée en température

Au cours du chauffage, on assiste à une sorte de pétrissage de la peau de l'outil lié au gradient thermique créé dont l'ampleur croît avec la rapidité du chauffage. Si ce pétrissage ne crée pas un risque de fissuration, il engendre par contre des modifications des géométries de la pièce qui constituent une part non négligeable des

déformations dues au traitement thermique. Le passage des points de transformation est une étape qui doit être conduite avec précautions : en effet, la plupart des aciers à outils ont une faible conductivité thermique qui entraîne la présence de gradients thermiques importants pour les vitesses usuelles de chauffage. Ces précautions seront à adapter au moyen de chauffage utilisé (article *Traitements superficiels des aciers à outils* [M 1 135] dans ce traité).

■ **En four à moufle**

Les pièces seront placées dans le four (température inférieure à 300 °C) de manière que leur montée en température soit simultanée à celle du four, avec au moins un palier vers 850 °C de durée minimale 30 min par 25 mm d'épaisseur.

■ **En bain de sel**

Les pièces subiront un traitement de dégourdisage dans un four classique aux environs de 300 °C ; cette opération a pour but d'éviter les chocs thermiques trop violents et d'éliminer toute trace d'humidité qui pourrait réagir violemment avec les sels en fusion utilisés ultérieurement. Les étapes de préchauffage proprement dites seront différentes selon le type d'acier à traiter :

- pour les aciers à outils au carbone ou faiblement alliés, un seul préchauffage à 500-600 °C sera suffisant avec un temps de maintien minimal de 10 min par centimètre d'épaisseur pour permettre l'homogénéisation de température dans les pièces ;
- pour les aciers à outils alliés et les aciers rapides, il est nécessaire d'effectuer deux paliers de préchauffage, l'un vers 500-600 °C et l'autre juste au-dessus du point Ac₁, c'est-à-dire vers 850 °C : le temps de maintien minimal sera dans les deux cas de 10 min par centimètre d'épaisseur pour assurer l'homogénéité de température dans les pièces.

■ **En four sous vide**

Les pièces, parfaitement nettoyées et dégraissées pour éviter la pollution du four, seront introduites dans l'enceinte qui sera amenée à une pression résiduelle inférieure à 10⁻² mbar et la montée en température sera lente (300 °C/h au maximum) avec un ou deux paliers au voisinage de 600 et de 850 °C dont la durée sera au moins de 30 min par 25 mm d'épaisseur pour assurer une bonne homogénéité de température.

■ **En lit fluidisé**

Les pièces subiront un cycle de chauffage très voisin de celui qui a été décrit précédemment dans le cas des bains de sel.

1.2.2 Austénitisation : température et temps de maintien

Les températures d'austénitisation les plus classiques utilisées pour chaque nuance d'acier à outils sont indiquées dans l'article *Données numériques sur les aciers à outils* [M 330] de ce traité. D'un point de vue pratique, la durée de maintien est la somme de la durée théorique fixée suivant les critères métallurgiques (remise en solution plus ou moins complète des carbures dans l'austénite) et du temps nécessaire pour que les outillages atteignent la température du four jusqu'au cœur. Malgré les incertitudes causées par la méconnaissance de la variation des coefficients d'échange thermique avec la température, des règles empiriques permettent d'estimer de façon simple le temps de montée en température des pièces jusque dans le domaine 700-1 000 °C (température de départ : 20 °C) :

- dans le cas d'un **four à moufle**, le temps de chauffage d'une pièce d'épaisseur e (mm) est de $1,5 e$ (min) ;
- dans le cas d'un **four à bain de sel**, ce même temps est de $0,3 e$.

Ces temps sont à augmenter de 20 % si les pièces sont portées en température avec des emballages de charbon de bois ou de tournure de fonte, qui permettent d'éviter la décarburation (article *Traitements superficiels des aciers à outils* [M 1 135] dans ce traité).

Les températures d'austénitisation indiquées dans l'article *Données numériques sur les aciers à outils* [M 330] sont des températures moyennes. Il faut en toute rigueur tenir compte de l'état structural initial et cela d'autant plus que l'acier est plus riche en éléments d'alliages carburigènes. Plus les carbures spéciaux seront globulisés, plus il sera difficile de les mettre en solution. La figure 1 illustre cette influence dans le cas d'un acier peu allié (Y 42 CD 4) où on voit que les écarts peuvent être importants.

1.2.3 Trempe : milieux de refroidissement

Les modes de trempe applicables dépendent de la nature de l'acier, notamment de sa trempabilité et des dimensions de l'outil. Ils sont indiqués, pour chaque acier, dans l'article *Données numériques sur les aciers à outils* [M 330].

■ **La trempe à l'air** (calme ou pulsé) est le cas le plus simple à mettre en œuvre et il doit être choisi en priorité dans le cas des aciers à outils de bonne trempabilité, car les risques de déformations sont d'autant plus grands que le mode de refroidissement est plus rapide. Pour guider l'utilisateur dans le choix des nuances capables d'être trempées à l'air, la figure 2 donne le temps nécessaire pour atteindre 500 °C par trempe à l'air calme, à partir de 1 000 °C, de cylindres de différents diamètres.

■ **La trempe en four sous vide** équipé de dispositifs d'injection de gaz peut être estimée en première approximation comme équivalente à la trempe à l'air calme.

■ **La trempe à l'eau ou à l'huile** est relativement plus délicate à mettre en œuvre car le temps de transfert du milieu d'austénitisation au milieu de trempe ne doit pas excéder quelques dizaines de secondes pour les outils de volume important transportés par palan.

Dans le cas des aciers d'outillage à froid peu alliés dont la trempabilité est faible, il est impératif d'assurer le refroidissement le plus rapide possible pour obtenir une dureté convenable.

■ **La trempe par étape en bain de sel ou en lit fluidisé** est appliquée, d'une part, aux aciers qui présentent un domaine de stabilité de l'austénite suffisant entre 400 et 600 °C, d'autre part, aux aciers qui sont caractérisés par un point de transformation martensitique relativement bas (< 180 °C). Ce traitement a pour but d'homogénéiser la température de la pièce avant la trempe et de réduire les risques de déformation et de tapures (diminution du choc thermique). Les températures d'étape sont généralement comprises entre 450 et 550 °C pour le premier type d'aciers, et entre 180 et 220 °C pour le second type d'aciers, avec un temps de maintien qui doit être adapté aux dimensions de la pièce à traiter. Les courbes de la figure 3 donnent à titre indicatif, pour des cylindres de diamètres croissants, le temps nécessaire à l'homogénéisation de la température de la pièce dans des bains à 200 et 500 °C lorsque la température d'austénitisation est voisine de 1 000 °C.

La composition des bains est choisie pour assurer une fluidité suffisante à la température visée afin que les échanges thermiques soient efficaces. Ceux-ci peuvent être sensiblement améliorés par une agitation. Une composition très souvent citée est la suivante :

- 50 à 60 % de KNO_3 ;
- 40 à 50 % de NaNO_2 ;
- 0 à 10 % de NaNO_3 ;

ce mélange fond vers 140 °C et est utilisable entre 160 et 500 °C.

Lorsque le chauffage pour austénitisation est aussi réalisé en bain de sels fondus, il est important de vérifier si le mélange des deux bains réalisés lors de la trempe ne crée pas de danger.

Après le maintien en bain de sel à la température choisie, le refroidissement s'effectue généralement à l'air. Toutefois, si l'on veut éviter toute transformation partielle dans le domaine bainitique (article *Transformations dans les aciers* [M 1 115] dans ce traité), dans le cas des aciers d'outillage à chaud et des aciers rapides notamment, où l'étape se fait vers 520 °C, il y a lieu d'arrêter le traitement par immersion de la pièce dans l'huile.

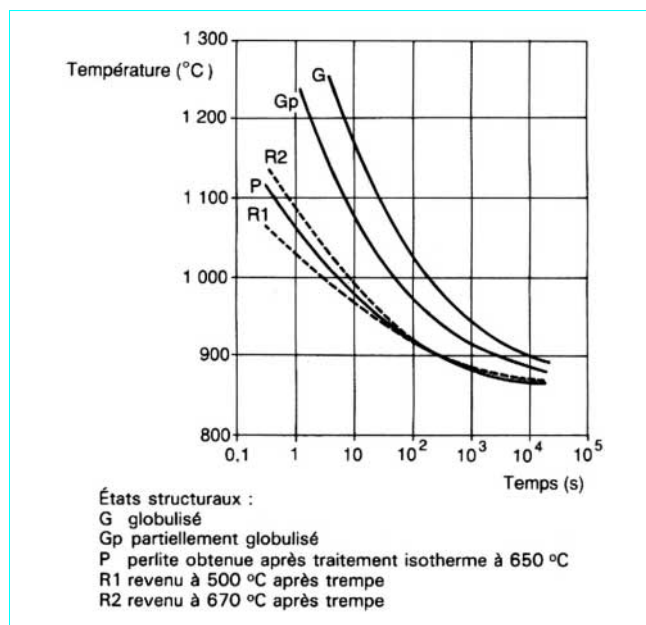


Figure 1 – Limites de température à atteindre en chauffage continu pour obtenir une austénite homogène avec un acier du type Y 42 CD 4 à partir de différents états structuraux

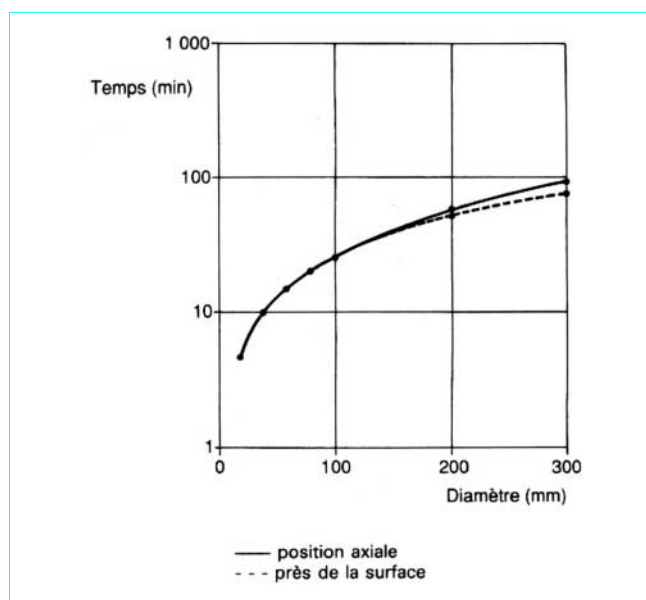


Figure 2 – Temps de refroidissement nécessaire pour atteindre 500 °C dans le cas de cylindres en acier de différents diamètres, trempés à l'air à partir de 1 000 °C

D'une manière générale, à l'exception des aciers à outils au carbone qui ont une très faible trempabilité, la trempe par étape est toujours recommandée, à condition que les dimensions de la pièce à traiter le permettent, car ce mode de trempe, tout en réduisant le risque de déformations ou de tapures, permet d'obtenir des propriétés d'emploi de l'acier (ténacité notamment) comparables à celles que l'on obtient avec la trempe à l'huile.

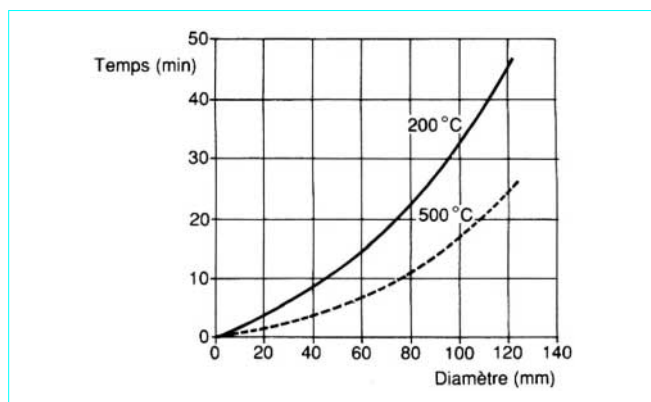


Figure 3 – Durée de maintien nécessaire pour homogénéiser la température de cylindres en acier de différents diamètres, lors de la trempe par étape en bain de sel à 200 et 500 °C depuis environ 1 000 °C

1.2.4 Revenu

Cette opération a pour but principal de provoquer une précipitation du carbone sous une forme et dans des conditions contrôlées afin d'engendrer une évolution depuis l'état structural métastable obtenu après trempe vers un état plus proche de l'équilibre physico-chimique. Il s'agit d'une opération facile à mettre en œuvre mais qui, en aucune façon, ne doit être dissociée de la trempe : **c'est l'ensemble trempe + revenu qui donne à l'acier ses bonnes propriétés d'emploi**. Le revenu doit être fait immédiatement après la trempe, pour atténuer les contraintes résiduelles qui en résultent et éliminer tout risque de rupture ; il est même souvent conseillé, pour des pièces de formes compliquées et trempées sévèrement, d'effectuer le revenu avant que l'acier ne soit ramené à la température ambiante par la trempe, pour diminuer le niveau de contraintes résiduelles et les risques de fragilité excessive. Ce sera le cas, par exemple, pour les pièces en aciers à haut risque de tapures (aciers alliés à forte teneur en carbone : 90 MV 8, 100 C 6, etc.) dans lesquels la transformation martensitique est déjà bien avancée dans le domaine 60-80 °C.

Pour les paramètres du revenu (température et temps de maintien), le lecteur pourra se reporter à l'article *Données numériques sur les aciers à outils* [M 330] de ce traité. Rappelons que **la durée de ce traitement doit être au moins de 1 h après homogénéisation de la température de la pièce pour assurer une stabilisation de la structure brute de trempe**.

Si le revenu est effectué en bain de sel, il est recommandé de pratiquer un dégourdissage vers 300 °C en four classique dans la mesure où l'acier n'est pas fragilisé par un tel traitement, ce qui est le cas pour la plupart des aciers à outils traités aux environs de 500 °C par revenu. Lorsque plusieurs maintiens sont effectués (revenu double ou triple), le refroidissement doit être complet entre chacun d'eux pour éliminer le plus possible l'austénite résiduelle qui a été déstabilisée par les chauffages successifs.

1.2.5 Traitement par le froid

Ce traitement peut être effectué sur les outils en acier relativement alliés à haute teneur en carbone, caractérisés par un point $M_s \leq 200$ °C (point de transformation en martensite), qui subissent des revenus à des températures n'excédant pas 200 °C. L'austénite résiduelle qui subsiste dans la microstructure peut se transformer mécaniquement en cours de service et peut être source de fragilité

et d'écaillage. Toutefois, il faut souligner que ce traitement, en assurant une transformation plus complète de l'austénite résiduelle, entraîne un gonflement supplémentaire qui est difficile à contrôler, et cela d'autant plus que la quantité d'austénite résiduelle présente après trempe est plus importante. Il y aura lieu, dans la mesure du possible, de contrôler la teneur de ce constituant en jouant simultanément sur la température d'austénitisation et la température du ou des revenus (article *Traitements superficiels des aciers à outils* [M 1 135] dans ce traité).

1.3 Traitements superficiels

Le but des traitements superficiels est de réaliser sur les outils des gradients de propriétés mécaniques dont l'intérêt se trouve justifié, soit sur le plan technique lorsque les caractéristiques demandées à la surface et à la masse sont incompatibles (exemple résistance au frottement et à l'usure sur la surface, tenue aux chocs et résistance à la fissuration pour la masse), soit sur le plan économique (allègement de la gamme de fabrication de produits moins alliés sur lesquels il sera effectué en fin de mise en œuvre un traitement superficiel).

Les **traitements thermiques superficiels** utilisent dans la très grande majorité des cas les techniques d'apport d'énergie telles que le chalumeau oxyacétylénique, ou l'induction magnétique. Selon le type de pièce, les traitements se feront soit au défilé (pièces longues), soit d'une manière générale et instantanée. La trempe se fait immédiatement après la période de chauffage, en général par aspersion d'eau, selon les deux mêmes procédés.

Nota : ces traitements ne sont couramment appliqués que pour des aciers peu alliés des classes 1 et 2 car la brièveté du chauffage limite les possibilités de mise en solution des carbures alliés.

Les **traitements superficiels par faisceaux d'énergie** (laser, faisceau d'électrons) nécessitent une opération de finition mécanique lorsqu'il est recherché un alliage de surface ou un renfort sous forme pulvérulente car, dans ce cas, la nécessité de passer par l'état liquide modifie d'une manière substantielle la rugosité de surface.

Nota : ces traitements seront réalisés, lorsqu'un renfort localisé de l'outillage est nécessaire pour améliorer la tenue d'un tranchant (outil de découpe) ou la résistance à la fatigue mécanique (conçus de raccordement).

Les **traitements thermo-chimiques** comme la **cémentation** ou la **carburation**, destinés par exemple à réaliser des enrichissements superficiels en carbures dans les aciers au chrome ou les **dépôts chimiques en phase vapeur (CVD)**, sont réalisés à des températures comprises entre 800 et 1 000 °C, donc en phase austénitique. Ces opérations seront donc suivies immédiatement par une trempe et un ou plusieurs revenus sur des pièces qui ne pourront plus être réusinées par la suite en raison de leur haute dureté et de la faiblesse de l'épaisseur des couches déposées (quelques μm dans le cas des dépôts CVD).

Nota : il y aura lieu de pratiquer ce type de traitement sur des pièces de petites dimensions, n'excédant pas 200 mm de diamètre, de forme géométrique simple avec des aciers de bonne trempabilité pour être durcis par trempe à l'air ou sous gaz neutre et minimiser ainsi les risques de déformations qui sont dans ce cas rédhibitoires. Ce type de traitement est bien adapté pour les aciers dont la température de trempe correspond à celle du traitement de surface ; par exemple, l'acier Z 38 CDV 5 que l'on peut surcarburer ou l'acier Z 160 CDV 12 sur lequel on peut réaliser un dépôt CVD de carbure de titane, de chrome ou de vanadium. De bons résultats ont été obtenus sur des matrices de forge ou des outils de découpage et d'emboutissage.

Une bonne maîtrise des variations dimensionnelles est obtenue en pratiquant le revenu soit à 200 °C, soit aux environs de 500 °C selon la composition chimique de l'acier.

Les traitements thermo-chimiques comme la **nitration** ou l'**oxy-nitration** n'apportent le plus souvent que de faibles variations dimensionnelles parfaitement maîtrisables sous réserve de suivre les règles habituelles de disposition des pièces dans les fours pour minimiser les distorsions. Ces traitements seront pratiqués chaque fois que les conditions d'utilisation de l'outil nécessiteront une

résistance accrue de la surface de l'acier à la fatigue mécanique ou thermique, au frottement et à l'usure. Le choix de l'acier à nitrurer se fera en fonction de deux critères :

a) la compatibilité du traitement de nitruration au revenu antérieur de l'acier pour ne pas remettre en cause le niveau de résistance initiale du substrat ;

b) l'obtention après nitruration d'un gradient de propriétés mécaniques intéressant.

Les aciers à outils les plus aptes à la nitruration sont donc ceux qui présentent un durcissement secondaire entre 500 et 550 °C avec des éléments d'alliage comme le chrome ou le vanadium susceptibles de donner aux couches nitrurées de bonnes propriétés mécaniques. Ce sont donc les aciers d'outillage à chaud ou à froid de très grande résistance à l'usure que l'on rencontre le plus souvent avec une nitruration (Z 38 CDV 5, 30 CDV 12-28, Z 100 CDV 5, Z 160 CDV 12).

Les aciers rapides sont également susceptibles de donner aux couches nitrurées de très hauts niveaux de dureté, supérieurs à 1 000 HV ; toutefois, ces couches sont fragiles et leur épaisseur ne doit pas excéder quelques dizaines de μm si l'on veut éviter les écaillages en service.

Les **dépôts physiques en phase vapeur** (PVD) sont réalisés à des températures comprises entre 400 et 600 °C ; il est donc possible de les envisager sur des aciers à outils qui présentent un durcissement secondaire dans ce domaine de température ; les revêtements les plus utilisés pour l'usinage et la mise en forme sont le nitrure de titane qui assure une barrière antidiffusion dans les outils de coupe ou le nitrure de titane et d'aluminium (7 à 12 % Al) qui présente, par rapport au revêtement précédent, une meilleure résistance à l'oxydation. Pour l'utilisation en coupe, des épaisseurs faibles (1 à 2 μm) sont à conseiller pour conserver la géométrie de l'outil et notamment de l'arête de coupe. Pour l'utilisation en outillage de mise en forme, des épaisseurs comprises entre 5 et 10 μm assureront le meilleur compromis résistance à l'usure-résistance à l'égrènement en service. En effet, au-delà de 10 μm , les contraintes résiduelles contenues dans le dépôt augmentent et favorisent la fissuration et l'écaillage. Dans tous les cas de figure, l'état de surface du substrat acier doit être très soigné sur le plan physico-chimique pour assurer une très bonne adhérence. Notons également que les carbures primaires du type MC contenant du vanadium sont de bons points d'ancrage pour un revêtement de TiN et que l'adhérence du dépôt sera d'autant meilleure que ces carbures seront fins et bien répartis dans la matrice.

La température à laquelle se font les dépôts PVD étant en général compatible avec la température de nitruration, il est recommandé, notamment dans le cas d'outillages sollicités en fatigue mécanique ou thermique, de renforcer le substrat métallique par un traitement thermo-chimique de nitruration pour réaliser un gradient de propriétés mécaniques sans couche de combinaison. Ce gradient peut être aisément réalisé par nitruration ionique avec, en plus, une très bonne préparation de surface assurée par le bombardement pour améliorer l'adhérence du dépôt qui peut être réalisé dans les mêmes enceintes.

Les **dépôts réalisés par la voie liquide**, notamment le dépôt de chrome électrolytique ou le dépôt de nickel chimique, peuvent être envisagés sur une gamme étendue d'aciers à outils, afin d'en améliorer les propriétés de résistance au frottement, à la corrosion et à l'usure. Les épaisseurs les plus courantes sont comprises entre 10 et 60 μm , une épaisseur faible étant à privilégier lorsque les sollicitations mécaniques des outillages sont importantes pour éviter tout risque d'écaillage en service. Si des épaisseurs plus fortes sont recherchées, notamment pour constituer des protections thermiques des substrats, il faut une rugosité suffisante pour assurer une bonne

adhérence du revêtement, sans que cette dernière ne soit trop importante en raison de l'augmentation de la quantité de fissures pré-existantes dans le dépôt (article spécialisé de la rubrique *Traitements de surface* dans ce traité).

Les **dépôts réalisés par rechargement** intéressent surtout les outillages de mise en forme à chaud ou à froid dont les dimensions sont importantes avec des géométries complexes. Les techniques habituelles de rechargement peuvent être utilisées : soudure à l'arc avec électrode enrobée, TIG avec électrode de tungstène, MIG avec électrode fusible sous protection gazeuse, soudage sous flux avec apport sous forme de fils ou de feuillards, plasma arc transféré. Parmi ces techniques, la dernière citée assure plus de souplesse d'utilisation sur des géométries complexes et permet de renforcer sur une épaisseur minimale de 2 mm le substrat qui doit être une nuance d'acier à outil soudable (teneur en carbone limitée à 0,5 %). Dans le domaine de l'outillage à chaud, les nuances de renfort peuvent être des aciers à haute teneur en Cr et Co (15 % Cr - 15 % Co) en raison de leur très bonne tenue à la fatigue thermique. Dans le domaine de l'outillage à froid, les nuances de renfort pourront être des aciers rapides.

La réalisation de **revêtements par compaction isostatique à chaud** peut constituer une solution technico-économiquement intéressante pour certaines applications dans le domaine de l'outillage, avec les mêmes nuances de renfort que celles précédemment indiquées. La connaissance des contraintes d'usage de l'outil permet d'optimiser l'épaisseur du revêtement à réaliser entre 2 et 10 mm. Cette méthode peut être employée pour certains outils soumis à de l'usure par abrasion où les épaisseurs de renforts doivent être importantes (organes de broyeurs, filières d'extrusion, pièces d'usure diverses...). Compte tenu des températures de compaction, il est nécessaire que les températures de traitement thermique du substrat et du renfort soient compatibles.

1.4 Traitement de détente

Ce traitement a pour but de détendre les contraintes résiduelles apportées par la dernière opération d'usinage (électro-érosion ou rectification) ou le réaffûtage en cours de service. Il est également très utile pour détendre les contraintes emmagasinées pendant la mise en service de l'outil : par exemple, les contraintes mécaniques et thermiques dans le cas d'un moule de coulée sous pression ou d'un outillage de mise en forme à chaud et à mi-chaud, les contraintes mécaniques dans le cas d'un outil de coupe, etc. Il s'agit d'un traitement identique à une opération de revenu, avec un temps de maintien identique et une température inférieure d'au moins 20 à 30 °C (50 °C si le traitement est répété entre chaque réaffûtage). Il sera donc intéressant de le pratiquer lorsque le traitement thermique de l'acier comporte un revenu à une température d'au moins 500 °C, car le détensionnement des contraintes d'usinage n'est vraiment sensible que pour des maintiens à des températures supérieures ou égales à 450 °C. À titre indicatif, dans le cas d'un acier d'outillage à chaud du type Z 38 CDV 5 dont la résistance au fluage est connue, la température minimale à atteindre pour détensionner 80 % des contraintes résiduelles est voisine de 600 °C.

Il ne faut pas oublier que le détensionnement des contraintes résiduelles va se traduire par des déformations : dans certains cas particulièrement délicats (pièces de petites dimensions devant répondre à des exigences de tolérances dimensionnelles), la relaxation des contraintes peut rendre l'outil inutilisable. L'utilisateur devra donc, dans chaque cas, faire la part des choses entre la présence de contraintes résiduelles avec les risques associés de fissurations et d'écaillage et de tolérance d'un minimum de déformations provoquées par le traitement de détente.

2. Problèmes posés par les déformations

Comme indiqué dans l'article *Traitements superficiels des aciers à outils* [M 1 135], il existe deux types de déformations qui ne peuvent pas être considérés indépendamment l'un de l'autre : le changement de volume et le changement de forme. Le changement de volume, lié aux transformations de structure, peut être mieux connu et contrôlé, et le changement de forme, lié à la relaxation de l'ensemble des contraintes internes, peut être minimisé par quelques règles d'ordre pratique. Le tableau 1 pose d'une manière très synthétique le problème des déformations avec les paramètres importants et les principaux moyens d'action.

2.1 Moyens d'action sur les changements de forme

L'obtention de déformations minimales peut être réalisée en suivant les trois règles fondamentales suivantes :

- présenter au traitement thermique des pièces ayant un niveau de contraintes résiduelles le plus bas possible ;
- placer les pièces à traiter dans l'équipement de chauffage de façon stable pour éviter les déformations dues à leur propre masse ;
- limiter le plus possible les gradients de température dans les pièces pendant la durée du cycle thermique, aussi bien au chauffage qu'au refroidissement, et notamment lors du passage des points de transformation.

2.1.1 Contraintes résiduelles

Les contraintes résiduelles pourront être minimisées au moyen d'un prétraitement : recuit complet, recuit de détente ou prétemppe (§ 1.1).

2.1.2 Mise en place des pièces dans les équipements de chauffage

Il s'agit d'un certain nombre de règles, d'ordre essentiellement pratique, qui sont le résultat de l'expérience des réalisateurs de traitements thermiques.

Dans le cas des fours à bain de sel ou à lit fluidisé, les pièces de forme géométrique simple (cylindre ou parallélépipède, par exemple) sont disposées de telle manière que leur hauteur (cylindre) ou leur grande dimension (parallélépipède) soit verticale. Les pièces de forme géométrique plus complexe (couronne ou glissière, par exemple), peuvent être bridées ou disposées sur des supports spécialement adaptés.

Dans le cas des fours à mouffles ou des fours sous vide, les pièces sont généralement disposées à plat sur des soles en acier réfractaire. Lorsque les pièces à traiter sont massives, il est préférable d'intercaler une seconde sole qui puisse accepter une certaine déformation sous leur propre masse.

2.1.3 Limitation des gradients thermiques

Les cycles de chauffage et de refroidissement seront adaptés d'une part à l'acier, d'autre part à la technologie de traitement thermique utilisée.

Au chauffage, les pièces seront mises en place dans le four froid lorsqu'il s'agit d'un four à moufle ou d'un four sous vide et subiront une montée en température relativement lente, n'excédant pas 300 °C/h avec, si possible, un palier de 1 h au moins à 850 °C pour les aciers à outils les plus alliés qui ont la plus faible conductivité thermique. Ces mêmes pièces subiront, en bains de sels ou en lits fluidisés, des préchauffages avec différentes étapes selon la nature de l'acier à traiter (§ 1.2.1, 1.2.2 et 1.2.3).

Tableau 1 – Problèmes posés par les déformations au traitement thermique des aciers à outils : principaux paramètres et moyens d'action

Aspect	Origine	Paramètres importants	Moyens d'action
Changement de volume.	Modifications des structures, dues au traitement thermique.	— Cycle de traitement. — Nature de l'acier.	— Utilisation de courbes de changement de volume (article <i>Traitements superficiels des aciers à outils</i> [M 1 135] dans ce traité). — Contrôle à la trempe et au revenu.
Changement de forme.	Contraintes résiduelles qui dépassent localement la limite d'élasticité du matériau : — contraintes de transformations structurales ; — contraintes thermiques.	— Usinage (ou traitement) antérieur. — Mise en place des pièces dans les équipements de chauffage. — Passage des points de transformation. — Gradients thermiques provenant : <ul style="list-style-type: none"> • d'une pièce massive, • d'un changement de section important, • d'une variation rapide de température, • de la faible conductivité de l'acier, notamment s'il est très allié. 	— Traitement de relaxation des contraintes avant trempe (recuit de détente). — Mise en place correcte des pièces dans les équipements de chauffage. — Passage lent des points de transformation (Ac_1 , Ac_3 ou Ac_m). — Diminution des gradients thermiques.

Au refroidissement, le choix se portera sur le mode de trempe le moins sévère possible compatible avec la trempabilité de l'acier. La trempe par étape, si elle est possible, sera préférée à la trempe à l'air en raison du faible gradient thermique réalisé lors du passage du point M_s . La température de l'étape dépend très étroitement de la nature de l'acier ; pour des aciers d'outillage à chaud ou des aciers rapides, qui présentent un grand domaine de stabilité de l'austénite entre 400 et 600 °C, l'étape se fera entre 450 et 520 °C avec un arrêt à l'huile ou à l'air selon la masse de la pièce traitée ; pour des aciers d'outillage à froid moins alliés qui ne présentent pas de domaine de stabilité de l'austénite vers 500 °C (90 MV 8, 100 C 6, etc.), l'étape pourra se faire vers 200 °C juste au-dessus de M_s ; les cas difficiles correspondant à des outils en aciers alliés de forme complexe (avec augmentation du risque de tapures) pourront être traités en double étape, l'une vers 550 °C, l'autre vers 200 °C en utilisant des bains de sel de bonne fluidité dans ce domaine de température, comme par exemple les bains à base de nitrites et nitrates de sodium et potassium. Un cas de traitement utilisant cette dernière technique peut être la trempe de matrices de découpage en acier Z 100 CDV 5 ou Z 200 C 12.

2.2 Moyens d'action sur les changements de volume

Les variations dimensionnelles liées aux transformations structurales lors de la trempe et du revenu des aciers à outils peuvent être déterminées par des études associant un couplage entre les données métallurgiques et les calculs thermomécaniques réalisés au moyen de codes aux éléments finis. À titre d'exemple, la figure 4 donne la déformée après trempe à l'eau d'un cylindre de 200 mm de longueur et de 90 mm de diamètre après trempe à l'eau (à partir de 850 °C) dans le cas d'un acier à 0,15 % de carbone. L'amplitude des déformations dépend bien entendu de l'importance des transformations de phase et par voie de conséquence de la trempabilité de l'acier ainsi que de sa teneur en carbone.

Les courbes des changements de cote en fonction des températures d'austénitisation et des températures de revenu peuvent servir de guide pour le traitement optimal. Un exemple en est donné dans l'article *Traitements superficiels des aciers à outils* [M 1 135]. La totalité des déformations (variations de forme) dues aux contraintes thermiques est introduite lors de la trempe ; au cours du revenu, seuls les changements de volume interviennent, si bien que toutes les cotes obtenues après trempe varient dans le même sens. Les variations dimensionnelles minimales pourront être réalisées en jouant sur la température d'austénitisation et sur la température de revenu (effets opposés de contraction liée au revenu de la martensite et de dilatation liée à la transformation de l'austénite résiduelle).

Il faut également tenir compte de l'anisotropie des déformations, provoquée par les carbures dans le cas des aciers à outils les plus alliés (aciers au chrome lédeburitiques et aciers rapides), avec effet d'expansion dans le sens des alignements de carbures et rétreint dans les directions perpendiculaires. Il est alors préférable de prélever l'outillage de telle façon que le plan dans lequel les problèmes de variations dimensionnelles sont les plus critiques soit perpendiculaire au sens de corroyage.

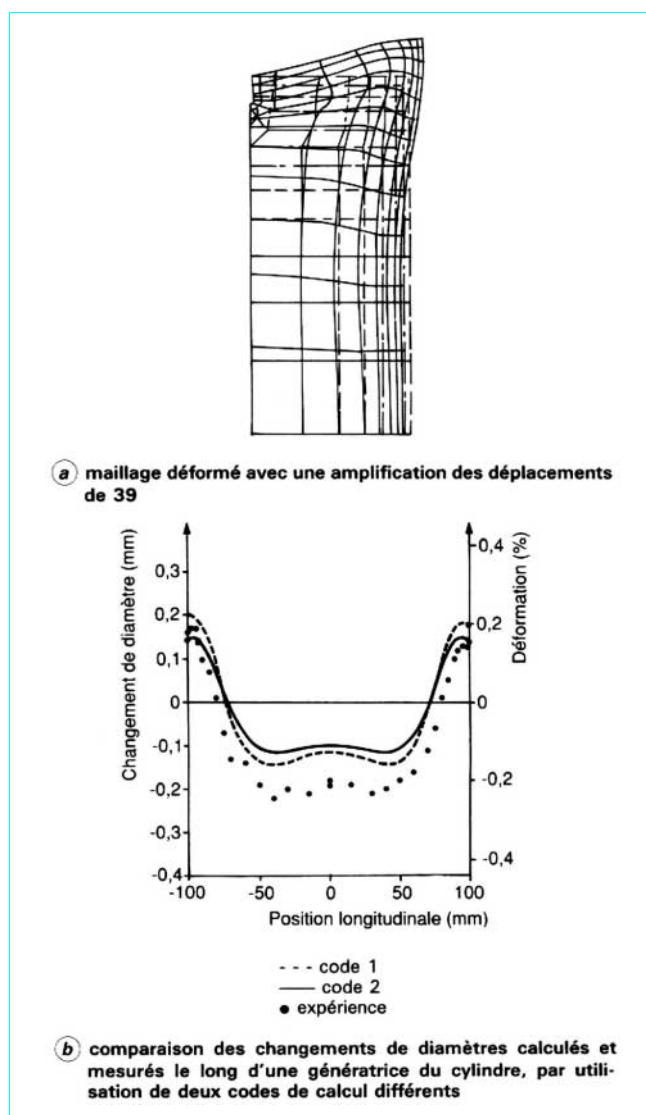


Figure 4 – Déformée d'un cylindre en acier peu allié à 0,15 % de carbone de 200 mm de long et de diamètre 90 mm après trempe à l'eau

3. Incidents au traitement thermique et remèdes

Lors du traitement thermique d'outils, il peut se produire plusieurs incidents qui conduisent au rebut de la pièce ou à un rendement insuffisant en service. Il s'agit en particulier des tapures, des déformations trop importantes, d'un excès de fragilité et des variations de la composition des couches superficielles de la pièce traitée, surtout par décarburation.

3.1 Tapures

Il s'agit d'une fissuration qui se produit pendant l'opération de trempe, lorsque la vitesse de refroidissement est rapide et l'acier peu ductile. Un exemple de l'origine des tapures est donné sur la figure 5 où, lors des opérations de refroidissement, la couche extérieure qui s'est transformée la première est soumise tout d'abord à des contraintes de compression, puis à des contraintes d'extension lorsque le cœur est successivement à l'état austénitique, puis transformé selon la trempabilité de l'acier en agrégats ferrite-carbures, en bainite ou en martensite. Lorsque les contraintes d'extension de la couche externe sont amplifiées par des facteurs de géométrie, elles peuvent dépasser la charge de rupture du matériau et c'est le phénomène de tapure. Les fissures peuvent également s'amorcer au chauffage par choc thermique et se propager au cours du refroidissement, ou après trempe et avant revenu, lorsque la structure n'est pas stabilisée. Si les tensions internes n'entraînent pas de tapures au cours du traitement, elles se maintiennent dans l'outil et peuvent conduire à la rupture, soit en service avec les sollicitations de travail, soit même au cours du stockage.

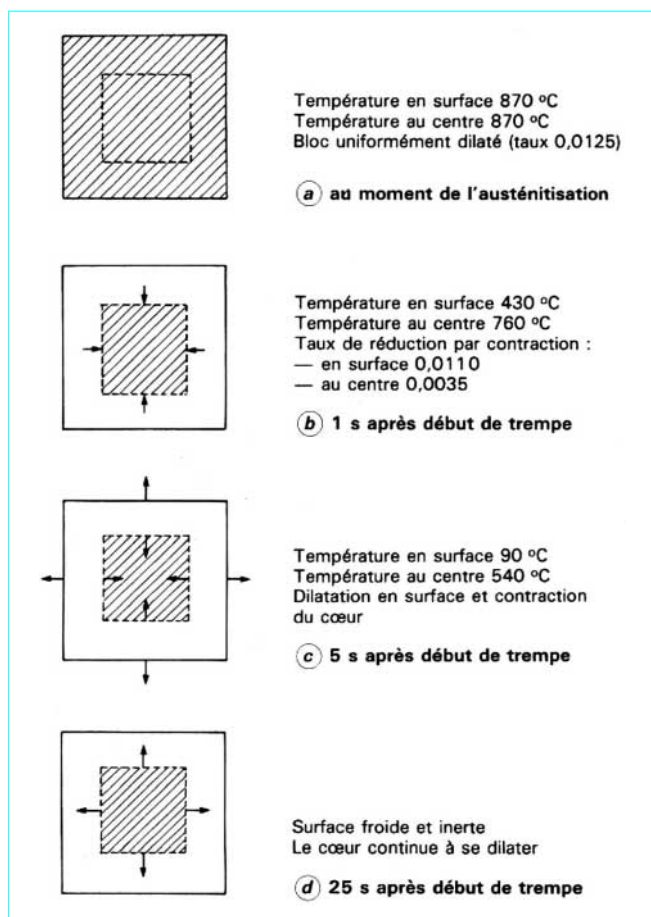


Figure 5 – Représentation schématique de l'état des contraintes à l'intérieur d'un bloc d'acier après trempe à l'eau pour obtenir l'effet de durcissement

Les tapures sont liées soit à des problèmes de géométrie (angles vifs, usinage grossier avec rayures), soit à des problèmes métallurgiques (décarburation superficielle, structure aciculaire, excès de contraintes internes, etc.). Les principales causes d'incidents et les remèdes proposés sont rassemblés dans le tableau 2.

3.2 Déformations excessives

Comme les tapures, les déformations ont pour origine un excès de contraintes résiduelles. Il faut donc rechercher les causes de ce défaut dans des problèmes d'ordre métallurgique : stabilisation insuffisante, température d'austénitisation trop élevée ou non uniforme, refroidissement trop sévère, mauvais mode de prélèvement de l'outil dans la barre, etc. Les principales causes d'incidents et les remèdes proposés sont rassemblés dans le tableau 3.

3.3 Fragilité

La sensibilité à la propagation des fissures, qui est déjà relativement forte dans les aciers à outils, peut être accentuée par des incidents lors du traitement de trempe et revenu qui conduisent à la rupture des pièces soit après traitement, soit en service. Il s'agit d'un excès de fragilité provoqué par le traitement d'austénitisation, ou par le traitement de revenu. Le tableau 4 donne les principales causes d'incidents et les remèdes proposés.

3.4 Décarburation

Ce phénomène, décrit dans l'article *Traitements superficiels des aciers à outils* [M 1 135], a une influence très néfaste sur le comportement de l'outil, au cours du traitement thermique et en service, par suite de l'abaissement sensible des propriétés mécaniques des couches superficielles. Pour remédier à ce problème, les règles sont les suivantes :

- choisir les dimensions du bloc d'acier en fonction de l'outil à réaliser : se référer aux normes de tolérances dimensionnelles et surépaisseurs d'usinage (NF A 45-103 pour les barres et plats laminés, NF A 45-104 pour les barres et plats forgés) ;
- utiliser, dans la mesure du possible, des atmosphères contrôlées pour les fours à moules, des bains de sels ou des fours sous vide pour le traitement des aciers hautement chargés en carbone, molybdène et vanadium (aciers rapides, aciers pour moules, aciers d'outillage à froid alliés, etc.) ;
- utiliser de la tournure de fonte, des feuillets d'emballage dans les fours chauffés au gaz ou à l'électricité sans contrôle d'atmosphère.

La profondeur décarburee peut être actuellement appréciée par des moyens de contrôle non destructif comme les méthodes magnétiques (perméabilité incrémentale) avec l'utilisation de capteurs adaptés à des surfaces planes ou cylindriques. Ces méthodes sont utilisées sur des fils en acier à ressort ou en acier à roulement car on connaît l'incidence de la décarburation superficielle sur la tenue en fatigue dans la masse ou la tenue à la fatigue de roulement. Elles devraient pouvoir se généraliser dans un avenir proche à l'ensemble des aciers à outils.

Tableau 2 – Principales causes des tapures de trempe et remèdes proposés

Causes probables	Remèdes
Prélèvement de l'outil dans une barre de dimensions trop faibles : surépaisseurs d'usinage non respectées entraînant un mauvais état de surface, avec possibilité de décarburation.	Prélever l'outil dans un barreau de dimensions suffisantes et respecter les indications des normes sur les surépaisseurs d'usinage (§ 3.4).
Mauvaise conception de l'outil — Angles vifs..... — Masse exagérée..... — Variations brusques de sections	Revoir le dessin de l'outil. Faire l'outil en plusieurs morceaux avec des inserts. Augmenter les rayons de raccordement. Réaliser l'outil en plusieurs morceaux.
Mauvaise conduite de la fabrication : usinage trop grossier (rayures, contraintes résiduelles)	Soigner la fabrication (usinage sans défaut de surface, diminution des contraintes résiduelles).
Erreurs de traitement thermique — Mauvaise réalisation du traitement : • austénitisation non uniforme..... • austénitisation à une température trop élevée entraînant un grain grossier..... • décarburation..... • attente trop longue entre trempe et revenu..... • refroidissement trop poussé dans le cas de pièces massives..... • non-respect de la gamme de traitement (exemple : revenu très insuffisant)..... — Gamme de traitement non adaptée : • trempe trop sévère..... • préchauffages insuffisants ou inexistants..... • préchauffage de grosses pièces avant revenu à haute température non effectué.....	<ul style="list-style-type: none"> { Respecter des temps d'austénitisation suffisants. { Faire des préchauffages corrects. { Vérifier l'homogénéité des températures dans le four. <p>Surveiller la température de trempe. En four à moufle, protéger les pièces, traiter en bain de sel, en four sous vide. Effectuer le revenu immédiatement après trempe, ou laisser la pièce en attente à une température modérée (150 à 200 °C). Effectuer le revenu avant d'atteindre la température ambiante.</p> <p>Respecter les paramètres de traitement (vérifier notamment la pyrométrie des fours).</p> <ul style="list-style-type: none"> { Adopter une trempe par étape ou à l'air. { Éventuellement changer de nuance (acier plus trempant). <p>Préchauffer le plus lentement possible ou avec un nombre suffisant d'étapes.</p> <p>Faire un dégourdissage avant le revenu.</p>

Tableau 3 – Principales causes des déformations excessives aux traitements et remèdes proposés

Causes probables	Remèdes
Sens de prélèvement mal choisi (anisotropie de déformation marquée)	Modifier le sens de prélèvement ou utiliser une ébauche contre-forgée.
Erreurs de traitement thermique — Mauvaise réalisation du traitement : • préchauffages insuffisants ou inexistants..... • mauvaise mise en place des pièces dans le four ou le bain de sel..... • austénitisation non uniforme..... • trempe mal conduite..... • non-respect de la gamme habituelle..... — Gamme de traitement mal adaptée : • austénitisation à température trop élevée..... • trempe trop sévère.....	<p>(tableau 2).</p> <p>Utiliser des montages adaptés ou attacher correctement les pièces (tableau 2).</p> <ul style="list-style-type: none"> { Veiller au refroidissement homogène des pièces (exemple : agitation de l'huile de trempe ou des pièces). { Présenter correctement les pièces dans le bac de trempe ou le bain de sel. <p>(tableau 2).</p> <ul style="list-style-type: none"> { Baisser la température. { Adapter le reste de la gamme. { Changer de nuance d'acier. <p>Appliquer des trempes par étape ou à l'air, ou changer de nuance d'acier.</p>
Changements de volume trop importants	Modifier la gamme de traitement. Laisser des surépaisseurs d'usinage suffisantes.
Gamme de fabrication mal étudiée : stabilisation de l'acier insuffisante.	Effectuer un recuit complet, un recuit d'adoucissement ou une pré-trempe.

Tableau 4 – Principales causes d’excès de fragilité et remèdes proposés

Causes probables	Remèdes
Gros grain, structure aciculaire à l’état de livraison.	Effectuer un traitement de recuit complet.
Acier contenant des réseaux ou amas de carbures, ou des alignements d’inclusions.	Revoir la fourniture d’acier (critère de rebut).
Surchauffe lors du traitement d’austénitisation.	Effectuer un recuit complet et refaire le traitement de trempe et revenu en soignant le préchauffage (1).
Revenu effectué dans un domaine de fragilisation pour l’acier.	Éviter, en général, le domaine de température 250-450 °C, source de fragilité pour les aciers à outils (2).
<p>(1) Dans le cas des aciers à coupe rapide, s’il n’y a pas apparition d’eutectique aux joints de grains, assurer une précipitation maximale de carbures lors du recuit et faire le deuxième traitement d’austénitisation à 50 °C au moins au-dessous de la température du premier traitement (article <i>Traitements superficiels des aciers à outils</i> [M 1 135]). S’il y a précipitation d’eutectique aux joints de grains, la pièce peut être considérée comme rebutée.</p> <p>(2) Les aciers à outils, comme d’ailleurs beaucoup d’aciers de construction, ont un domaine de fragilité qui atteint son maximum vers 350 °C : il s’agit de la <i>fragilité au revenu</i> (article <i>Transformations dans les aciers</i> [M 1 115]).</p>	

Guide de choix des traitements des aciers à outils

par **Robert LÉVÊQUE**

Ingénieur Civil des Mines

Directeur Technique. Établissement d'Unieux. IRSID SA

Références bibliographiques

- [1] *Guide des aciers à outils pour travail à froid sur presse*. Vol. 1 et 2, CETIM (1978).
- [2] RABEY (A.). – *Base de choix des aciers à outils*. OTUA (1979).
- [3] *Les traitements thermiques des aciers à outils*. OTUA (1983).
- [4] KALPAJIAN (S.). – *Tool and Die failures Source Book* – American Soc. for Met. éd, Metals Park OH (1982).
- [5] PICKERING (F.B.). – *Tool Materials for Molds and Dies*. KRAUS (G.) et NORDBERG (H.), éd. Colorado School of Mines Press, Golden Colorado (1987).
- [6] PICKERING (F.B.). – *Materials science and technology – A comprehensive treatment. Constitution and properties of steels*. Vol. 7 (1992).

Normalisation

- NF A 45-103 12-87 Produits sidérurgiques. Barres et produits laminés en aciers à outils. Tolérances dimensionnelles.
- NF A 45-104 12-87 Produits sidérurgiques. Barres et plats forgés en aciers à outils. Tolérances dimensionnelles.
-