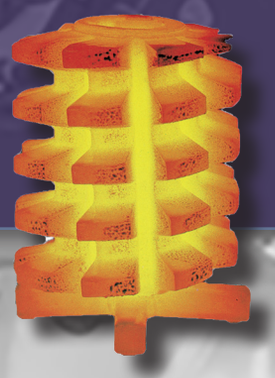
ERASTEEL

TRAITEMENT THERMIQUE

DES ACIERS RAPIDES



www.erasteel.com

L'acier rapide est un matériau polyvalent dont les propriétés peuvent être ajustée par le traitement thermique. L'objectif de cette brochure est de montrer comment les paramètres du traitement thermique peuvent être choisis et optimisés de façon à obtenir la meilleure association des propriétés des matériaux, en particulier pour ce qui concerne la dureté et la ténacité.

Par commodité, cette brochure se divise en deux parties.
La première partie – Les bases – présente les informations métallurgiques nécessaires à la bonne compréhension des recommandations pour un traitement thermique optimal, informations qui sont données dans nos fiches nuances et dans La deuxième partie de cette brochure. La deuxième partie - Les conseils pratiques - donne des recommandations pratiques adaptées à la technique de traitement themique choisie afin de garantir le traitement thermique optimal des aciers rapides et des ASP®.

TABLE DES MATIERES

BASES

Cycle du traitement thermique	4
Austénitisation	5- 6
Trempe	7 - 8
Revenu	9 -10
Déformation	11

CONSEILS PRATIQUES

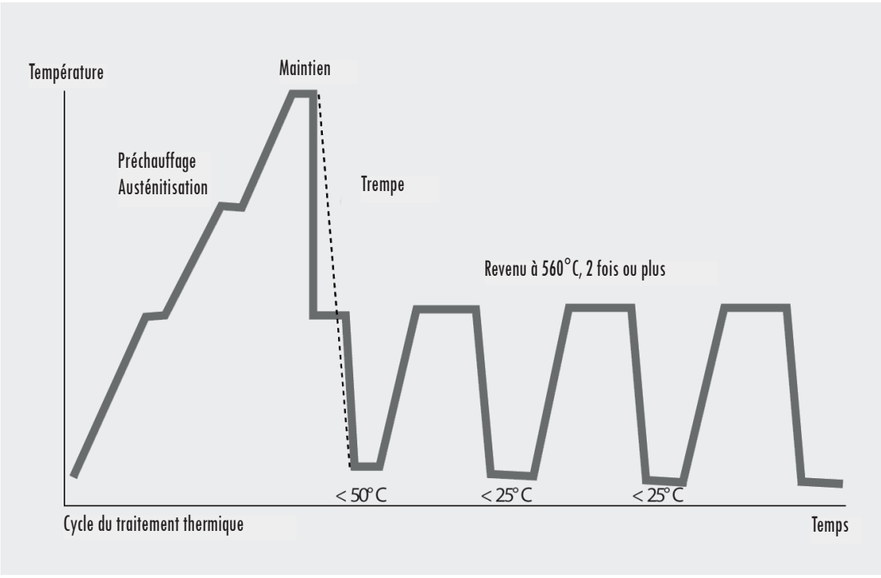
Traitement en four sous vide	12 - 13
Traitement en bain de sel	14 - 15

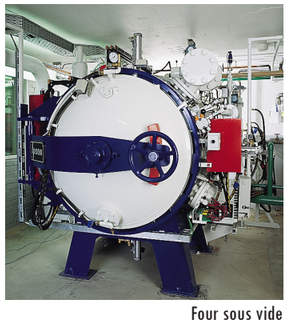
CYCLE DU TRAITEMENT THERMIQUE

Les aciers livrés par Erasteel sont le plus souvent livrés à l'état recuit doux. Cela a été obtenu par un traitement thermique spécifique visant à adoucir le matériau pour le rendre adapté aux opérations d'usinage doux, tel que le tournage et le fraisage. Dans cet état, le matériau est beaucoup trop mou pour être utilisé comme outil ou composant et un traitement thermique de durcissement doit donc lui être appliqué, après usinage, pour lui conférer les propriétés mécaniques finales souhaitées. En raison de leur teneur élevée en éléments d'addition, les aciers rapides nécessitent une procédure de durcissement spécifique en trois étapes schématisées ci-dessous :

- L'austénitisation (avec 2 ou 3 étapes de préchauffage avant l'austénitisation elle-même)
- La trempe
- Le revenu (au moins deux fois)

Ces trois étapes sont détaillées dans les chapitres suivants. Nous insistons sur l'influence des conditions de traitement thermique sur les propriétés du matériau, comme le montrent la microstructure et les propriétés mécaniques mesurées (principalement la dureté et la ténacité).





Four sous vide

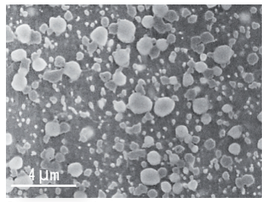
Pour contrôler la température du matériau dans le four de traitement thermique, un bloc témoin doit être utilisé. Il est important

ASP® est une marque déposée d'Erasteel

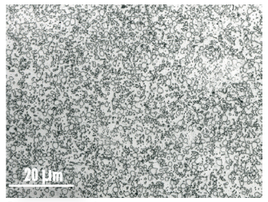
AUSTÉNITISATION

ÉTAT RECUIT DOUX

Les aciers rapides sont livrés à l'état recuit. La structure est constituée de carbures primaires formés lors de la solidification, et de carbures secondaires formés lors des recuits. Ces carbures sont dispersés dans une matrice ferritique.



Structure recuit doux.
Image SEM, 5000 X.



Structure recuit doux.
Image LOM, 1000 X.

TEMPÉRATURE D'AUSTENITISATION

Le taux de carbures dissous influence la dureté finale. Une température plus élevée permettra une dissolution plus importante et une dureté plus élevée. Il y a cependant une limite supérieure à la température d'austénitisation qui peut être utilisée. Si la température est supérieure à la limite maximale indiquée pour la nuance, voir l'exemple de la Figure 1 et les fiches nuances, la dureté continuera d'augmenter mais la résilience de l'outil sera fortement diminuée à cause de la surchauffe qui entraîne la fusion des joints de grains.

DISSOLUTION DES CARBURES

Lorsque l'acier est chauffé à la température d'austénitisation:

- La ferrite est transformée en austénite.
- Une partie des carbures se dissout dans l'austénite.

La dissolution des carbures permet d'enrichir la matrice austénitique en carbone et en éléments d'alliages donnant le potentiel pour la dureté secondaire.

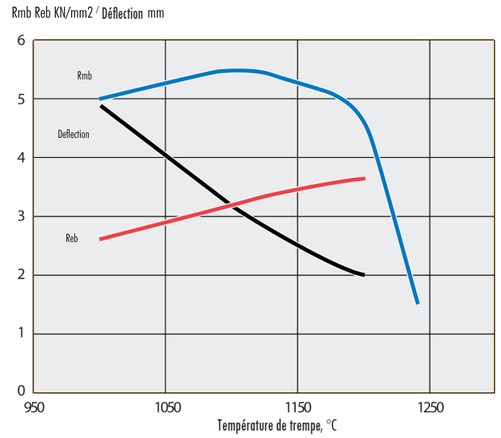


Fig 1. Essai de flexion de l'ASP2023 en fonction de la température de trempe.

ASP & HSS	Température d'austenitisation, °C										3 revenus x 560°C						
	50	52	54	56	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
ASP® 2004							1050		1100		1150		1180	1220			
ASP® 2005					1000		1050		1100	1150	1180						
ASP® 2009	1050	1100	1150	1200													
ASP® 2011		950	1000	1050			1120		1180								
ASP® 2012		1000	1050	1080	1110		1120										
ASP® 2015									1100		1150	1180	1220	1260			
ASP® 2017						1000		1050		1100	1150	1180					
ASP® 2023					1000		1050		1100			1150	1180				
ASP® 2030							1000		1050		1100		1150	1180			
ASP® 2042														1100	1150	1180	1210
ASP® 2048										1000		1050	1100		1180	1200	
ASP® 2052							1000			1100	1150		1200	1240			
ASP® 2053						1020		1070	1100		1150	1180					
ASP® 2055									1000		1050		1100	1150	1180		
ASP® 2060									950		1000		1050	1100	1150	1180	
ASP® 2078														1100	1150	1180	1210
ASP® APZ10					1060*	1080*	1095*										
BlueTap® Co							1050		1100		1150	1180	1220				
E T1								1150	1180	1220	1240	1270					
E M1								1100		1150		1180					
E M50										1080	1120						
E M2				1000	1030	1050	1075	1100	1125	1150	1180	1220					
ABC III								1100		1150	1180						
E M7									1100	1130	1150	1180	1200				
E M3:1										1150		1180					
E M3:2									1120	1150		1180	1220				
Grindamax V3									1120		1150	1180	1220				
E M4								1100		1150		1220					
E 945								1070			1120		1170				
E M35							1050		1100		1150	1180	1220				
C8										1050	1100		1150	1180	1200		
E MAT II									1050	1080	1100						
E M42										1050		1100		1150	1190		
WKE 42											1100		1180	1200	1230		
WKE 45												1100	1150	1180	1220		

*Chiffres donnés pour l'ASPAPZ10 après revenu 3x1 heure à 520°C, consulter la fiche de l'ASPAPZ10 pour des recommandations de revenus particulières à l'application plus détaillées.

ÉQUILIBRE ET TEMPS DE MAINTIEN

La dissolution des carbures ne continue pas indéfiniment à la température d'austénitisation. A un certain moment, on atteint une situation d'équilibre entre les carbures et la matrice. La figure 2 montre la composition de la matrice à l'équilibre pour l'ASP®2023 à différentes températures d'austénitisation.
Un temps minimum est nécessaire pour atteindre l'équilibre à une température d'austénitisation donnée.

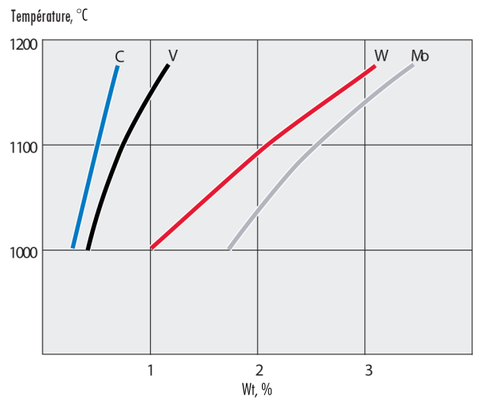


Fig 2. Concentration des éléments d'addition en solution dans l'austénite à l'équilibre (ASP®2023).

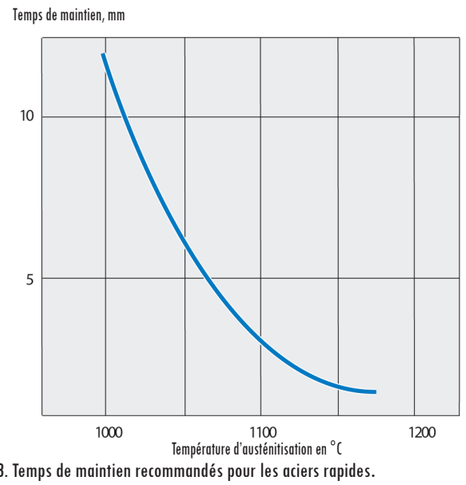


Fig 3. Temps de maintien recommandés pour les aciers rapides.

Le temps pour atteindre l'équilibre est le temps de maintien. Les effets de la température d'austénitisation sur le temps de maintien sont indiqués dans la figure 3. La dissolution des carbures se fait par diffusion et la vitesse de diffusion augmente avec l'augmentation de la température. La conséquence est que le temps nécessaire de maintien pour atteindre l'équilibre est plus court à une température plus élevée, même si plus de carbures sont dissous.

INFLUENCE DE L'AUGMENTATION DU TEMPS DE MAINTIEN

En principe, il n'y a pas lieu d'augmenter le temps de maintien au-delà de ceux indiqués en figure 3. Dès que l'équilibre est atteint, il n'y a plus de dissolution des carbures. La dureté finale est fixée par la température d'austénitisation et un temps de maintien suffisant pour atteindre l'équilibre.

DÉPASSEMENT DU TEMPS DE MAINTIEN

Une question qui est fréquemment posée est de savoir si un dépassement du temps de maintien entraine une augmentation de la taille du grain ainsi qu'une baisse de ténacité. Les effets du temps de maintien sur les propriétés de flexion de l'ASP®2023 sont indiqués dans la figure 4.
On remarque que jusqu'à 30 mn de maintien, la résistance à la flexion et la ténacité restent inchangés, même si l'on est bien au-delà, des 2 à 5 mn nécessaires.
Au-delà de 30 mn, on peut s'attendre à une faible réduction de la ténacité et de la résilience.
Figure 5 (page 7). Effet de la température d'auténitisation sur le taux d'austénite résiduelle pour l'ASP®2023 et l'ASP®2030.

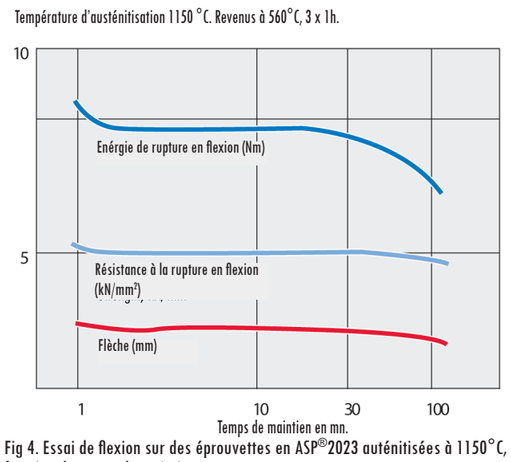


Fig 4. Essai de flexion sur des éprouvettes en ASP®2023 auténitisées à 1150°C, en fonction du temps de maintien.

TREMPE

VITESSE DE REFROIDISSEMENT

La vitesse de refroidissement est un facteur très important dans le traitement thermique des aciers rapides. L'idéal serait que la vitesse de refroidissement soit si rapide, que l'équilibre atteint à la température d'austénitisation soit «gelé» jusqu'à la fin de refroidissement. Des revenus appropriés dans cet état conduiraient à des ténacités et duretés optimales.
En pratique, ces conditions idéales sont inatteignables car elles nécessiteraient un refroidissement instantané. La vitesse de refroidissement diminue lorsque l'épaisseur de l'outil à tremper augmente. La vitesse de refroidissement dépend également de l'efficacité du milieu de trempe.

CARBURES PRO-EUTECTOÏDES (PEC)

Comme nous l'avons vu sur la figure 2, la dissolution des carbures dans la matrice augmente si la température s'élève et inversement. Donc, lors de la trempe, dès que la température diminue, il y a une tendance à la re-précipitation des carbures dans la matrice austénitique.
La vitesse de précipitation augmente lorsque la température diminue, mais le processus de diffusion permettant la précipitation, est freiné par la chute de température.
Il en résulte que la vitesse de précipitation atteint son maximum vers 950°C pour les aciers rapides. La vitesse de refroidissement critique se situe donc entre 1000°C et 800°C.

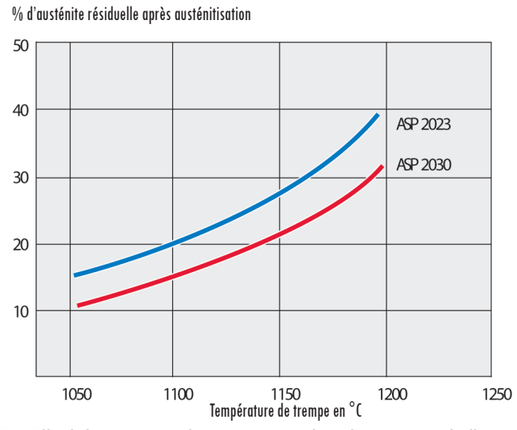


Fig 5.Effet de la température d'auténitisation sur le % d'austénite résiduelle pour l'ASP®2023 & l'ASP®2030.

Les courbes de la figure 6 ont été obtenues en chauffant les échantillons à 1180°C puis en les refroidissant rapidement à des températures comprises entre 1050 et 800°C et en appliquant différents maintiens dans cet intervalle. Après cela les échantillons ont été trempés et revenus et la dureté mesurée.

Comme on peut le voir, la dureté diminue nettement lorsque le temps augmente dans cet intervalle de température.

Les précipitations pro-eutectoïdes ont deux effets négatifs :
Réduction du carbone et des éléments d'alliages dans la matrice, ce qui diminue le potentiel de dureté secondaire après les revenus.
Réduction de la ténacité de l'acier trempé et revenu.

Donc, il est essentiel de refroidir les aciers rapides aussi vite que possible dans la plage de 1000-800°C pour éviter une diminution de la dureté et de la ténacité après le revenu.

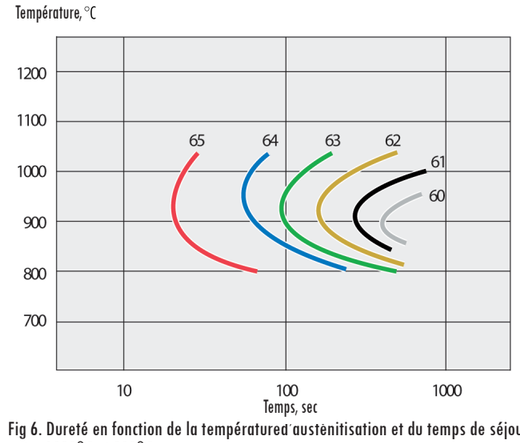


Fig 6. Dureté en fonction de la température d'austenitisation et du temps de séjour entre 1000°C et 800°C.
Température d'austénitisation: 1180°C.
Revenus: 3 x 1h at 560°C.

EFFETS DES CARBURES PRO-EUTECTOÏDES SUR LA DURETÉ FINALE

Les effets de la précipitation pro-eutectoïde sur la dureté finale sont montrés figure 7. Sur cette courbe, la dureté finale est fonction de la vitesse de refroidissement entre 1000°C et 800°C.
Il en résulte qu'une vitesse de refroidissement minimum de 7°C/s est nécessaire pour éviter une perte de dureté.

EFFETS DES CARBURES PRO-EUTECTOÏDES SUR LA TÉNACITÉ

Les effets de la précipitation pro-eutectoïde sur la ténacité de l'acier trempé et revenu peuvent être vus en Figure 8. Ici, l'énergie de rupture en flexion (pour l'ASP®2023) est considérée comme une valeur approchée de la ténacité.
La ligne de référence indique l'énergie de rupture en fonction de la dureté pour une vitesse de refroidissement d'au moins 50°C/s entre 1000 et 800°C. Dans ce cas, la vitesse de refroidissement est assez élevée pour garantir un très faible niveau de précipitations (PEC). Donc la courbe de référence donne la ténacité maxi que l'on peut atteindre pour une dureté donnée.
La baisse de la vitesse de refroidissement entre 1000 et 800°C causerait une chute de dureté et de ténacité comme indiqué en figure 8 pour une vitesse de refroidissement de 2°C/s.

TEMPÉRATURE DE TREMPE

La structure austénitique commence à se transformer en martensite lorsque la température passe en dessous des 300°C (la température exacte peut varier en fonction de la nuance et des conditions d'austénitisation). La transformation se poursuit à mesure que la température diminue. La trempe doit se poursuivre jusqu'à ce que les pièces aient atteint une température inférieure à 50°C, avant de commencer l'opération de revenu. L'arrêt de la trempe ou le démarrage du revenu, alors que les pièces sont à une température plus élevée et que la transformation martensitique n'a pas été suffisamment complète, peuvent entraîner une augmentation de la teneur d'austénite résiduelle dans la microstructure, conduisant à des résultats aléatoires lors du revenu.

COMME STRUCTURE DE TREMPE

La structure à l'état brut de trempe est constituée d'une matrice de martensite non revenue, d'austénite résiduelle et de carbures non dissous.

Les carbures proeutectoïdes sont toujours plus ou moins présents dans les anciens joints des grains d'austénite: c'est ce qui rend les joints de grains visibles après trempe, voir Figure 8. Les joints de grains sont plus fortement soulignés lorsqu'il y a plus de précipitations proeutectoïdes, c'est-à-dire lors d'un refroidissement plus lent. Avec un refroidissement extrêmement lent, les carbures proeutectoïdes vont même commencer à précipiter dans les joints de grains.
En raison de sa teneur élevée en éléments d'addition, l'austénite ne se transforme pas entièrement en martensite lors de la trempe à température ambiante et jusqu'à 40% d'austénite résiduelle peut être présent dans la structure après la trempe, voir Figure 5 (page 7); d'où la nécessité d'un revenu.

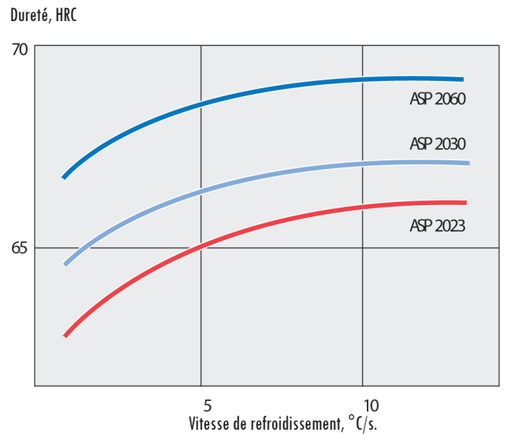


Fig 7.Influence de la vitesse de refroidissement entre 1000°C et 800°C sur la dureté finale.
Température d'austénitisation : 1180°C.
Revenus : 3 x 1h à 560°C.

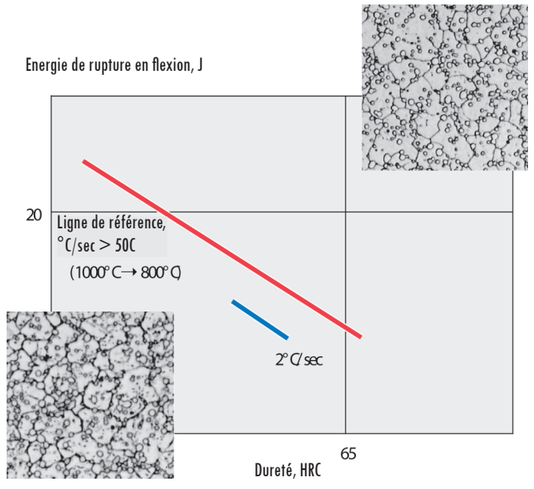


Fig 8. Influence des carbures pro-eutectoïdes (PEC) sur la ténacité. ASP® 2023 revenu 3 x1h à 560°C. (Structures après trempe et avant revenus).

REVENUS

Le revenu est effectué afin d'obtenir de meilleures propriétés par durcissement secondaire de la martensite par précipitation de très petits carbures (nanométriques) et, en même temps, transformer l'austénite résiduelle en martensite lors du refroidissement.
Cette nouvelle martensite doit également être revenue (c'est-à-dire rendue moins fragile), c'est pourquoi l'acier rapide doit toujours être revenue au moins deux fois. Le revenu peut être réalisé de différentes manières. Cependant, il est recommandé de toujours effectuer les revenus à 560°C en maintenant l'acier à température pendant une heure minimum, deux fois ou plus, selon la nuance d'acier.

DURÉE ET TEMPÉRATURE DES REVENUS

A partir d'une même température d'austénitisation, la même dureté peut être obtenue par de nombreuses façons en faisant varier les durées et températures de revenus. Si une basse température de revenu est utilisée, un temps plus long est nécessaire, et vice versa. Cependant, les propriétés optimales sont obtenues avec des revenu d'une heure à 560°C. La même dureté peut également être atteinte en faisant varier les températures d'austénitisation et de revenu. Le résultat de ces deux façons d'obtenir la dureté est montré dans la figure 9. Il est ainsi établi clairement que les meilleures propriétés sont obtenues quand la température d'austénitisation varie et quand les revenus sont réalisés à 560°C. En complément, la figure 9 montre que des revenus réalisés à une température inférieure à 560°C donnent des propriétés dégradées.
A une température de revenus supérieure à 560°C, des durées plus courtes doivent alors être retenues. Cependant, ceci nécessite un contrôle strict de la température et de la durée pendant le cycle complet et pour l'ensemble du lot de pièces, car le risque de sur-revenu (dureté plus faible et mauvaises propriétés mécaniques) augmente au-delà de 560°C. De même, pour un lot de pièces, un revenu à 560°C est recommandé car le risque d'obtenir des pièces sur et sous-revenues, est important. En effet, pour des revenus de faible durée, l'intérieur de la charge d'un four pourrait ne pas atteindre la température et être sous revenu, alors que l'extérieur de la charge pourrait être sur-revenu. Des températures de revenus inférieures à 560°C impliquent un allongement de la durée de traitement afin d'obtenir de bonnes propriétés métallurgiques.

NOMBRE DE REVENUS

Pendant le premier revenu, la martensite est revenue et simultanément, l'austénite résiduelle se transforme en martensite pendant le refroidissement après le revenu. Le pourcentage d'austénite résiduelle après revenu, dépend de la température de revenu. comme le montre la figure 11 (page 10), où le taux d'austénite résiduelle pour l'ASP®2023 est indiqué, après chaque revenu et pour différentes températures de revenus. Entre chaque revenu, il est important de revenir à la température ambiante (25°C) pour réaliser la transformation la plus complète possible. La nouvelle martensite fraiche doit donc être revenue, ce qui est fait pendant le second et le troisième revenu. L'acier rapide pourrait donc être complètement revenu au minimum après 2 revenus. Pour beaucoup de nuances plus de 2 revenus sont nécessaires pour transformer toute l'austénite résiduelle et la martensite non revenue en martensite revenue et la recommandation générale est de 3 revenus à 560°C. L'effet de plusieurs cycles de revenu sur la microstructure est visible sur la figure 12 (page 10). Pour des recommandations spécifiques aux nuances, voir les fiches techniques Erasteel.

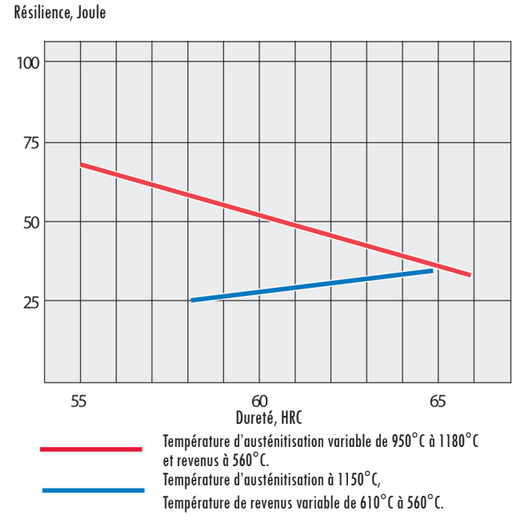
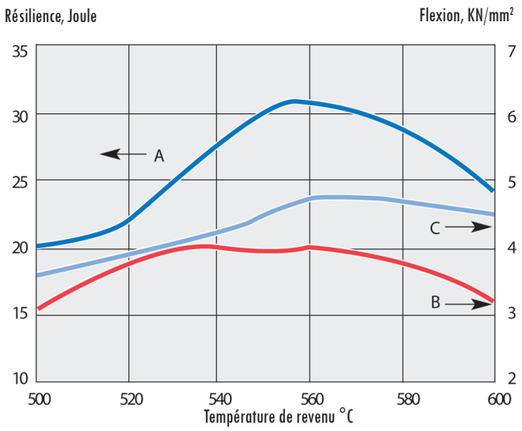


Fig 9. Résilience de ASP® 2023 sur éprouvette non entaillée.



A.Résilience - B. Limite élastique - C. Limite de rupture.

Fig 10. Résilience et tenue à la flexion pour l'ASP® 2030.
Austénitisé à 1180°C, revenu 3x1h.

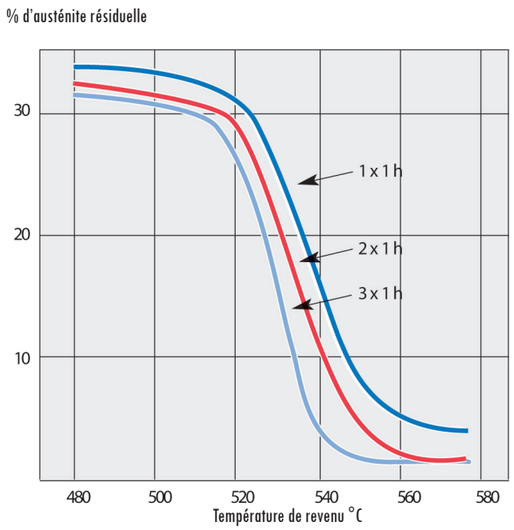
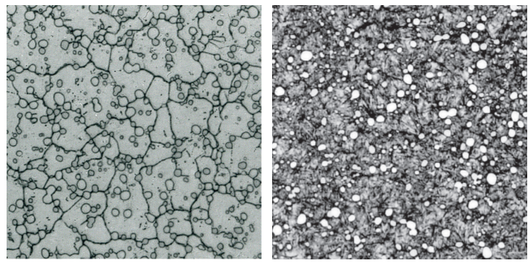
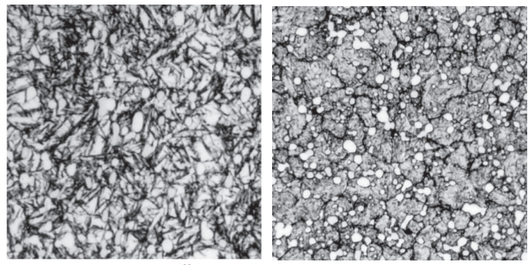


Fig 11. Taux d'austénite résiduelle contenue dans l'ASP®2023 austénitisé à 1180°C, en fonction du nombre et de la température des revenus.



Structure uniquement austénitisée — Structure après revenu appropriée



Structure après revenu insuffisant — Structure après sur-revenu

Figure 12. Effet du revenu sur l'aspect de la microstructure.

TRAITEMENT SOUS ZÉRO

Si le revenu est correctement effectué, c'est-à-dire que les outils sont refroidis à moins de 25°C entre les revenus et que les revenus sont réalisés à la bonne température, 560°C au moins 1 heure à chaque fois, alors un traitement sous zéro est inutile et entraine uniquement un surcoût.

S'il n'est pas possible, par exemple pour des raisons climatiques, d'atteindre les 25°C entre chaque revenu, un traitement sous zéro peut être une solution. Cependant, afin de ne pas perdre de la dureté et de ne pas risquer une fissure, le traitement sous zéro doit être effectué entre le premier et le deuxième revenu.

DÉFORMATION

TRANSFORMATION DE PHASE ET CHARGE VARIÉE

Lorsque la ferrite se transforme en austénite pendant le chauffage, le volume diminue car le réseau d'austénite est plus dense que le réseau de ferrite. Lors du refroidissement, en dessous de 200 °C, lorsque l'austénite se transforme en martensite, le volume augmente à nouveau et dépasse celui de la ferrite d'origine. Lors du revenu, le volume diminue à nouveau, mais ne revient pas complètement à celui de la ferrite d'origine, de sorte qu'au stade final, il y a une augmentation de volume par rapport à l'état d'origine, figure 13.

Si la température de la pièce n'est pas homogène, alors les transformations ne se produisent pas simultanément en tous points de l'outil, ce qui peut entraîner des déformations. Par exemple, si un côté est refroidi plus rapidement que l'autre, la transformation de la martensite commence plus tôt de ce côté et le volume augmente et courbera ensuite la pièce parce que l'austénite de l'autre côté est molle. Lorsque l'autre côté se transforme en martensite, il ne pourra pas redresser la pièce car le premier côté transformé est alors dur. La conséquence est une pièce courbe ou même fissurée, car la martensite non trempée est fragile.

Les gradients de température sont impossibles à éviter, il y a toujours une différence entre la surface et le cœur. Cependant, la règle générale est de garder le gradient aussi symétrique que possible.

Pour les très grandes pièces, il peut être recommandé de procéder à une trempe par étapes (en trempant d'abord à une température comprise entre 600°C et 500°C et maintien pendant un certain temps) afin d'homogénéiser la température, limitant ainsi les gradients thermiques et réduisant le risque de fissuration. Il peut également être utile, pour les grandes pièces, d'arrêter la trempe lorsque la température atteint 50°C et de ne pas laisser la pièce refroidir davantage avant le premier revenu. Le risque de fissuration dû aux gradients thermiques est plus élevé lors de la trempe en bain de sel en raison des vitesses de refroidissement très élevées obtenues.

CONTRAINTES THERMIQUES

Les contraintes peuvent survenir en raison des gradiants de température, même s'il n'y a pas de transformations. La conséquence et les recommandations sont les mêmes que ci-dessus.

CONTRAINTES D'USINAGE

Elles surviennent en raison de la déformation de la surface lors du tournage, du fraisage, etc. Lorsque la pièce est chauffée, elles sont libérés et peuvent alors entraîner une déformation.

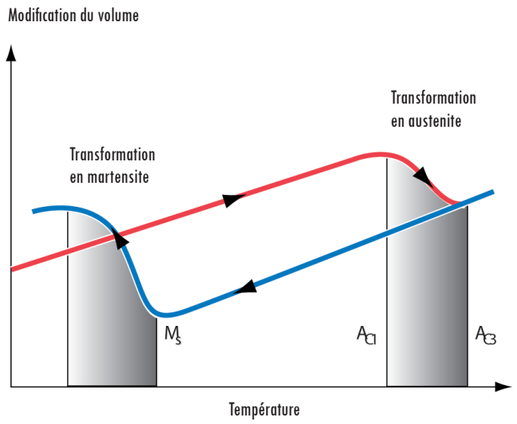


Fig 13. Modification du volume pendant le durcissement.

TRAITEMENT THERMIQUE EN FOUR SOUS VIDE

Le traitement thermique en four sous vide avec refroidissement au gaz est devenu le procédé le plus largement utilisé pour les aciers rapides. Il présente des avantages d'utilisation par rapport au traditionel traitement par bain de sels car il est respectueux de l'environnement, il a un coût opératoire plus faible et il est facile à contrôler.
Il existe différents types de fours. Cependant les caractéristiques principales d'un four moderne à chambre simple sont les suivantes :
Le chauffage jusqu'à 800°C est réalisé par convection de gaz (normalement de l'azote) puis par radiation sous vide des éléments chauffants placés dans le four jusqu'à la température d'austénitisation. La trempe est réalisé avec du gaz (normalement de l'azote) sous pression et à vitesse élevée. La température du cycle peut être programmée et contrôlée par un thermocouple de four, pour le chauffage, et un/des thermocouple(s) de charge.
Bien entendu, le meilleur conseil est d'établir vos propres gammes de traitement à partir de votre expérience. Cependant, certaines directives générales sont décrites ci-dessous.

Un cycle caractéristique de traitement thermique est donné en figure 14.

CONSEILS PRATIQUES

Pour minimiser les déformations dues à la trempe, le premier principe est de placer la charge dans le four, de telle manière que le flux de gaz puisse la traverser de façon uniforme et l'atteindre en tout point de celle-ci.

Il est également très important de penser à la vitesse, à la pression et à la direction du gaz.
Les pièces longues ne devront pas se déformer sous leur propre poids, c'est pourquoi, il est recommandé de les suspendre, mais elles doivent être fixées de telle sorte que, pendant la trempe, elles ne tournent pas dans le four en raison de la vitesse du gaz.
Il est également important que les pièces soient nettoyées des fluides de coupes et de toute impureté, car l'huile, par exemple, peut provoquer la carburation de l'outil. La poussière elle-même est également préjudiciable au four car elle se retrouve dans l'huile, les vannes et endommage l'échangeur thermique. Les oxydes à la surface des outils peuvent créer une décarburation et, si les outils sont trop serrés les uns contre les autres, il y a un grand risque que les outils se soudent ensemble.

PRÉCHAUFFAGE

Il se poursuit jusqu'à environ 800°C en convection. L'exigence de stabilité géométrique doit être prise en compte lors du réglage de la vitesse de chauffe. Le traitement final peut démarrer quand l'intérieur de la charge est à 40 / 60 °C en-dessous de la température de consigne.

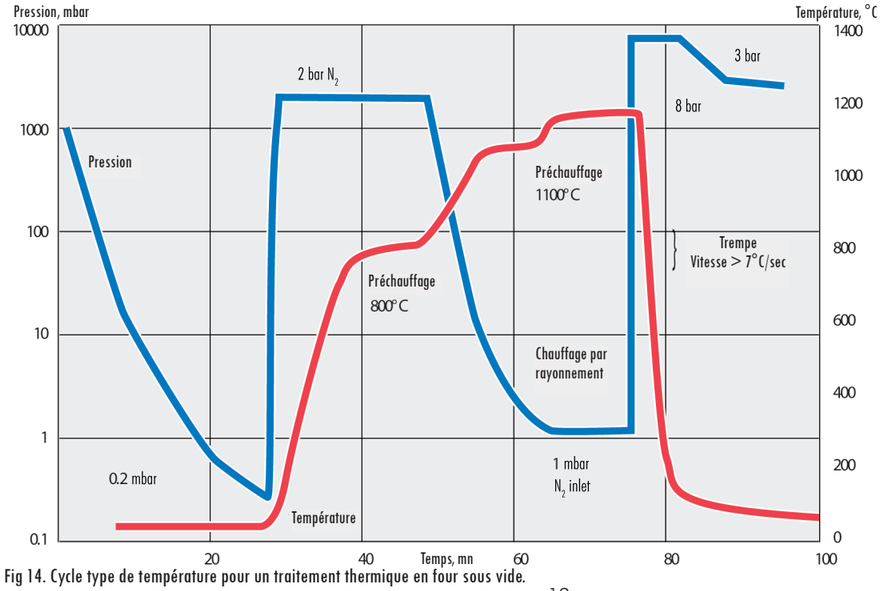


Fig 14. Cycle type de température pour un traitement thermique en four sous vide.

AUSTÉNITISATION

Avant l'étape finale, l'azote est pompé et un vide d'environ 1 mbar de pression est ainsi créé. Cette faible pression est bénéfique pour minimiser le risque de coloration. Si la pression est inférieure, il y a risque de coloration et de soudure. Les temps de maintien donnés figure 3 (page 6) peuvent être utilisés.

TREMPE

On doit particulièrement surveiller la vitesse de refroidissement afin d'éviter les précipitations de carbures pro-entectoides, comme indiqué dans le chapitre Notions de base.
Les facteurs qui influent sur la vitesse de refroidissement dans un four sous vide, en plus de l'épaisseur ou du diamètre des pièces, sont les suivantes :

- La pression des gaz
- La direction des gaz
- La vitesse des gaz
- La température des gaz

D'autres facteurs sont : le type de gaz (l'azote est le plus communément utilisé pour des raisons de coût), la taille de la charge (elle doit être adaptée aux capacités du four) et sa répartition. Le positionnement de la charge dans le four peut être important.

REVENU

Bien qu'il soit possible d'effectuer des revenus dans un four sous vide, c'est habituellement trop coûteux et exigeant en termes de capacité. Les revenus sont réalisés de préférence dans un four simple. Si malgré tout, les revenus sont réalisés dans un four sous vide il est important de refroidir les pièces entre les revenus jusqu'à la température ambiante (25°C). Il est préférable de retirer la charge et de la laisser refroidir à l'extérieur du four entre les revenus.

PROCÉDURE POUR LES CHARGES VARIÉES

Il est fortement déconseillé de constituer des charges pour lesquelles des duretés différentes sont demandées. Ceci obligerait le trempeur à choisir une température d'austénitisation élevée. Ensuite afin de respecter les duretés demandées les plus basses, il devrait effectuer des revenus à des températures relativement élevées (au-delà de 560°C).

Nous avons déjà vu figure 9 (page 9) que cette méthode entraîne une diminution de l'énergie de rupture et de la ténacité. Dans ce contexte, il est donc incorrect de prétendre que les pièces de faible dureté ont une meilleure ténacité. La meilleure méthode consiste à grouper les pièces en fonction de la température d'austénitisation choisie par rapport à la dureté demandée.
Par exemple, les pièces d'une seule nuance demandant une dureté finale comprise entre 60 et 62 HRC pouvant être traitées ensemble à 61 HRC. Celles demandant une dureté de 62-64 HRC seront traitées ensemble à 63 HRC et ainsi de suite. Chaque groupe pourra être trempé à la même température et revenues 3 fois à 560°C.
D'après ce qui précède, il est clair qu'il est inutile de spécifier une dureté finale si cette dureté est obtenue de manière incorrecte en n'utilisant pas la température de revenu optimale. Il est préférable de sélectionner la température d'austénitisation et de s'assurer que la vitesse de refroidissement est optimale. L'outil doit ensuite être revenu entre 550 à 570°C et utilisé à la dureté qui en résulte.

TRAITEMENT THERMIQUE EN BAINS DE SEL

CONSEILS PRATIQUES

Afin de réduire la déformation, il est très important que les outils soient correctement suspendus. Les pièces longues ne doivent pas se déformer sous leur propre poids, c'est-à-dire qu'elles ne doivent pas être placées dans un panier mais suspendues et plongées directement dans le bain de sel. Si un système de fixation est utilisé, il doit être en très bon état afin que les outils soient suspendus parfaitement droit dans le bain de sel. Le déplacement d'outils longs entre les bains doit être effectué avec un soin extrême pour éviter de déformer les outils en raison d'une manipulation imprudente.
Les outils exigeant une rectitude élevée doivent être protégés de toutes sortes de courants d'air lors de la trempe lorsque l'austénite se transforme en martensite (en dessous de 200°C) en plaçant par exemple les outils dans un fût.
Cycle type de température pour un traitement thermique en bain de sel Figure 15.

PRÉCHAUFFAGE

Il doit être effectué en 2 ou 3 étapes à 450°C - 850°C (et 1050°C) afin de réduire les déformations.

AUSTÉNITISATION

La température d'austénitisation est choisie en fonction de la dureté finale (Tableau 1 page 5). Le temps total de maintien dépend de l'épaisseur de l'outil et de la température d'austénitisation utilisée. À titre d'exemples, l'épaisseur de la pièce sera le diamètre d'un outil long et cylindrique et l'épaisseur d'un disque plat. Le temps de maintien total lors de l'austénitisation peut être obtenu pour différentes épaisseurs de pièces à partir des courbes données à la figure 16. Notez que ces courbes ne sont que des indications et que des ajustements doivent être effectués pour tenir compte de la géométrie de la pièce et des caractéristiques du bain de sel.

TREMPE

L'outil à traiter est trempé dans un bain de sel à environ 550°C. Cette méthode garantit un refroidissement rapide entre 1000°C et 800°C ainsi qu'une bonne homogénéisation de la température avant le début de la transformation martensitique (lorsque l'outil est retiré du bain et refroidi à l'air). La vitesse de refroidissement possible entre 1000 et 800°C dans un bain de sel à 550°C est indiqué en figure 17 pour des échantillons cylindriques de différents diamètres en ASP®2023.

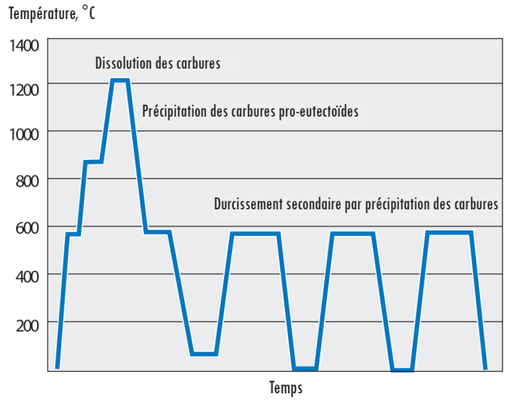


Fig 15. Cycle de traitement thermique en bains de sel pour les aciers ASP®.

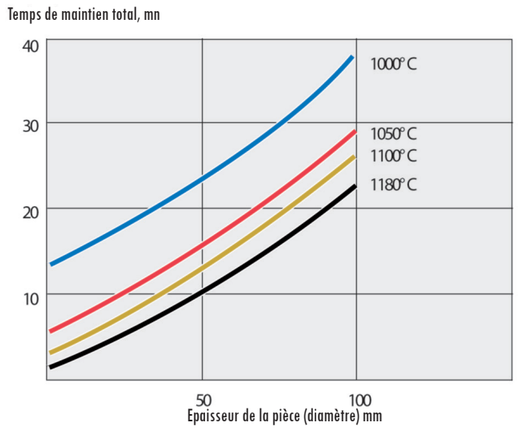


Fig 16. Temps de maintien total en bains de sel après un préchauffage en 2 étapes, à 450°C et 850°C.

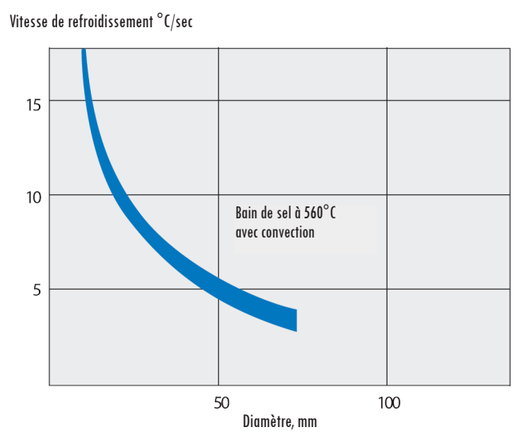


Fig 17. Vitesse de refroidissement entre 1000°C et 800°C, mesure prise au centre d'échantillons cylindriques.

La vitesse de refroidissement et la dureté finale diminuent lorsque les diamètres augmentent (figure 18). Ici, on peut voir qu'il y a une diminution significative de la dureté (au centre du cylindre) pour les échantillons d'un diamètre supérieur à ~40 mm. Cela correspond à une vitesse de refroidissement (au centre du cylindre) de l'ordre de 7°C/s, qui est la vitesse de refroidissement minimale nécessaire pour éviter une perte de dureté conséquente (voir Figure 7 - page 8). Le refroidissement doit se poursuivre jusqu'à environ 40- 50°C. S'il est interrompu auparavant, il y aura davantage d'austénite résiduelle. Un refroidissement à des températures plus basses peut causer la rupture de l'outil.

REVENU

On conseille 2 ou 3 revenus à 560°C et un temps de maintien d'au moins une heure à la température de revenu. L'outil doit être refroidi à la température ambiante (c'est à dire <25°C) entre chaque revenu afin d'assurer la transformation complète de l'austénite résiduelle.

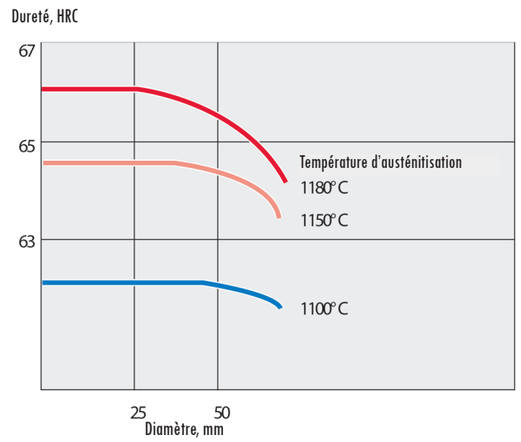


Fig 18. Dureté au centre des échantillons en fonction du diamètre (Revenus 3 x 1 h à 560°C).

TABLEAU DE CONVERSION °C EN °F

°C	°F	°C	°F
5	41	1000	1832
7	45	1020	1868
15	59	1030	1886
40	104	1040	1904
50	122	1050	1022
200	392	1060	1940
400	752	1070	1958
450	842	1080	1976
480	896	1090	1994
500	932	1100	2012
520	968	1110	2030
540	1004	1120	2048
560	1040	1130	2066
580	1076	1140	2084
600	1112	1150	2102
700	1292	1160	2120
800	1472	1170	2138
850	1562	1180	2156
900	1652	1190	2174
920	1688	1200	2192
940	1724	1210	2210
950	1742		
960	1760		
975	1787		

PURE POWDER - PURE POWER

ASP®

ERASTEEL

www.erasteel.com

Heat Treatment_FR_2023 - Les informations de ce document sont données à titre indicatif et n'ont pas de valeur contractuelle