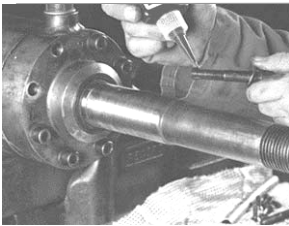


DOSSIER

Le collage : Une technique d'assemblage industrielle



Source : ECAM

Il existe un grand nombre de techniques permettant de réaliser des assemblages : soudage, brasage, rivetage, vissage, boulonnage, etc. Le collage offre de nombreux avantages par rapport aux techniques traditionnelles et il est désormais utilisé dans pratiquement tous les secteurs de l'industrie : l'emballage, le bâtiment, le bois, l'électroménager, la chaussure, le textile, l'électronique, l'automobile, l'aéronautique...

Le collage est parfaitement adapté à **l'assemblage de matériaux différents, de matériaux fragiles ou encore de matériaux minces.**

L'assemblage par collage	
AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> · Répartition plus régulière des contraintes · Possibilité d'assembler des matériaux de nature et d'épaisseur différentes · Peu d'altération des matériaux au niveau du joint · Elasticité des joints collés · Etanchéité des joints collés et isolation électrique, électromagnétique, phonique... · Allègement des structures · Amélioration de l'esthétique de l'assemblage 	<ul style="list-style-type: none"> · Résistance à la chaleur souvent limitée · Durabilité en milieux sévères parfois moyenne · Traitement de la surface avant collage · Faible résistance au pelage · Démontage difficile · Temps de prise parfois long

Sommaire

P.II

- **L'état de surface : la clé de l'adhésion**
- **La préparation des surfaces : une étape incontournable**
 - Les traitements mécaniques
 - Les traitements chimiques

P.III

- Les traitements énergétiques

P.IV

- **Quelle colle choisir ?**
 - Les colles époxydes
 - Les colles cyanoacrylates
 - Les colles polyuréthanes

Pour les assemblages de matériaux différents, il faut tenir compte des différences de coefficients de dilatation afin de choisir une colle assez souple et en épaisseur suffisante pour que le joint supporte les dilatations différentielles sans dommage. La plupart des adhésifs sont résistants aux agents chimiques mais présentent

une sensibilité à l'eau. L'humidité ambiante est, par conséquent, un facteur important aussi bien pendant la mise en œuvre que durant l'utilisation effective. Le choix de l'adhésif doit tenir compte de divers critères dont la nature des substrats et la géométrie de l'assemblage. Il existe aujourd'hui plus de 30000 adhésifs commercialisés. Le domaine des

colles usuelles reste limité à des températures maximales d'utilisation inférieures à 300°C. La préparation de surface des matériaux joue également un rôle primordial dans la qualité de l'assemblage. Elle peut parfois être complexe pour rendre certains matériaux aptes au collage.

1. L'état de surface : la clé de l'adhésion

Les caractéristiques d'un collage dépendent des interactions entre la surface du substrat et l'adhésif. On comprend donc que les forces d'adhérence puissent être réduites par la présence d'agents contaminants adhérents à la surface, qui empêchent le contact entre l'adhésif et le substrat. Le processus de collage est directement influencé par la rugosité, les propriétés chimiques et l'énergie de surface.

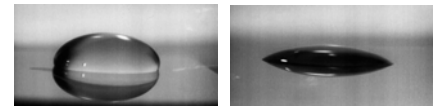
Une bonne adhésion suppose tout d'abord une bonne mouillabilité des surfaces à assembler. Autrement dit il

faut que l'adhésif puisse s'étaler correctement et s'écouler dans toutes les irrégularités et les creux du substrat.



Mauvais mouillage : l'étalement est caractérisé par un grand angle de contact entre la goutte et la surface

Bon mouillage : l'étalement est caractérisé par un petit angle de contact entre la goutte et la surface



Source : Département « Adhesion and Antisticking Coatings » de l'institut Fraunhofer

D'autres paramètres de surface jouent un rôle dans l'adhésion. Les facteurs qui augmentent la surface réelle de contact, comme la rugosité et la porosité favorisent l'adhésion par un processus d'ancrage mécanique. De même, la présence de groupes chimiques réactionnels en surface peut permettre la création de liaisons chimiques fortes entre le substrat et l'adhésif.

2. La préparation des surfaces : une étape incontournable

La préparation des surfaces est une phase essentielle dans l'assemblage par collage. Elle a pour premier objectif d'éliminer les contaminants et les couches superficielles de faible cohésion (agents de démoulage des matières plastiques, composés de faible masse moléculaire ayant migré à la surface des polymères, oxydes fragiles, résidus de corrosion...). Des traitements plus poussés peuvent permettre de modifier la chimie de surface afin d'augmenter la tension superficielle ou de favoriser la création de liaisons chimiques avec l'adhésif. L'adhésif doit être appliqué peu de temps après le nettoyage afin d'éviter la recontamination de la surface. Différentes méthodes de traitement peuvent être utilisées :

Les traitements mécaniques :

Leur principal objectif est de supprimer les couches de faible cohésion et d'augmenter la rugosité de surface. Diverses méthodes sont couramment mises en œuvre : le ponçage avec des toiles abrasives, le sablage, le grenailage. À l'issue du traitement, un nettoyage des objets est toujours nécessaire pour éliminer les restes de grenaille ou d'abrasif.

Les traitements chimiques :

Ce sont les traitements les plus utilisés à l'heure actuelle pour la préparation de surface. Par contre, ils sont soumis aux critiques notamment sur le plan environnemental. Des solutions sont cependant développées pour répondre aux nouvelles exigences réglementaires. Les traitements chimiques ont trois fonctions principales : le **dégraissage**, le **décapage** et la **conversion**. Les chaînes de production permettent de cumuler aisément les différents traitements de surface : le passage de cuve à cuve ou l'utilisation de tunnels entraîne moins de manipulation et diminue les risques de contaminations inter-opératoires. Le cumul de fonctionnalités peut se faire avec plusieurs bains en série ou avec un seul bain polyfonctionnel.

Le dégraissage :

Le dégraissage est à la base de tous les traitements de surface. Son objectif est d'éliminer les matières grasses et également les poussières et autres agents formant une couche intermédiaire de faible cohésion. Il existe deux grands types de dégraissage chimique : le dégraissage solvant et le dégraissage alcalin.



Traitement chimique en bain – Source : DEC SA

- Le principe du dégraissage solvant réside dans la capacité du solvant à solubiliser les corps gras sans altération du corps dissout ou du solvant lui-même. Quatre grandes catégories de solvants peuvent être utilisées : les solvants oxygénés (peu utilisés mais présentent des avantages environnementaux), les solvants hydrocarbonés (très inflammables), les solvants chlorés (efficace, ininflammable mais avec un impact sur l'environnement), et les solvants fluorés (gamme et propriétés larges). En règle générale, le choix du solvant doit tenir compte des critères suivants : le pouvoir solvant, le point d'ébullition, la concentration seuil pour la sécurité et l'inertie vis à vis des matériaux à nettoyer.

- Le dégraissage alcalin en phase aqueuse est basé sur deux actions principales : la saponification des matières grasses saponifiables et la

mise en émulsion des corps gras et particules solides restantes. Les pièces à dégraisser sont immergées dans un bain contenant la « lessive » adéquate, constituée de 60 à 90 % de matière minérale et de 10 à 40 % de matière organique. Dans la plupart des cas, le dégraissage alcalin est constitué de plusieurs bains : deux dégraissages alcalins et au moins deux rinçages. Les temps de trempage sont assez longs (5 à 30 minutes). Le rinçage qui suit un dégraissage alcalin est une opération primordiale car il permet d'éliminer les tensioactifs qui nuisent à l'adhésion.

Le décapage :

L'objectif du décapage est d'éliminer les composés indésirables intimement liés à la surface : oxydes, peintures, vernis, revêtements métalliques... Les décapages mécaniques sont souvent préférés à la solution chimique pour des pièces à géométrie simple car ils sont plus rapides et plus sélectifs. Par contre pour des pièces à géométrie complexe la solution chimique reste la référence. Les polluants les plus communs sur les métaux sont les oxydes et les hydroxydes. Le principe du décapage chimique réside dans la dissolution et l'éclatement de ces oxydes.

Les produits de base sont constitués principalement d'acides ou de bases enrichis de composés destinés à optimiser leur action. Le décapage peut se faire par aspersion ou par immersion (procédé le plus couramment utilisé). Le rinçage est une étape très importante car il garantit l'absence de composés de faible cohésion qui sont à l'origine de décollements ou de piqûres. Il est réalisé en cascade pour augmenter son efficacité et réduire la consommation d'eau. Le décapage chimique est peu utilisé pour les matières plastiques. Pour ces dernières, on a principalement recouru aux voies physiques (sablage, ponçage,...).

Les conversions :

L'opération de conversion est l'étape ultime de la préparation de surface avant collage. Toutes les surfaces ne nécessitent pas cette opération et parfois un simple dégraissage peut suffire. La conversion consiste à créer une nouvelle surface sur un substrat soit en modifiant localement la surface existante, soit en déposant une couche se superposant à la surface d'origine. Les conversions chimiques concernent principalement les métaux. Les plus utilisées sont : la phosphatation, la chromatisation, l'oxydation anodique, la métallisation et le dépôt de primaires. Le traitement

de conversion a pour fonction première de protéger le métal de la corrosion et d'augmenter la durabilité de l'interface et de l'adhésion. Il peut également favoriser l'accroche de l'adhésif en augmentant la rugosité et la réactivité de la surface.

Les traitements énergétiques :

La fluoration :

La fluoration est utilisée sur les matières plastiques afin d'augmenter leur énergie superficielle et les rendre aptes au collage. Le procédé de fluoration consiste à exposer un matériau polymère, pendant un temps assez court (~ 3 min), à un gaz de fluor dilué dans un gaz inerte, dans un réacteur sous vide à température ambiante. Cette opération permet de remplacer des atomes d'hydrogène par des atomes de fluor sans attaquer la chaîne polymérique. La fluoration de la structure conduit à une polarisation très forte des molécules du polymère et donc à une amélioration de la mouillabilité. Ce procédé n'est pas encore applicable aux matières métalliques et céramiques.

Les traitements par plasma froid :



*Équipement pour traitement par plasma froid
Source : Biophy*

Un plasma est un gaz électriquement neutre dont les espèces sont excitées et/ou ionisées, ce qui lui confère une réactivité élevée. Dans un plasma froid, contenant des espèces ionisées, seuls les électrons sont portés à haute température, les autres particules (ions, radicaux, molécules) restent à température ambiante. Ce procédé est particulièrement adapté au traitement de matériaux thermosensibles tels que les polymères. Les principales actions du plasma froid sont : la désorption des produits en surface, le nettoyage de la surface, l'érosion du matériau, le greffage de fonctions chimiques et le

dépôt d'un matériau en couches minces.

Un exemple de plasma froid couramment utilisé dans l'industrie est le traitement corona. Le plasma est obtenu par l'application d'une décharge contrôlée dans l'air à pression atmosphérique. Ce procédé permet de traiter le matériau directement sur la ligne de production. Cette technologie est utilisée depuis plus d'une trentaine d'années pour augmenter la mouillabilité et l'adhésion des polymères. Néanmoins, elle ne permet de traiter que des pièces en deux dimensions. Le traitement en enceinte fermée et avec une atmosphère contrôlée permet de traiter des pièces de forme plus complexe et d'apporter un plus grand nombre de fonctionnalités à la surface.

Le flammage :

Ce traitement consiste à exposer la surface d'un matériau polymère à une flamme oxydante générée par la combustion d'un hydrocarbure. L'oxydation thermique qui en résulte permet l'introduction de fonctions polaires dans les molécules de la surface du matériau. Cela a pour effet d'une part d'augmenter l'énergie de surface et donc la mouillabilité et d'autre part de créer des fonctions chimiques en surface pouvant interagir avec les fonctions présentes dans l'adhésif. Ce traitement permet également de brûler les contaminations organiques résiduelles telles que les huiles et les graisses pour lesquelles le dégraissage serait resté inefficace. Le flammage est un procédé simple à mettre en œuvre. Il est appliqué industriellement à des matériaux suffisamment épais et avec des géométries relativement simples.

Les traitements laser :

Les traitements laser peuvent être utilisés pour le nettoyage et la préparation de surface en vue d'améliorer l'adhésion. Le décapage laser permet d'éliminer totalement ou de manière sélective une couche superficielle recouvrant différents matériaux sans altérer le substrat. Selon la densité d'énergie et le taux de répétition appliqués sur la surface, l'irradiation laser peut également permettre d'obtenir, aussi bien sur les matériaux métalliques que sur les polymères, une rugosité très fine qui favorisera l'ancrage mécanique de l'adhésif. Dans le cas des polymères, lorsqu'on travaille à des densités d'énergie inférieures au seuil d'ablation du matériau, il y a formation de fonctions polaires sur la surface qui conduisent à une amélioration des propriétés d'adhésion du matériau.

3. Quelle colle choisir ?



Source : ECAM

Le choix correct d'un adhésif pour une application donnée reste complexe en raison du nombre très important de produits sur le marché et de la diversité des applications. Il est donc nécessaire de bien analyser le cahier des charges de l'assemblage afin de cerner tous les critères de choix et de déterminer la famille d'adhésifs susceptibles de convenir.

Les critères suivants doivent notamment être pris en compte :

- la compatibilité de l'adhésif avec les matériaux à coller
- les températures minimales et maximales d'utilisation
- l'environnement de l'assemblage (huile, carburant, humidité...)
- les sollicitations mécaniques
- l'adaptation entre la rugosité du substrat et la rhéologie de l'adhésif
- les conditions de durcissement (température, temps de prise...)

Parmi les familles d'adhésifs techniques les plus utilisés, on trouve les colles époxydes, cyanoacrylates et polyuréthanes. De manière générale le choix final d'une référence précise d'adhésifs se fait en liaison avec les fournisseurs car les formulations évoluent très vite dans ce domaine.

Les colles époxydes :

Ces colles sont très résistantes en traction ou cisaillement et adhèrent sur la plupart des substrats. Elles possèdent une très bonne tenue au vieillissement en fatigue. Ces colles sont de type mono ou bi-composants.

Les colles mono-composant sont pâteuses ou sous forme de films et

durcissent à chaud (60 mn à 120°C ou 10 mn à 180°C). La résistance au cisaillement varie de 20 à 45 MPa. Leur tenue en température s'étend de -60 à 180°C.

Les colles bi-composants durcissent à froid ou à chaud et sont liquides ou pâteuses. Elles résistent à des températures comprises entre -60°C et -70°C (durcissement à froid) ou 120-150°C (durcissement à chaud). La résistance au cisaillement varie de 10 à 35 MPa.

Les colles époxydes sont utilisées dans l'aéronautique, les transports, le bâtiment, l'électronique, les articles de sport... Elles sont particulièrement adaptées au collage de supports métalliques et également de matériaux composites à base de polyester ou d'époxyde.

Les colles cyanoacrylates :

Les cyanoacrylates sont des colles mono-composant à prise très rapide (de l'ordre de quelques secondes). Elles s'utilisent en petite quantité car le joint de colle ne doit pas dépasser 0,2 mm d'épaisseur. Elles sont très fluides, ce qui permet des collages par infiltration, et existent également sous forme de gel. La polymérisation de ces adhésifs est facilitée par l'humidité et il est nécessaire d'avoir une humidité d'au moins 45 à 50 % lors de la mise en œuvre. Les colles cyanoacrylates résistent à des températures

comprises entre -40°C et 100°C. De manière générale, les colles cyanoacrylates supportent moins bien le vieillissement ou les efforts du type fatigue que les polyuréthanes ou les époxydes. Elles conviennent sur des petites surfaces, pour des supports lisses et non poreux. Elles peuvent être employées avec les aciers (non inox), les alliages d'aluminium, les stratifiés therm durcissables et la plupart des matières plastiques à l'exception des mousses. Ces adhésifs sont surtout utilisés dans l'électronique, l'électricité, la micromécanique, l'optique.

Les colles polyuréthanes :

Les colles polyuréthanes possèdent une résistance au pelage élevée due à leur souplesse mais leurs propriétés en vieillissement et en fatigue sont moins bonnes que celles des époxydes. Ces colles sont liquides ou pâteuses et mono ou bi-composants. Elles ont une tenue en température de -60°C à 70°C voire 90°C pour certaines formulations. Elles conservent leur flexibilité même à très basse température (-40 à -60°C). Les polyuréthanes sont adaptées à l'assemblage du verre, des métaux, du caoutchouc et des plastiques. Ces colles sont de plus en plus utilisées notamment dans l'industrie automobile, pour coller les éléments composites à base de polyester sur des ossatures métalliques. Les autres secteurs utilisateurs sont le bâtiment, l'industrie de la chaussure et l'emballage.

Les compétences collage en Rhône-Alpes

Il existe en Rhône-Alpes plusieurs organismes qui possèdent des compétences dans le domaine du collage et peuvent apporter leur soutien aux entreprises qui souhaitent utiliser cette technique d'assemblage. Le département matériaux de l'ECAM propose des formations continues et un appui aux entreprises sur l'assemblage par collage.

Le département « chimie de formulation » de l'ITECH travaille sur la mise au point, en partenariat industriel, de matériaux adhésifs et propose également des formations continues gérées par sa filiale ITECH Entreprises.

Le CETIM de Saint Etienne possède un service « conception et assemblage » qui peut apporter son assistance aux entreprises avec notamment des avis techniques sur la conception d'ensembles collés, des essais de caractérisation d'adhésifs et de qualification de structures collées. Le Laboratoire des Matériaux Moléculaires (LMM) de L'INSA de Lyon effectue une recherche de base pour l'étude des matériaux polymères avec notamment des travaux : mécanisme de formation des interfaces, formulation d'adhésifs, élaboration d'interfaces à propriétés contrôlées.

Dossier constitué par :

ARAMM – tél : 04 79 25 36 66

Contact : Jean Claude Prévot

Lettre de l'Aramm n°6

Consultez le dossier intégral sur : www.agmat.asso.fr