

Aspects thermiques des échanges d'énergie entre lumière et matière

1 Introduction

Un faisceau laser transporte de l'énergie qui peut être dissipée sous forme de chaleur lorsqu'il entre en contact avec de la matière. C'est là le principe de la soudure, de la découpe et de la gravure par laser sur des matériaux solides. Le laser chauffe la matière jusqu'à la faire fondre, voire jusqu'à la vaporiser pour certaines applications. Nous allons voir dans ce chapitre comment déterminer l'énergie à fournir pour atteindre ces résultats.

2 Capacité thermique massique d'un corps

2.1 Définition

La matière existe sous trois états : gaz, liquide et solide.

La capacité thermique massique d'un corps solide ou liquide, souvent notée C , est la quantité d'énergie qu'il faut apporter à un kilogramme de ce corps pour augmenter sa température d'un kelvin ou d'un degré Celsius. Elle s'exprime en $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

On peut définir une grandeur équivalente pour les gaz, mais il faut alors impérativement préciser les conditions d'apport d'énergie (par exemple à volume constant, ou à pression constante, ce qui n'est pas la même chose) car la valeur de C en dépend.

2.2 Application

Si on veut faire passer de la température T_i à la température T_f un corps de capacité thermique C et de masse m , il faut lui fournir une énergie

$$Q = mC(T_f - T_i)$$

Cette formule est valable tant que le corps ne change pas d'état.

Si $T_f < T_i$, Q est négative, ce qui signifie que le corps cède de l'énergie au milieu extérieur lorsqu'il se refroidit.

3 Changement d'état et chaleur latente de changement d'état

3.1 Exemple de changement d'état : la fonte de la glace

A pression ambiante, l'eau se trouvant à une température inférieure à 0°C est à l'état solide (glace). Pour faire fondre la glace, il faut tout d'abord la chauffer jusqu'à 0°C , puis continuer à lui apporter de la chaleur pour qu'elle fonde. On constate expérimentalement que durant sa fusion, la glace reste à 0°C . On appelle chaleur latente de fusion de l'eau l'énergie (plus exactement l'enthalpie) qu'il faut fournir pour faire fondre un kilogramme de glace à 0°C . On la note généralement L et elle s'exprime en $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Une fois que toute la glace est fondue, on peut continuer d'apporter de l'énergie pour faire augmenter la température de l'eau liquide. Si on atteint la température de 100°C , on peut vaporiser l'eau. Cette opération se fait à température constante et nécessite une énergie déterminée par la chaleur latente de vaporisation de l'eau.

Pour tous les corps, on peut définir une chaleur latente de changement d'état à température fixée.

3.2 Application

Pour découper un acier, il faut le faire fondre localement et expulser le liquide formé afin de le séparer en deux parties. Afin de réaliser la fusion de l'acier, on le chauffe jusqu'à sa température de fusion, puis on continue de lui apporter l'énergie correspondant à la chaleur latente de fusion pour le faire fondre. Si cet acier se trouve initialement à la température T_i (20°C par exemple) et que sa température de fusion est T_f , sa capacité thermique C , sa masse m et sa chaleur latente de fusion L , il faut lui apporter l'énergie Q pour le faire fondre totalement :

$$Q = mC(T_f - T_i) + mL$$

Remarque : l'acier liquide qui solidifie libère une énergie $-mL$.

4 Conductivité et diffusivité thermiques

4.1 Conductivité thermique

Imaginons un corps dont la température n'est pas uniforme (c'est le cas d'un acier chauffé par laser qui est très chaud à l'emplacement du laser et plus froid ailleurs). Par exemple il y a un point chaud à la température T_c distant de d d'un point froid à la température T_f . Entre ces deux points, il y a un flux de chaleur ϕ (exprimé en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) du point chaud vers le point froid. La conductivité thermique λ est le coefficient de proportionnalité entre le flux de chaleur et le gradient de température :

$$\phi = \lambda(T_c - T_f)/d$$

La conductivité thermique λ s'exprime en $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Plus elle est grande, et plus la chaleur circule facilement dans le corps. Les métaux ont souvent une conductivité thermique élevée.

4.2 Diffusivité thermique

On appelle coefficient de diffusion thermique d'un corps la grandeur

$$D = \frac{\lambda}{\rho C}$$

où ρ est la masse volumique du corps, et C sa capacité thermique. D s'exprime en $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$.

La distance d parcourue par la chaleur dans un corps de température inhomogène pendant la durée t est donnée par $D = d^2/t$, soit $d = \sqrt{Dt}$. On constate que cette distance n'est pas proportionnelle à la durée.

L'intérêt de cette notion est de permettre de savoir jusqu'où dans le corps se propage la chaleur créée par un échauffement en un temps donné : par exemple pour faire une gravure fine, il ne faut pas que la chaleur bave de trop autour de la zone éclairée par le laser.