

Un guide pour la fabrication des composants clés des dispositifs microfluidiques

Matériel médical et Technologies



Un guide pour la fabrication des composants clés des dispositifs microfluidiques

Auteurs : Jake Eldridge, ingénieur en chef des technologies de fabrication, 3M Health Care

Introduction

Les dispositifs microfluidiques peuvent être un indicateur de santé ou de maladie. Ils contrôlent la glycémie, les biomarqueurs génétiques, s'utilisent pour le dépistage du cancer, etc. Ils peuvent détecter des agents pathogènes et des biomarqueurs génétiques. La précision et les bons matériaux sont primordiaux lorsque vous concevez et fabriquez ces outils essentiels.

La fabrication de dispositifs microfluidiques nécessite des techniques sophistiquées. Ces bandelettes ou disques réactifs transportent, protègent et détectent les échantillons importants de sang ou d'autres fluides qui fournissent aux patients et à leurs soignants les informations cruciales dont ils ont besoin. Les dispositifs microfluidiques sont généralement petits et comportent des canaux et des circuits complexes dont l'assemblage et la fabrication exigent beaucoup d'attention et de soin.

Cet article traite des considérations de traitement et des propriétés des matériaux utilisés dans les composants courants des dispositifs microfluidiques. L'objectif est de fournir aux fabricants de dispositifs microfluidiques un aperçu des stratégies de fabrication réussies lors du développement de produits de pointe.



Composants du film du dispositif microfluidique : quelles sont leurs fonctions et leurs propriétés ?

Il est important de comprendre la fonction de chaque composant utilisé pour créer des dispositifs microfluidiques avant de les classer.

Substrats et supports

Fonctions

Un substrat ou un support est comme la colonne vertébrale du film. C'est le composant qui dicte les caractéristiques mécaniques du film. Le type de support doit être choisi en fonction des performances souhaitées du film, selon qu'il doit être épais et rigide, conformable, réfléchissant ou, dans certains cas, extensible.

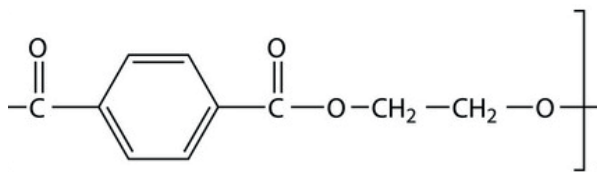
Des modifications de surface sont parfois ajoutées aux films microfluidiques pour leur conférer des caractéristiques hydrophiles selon la fonction souhaitée. De plus, les surfaces peuvent être traitées pour en améliorer l'adhérence ou favoriser le détachement de l'adhésif.

Propriétés of different substrates

Vous trouverez ci-dessous une courte liste de substrats couramment utilisés dans les dispositifs microfluidiques :

- Polypropylène biaxialement orienté (BOPP) : il offre une bonne transparence, une faible autofluorescence et une résistance considérable. De plus, il s'utilise avec facilité pour les opérations de revêtement, d'impression et de découpe. Il convient de particulièrement veiller à l'absence de rayures de surface pendant le traitement.
- Polyéthylène téréphtalate (PET) : naturellement transparent avec une bonne résistance. Faible transmission de l'humidité. Traitement de surface facile à ajouter.

Très facile à traiter, à enduire, à découper, etc.
Bonne rigidité avec une moindre propension à la déformation plastique par rapport au BOPP.



- Feuille d'aluminium : disponible dans divers types d'alliage et degrés de dureté. Les propriétés de surface se prêtent aux manipulations en fonction des conditions de traitement et de broyage. De nombreuses configurations d'aluminium sont malléables et peuvent conserver la forme de la surface sur laquelle elles sont appliquées. De plus, elles offrent une meilleure conductivité thermique.



Adhésifs

Fonctions

En termes très simples, les adhésifs permettent de coller un film sur une surface. En microfluidique, les films sont souvent collés aux plaques pour définir des limites étanches entre les puits d'échantillon. Les films peuvent également être collés à d'autres composants pour fabriquer un dispositif (par ex. produits Lab-on-a-chip, bandelettes de test). Dans ces applications, les adhésifs sont régulièrement en contact avec des échantillons et des réactifs, et doivent donc être chimiquement stables. La technologie Polymérase Chain Reaction (PCR) est utilisée pour séquencer l'ADN. Les dispositifs peuvent subir des variations thermiques pendant le stockage et l'utilisation, allant de températures inférieures à zéro à 98 °C. Pendant le traitement, en raison des changements de température répétés et importants, il est important que l'adhésif ne perde pas son adhérence et ne commence pas à se dégrader et à contaminer potentiellement la réaction.

Propriétés des adhésifs microfluidiques couramment utilisés

Adhésifs en silicone : ils offrent une très bonne adhérence aux applications de contact à faible énergie de surface (LSE). Certaines variantes présentent une adhérence initiale très faible qui

augmente lorsqu'une pression suffisante est appliquée. Cela peut être souhaitable lorsqu'un repositionnement est nécessaire (par exemple, sur une plaque ou un couvercle de puits). Certaines formulations à base de silicone offrent une très bonne résistance à la dégradation lors du traitement par technologie PCR. Les silicones sont généralement plus cher que les systèmes adhésifs à base d'acrylate.

Adhésifs acrylate : ils confèrent une bonne adhérence sur un large éventail de surfaces, avec la capacité de rester collé pendant de longues périodes. Ils peuvent être formulés pour s'adapter à une série de profils d'adhérence et de rigidité nécessaires pour maintenir la structure essentielle des canaux et permettre une bonne capacité de fabrication. Les adhésifs acrylate peuvent être moins coûteux que les adhésifs en silicone.

Liners

Fonctions

Les liners sont les héros méconnus d'un film. Ils fournissent souvent une surface propre et régulière sur laquelle appliquer l'adhésif (voir la section sur la lamination ci-dessous) et protègent la surface de l'adhésif contre l'exposition et les dommages. Les liners peuvent être utilisés comme aide au traitement (liner de traitement) ou peuvent rester avec le film jusqu'à ce qu'un utilisateur final en fasse usage (liner de produit). En raison de la nature complexe et précise de l'enduction et de la transformation des dispositifs microfluidiques, les liners en PET ou en BOPP (expliqué ci-dessous) sont souvent utilisés pour préserver les tolérances et permettre une découpe nette des bords.

Propriétés des différents substrats des liners

Tout comme les films, les liners sont disponibles dans de nombreux substrats en fonction des besoins de l'utilisateur.

- Le papier est souvent utilisé lorsqu'un liner imprimé est nécessaire ou si l'utilisateur a besoin d'un liner relativement bon marché offrant une structure et une protection significatives. Les liners en papier utilisés dans l'industrie des sparadraps chirurgicaux ont généralement au moins une face recouverte d'une couche de polyoléfine

pour permettre l'application d'un revêtement antiadhésif sans qu'il ne pénètre dans le papier. Les modifications de surface peuvent inclure des perforations pour la gestion de l'humidité.

- Le BOPP est prisé pour son épaisseur régulière, sa résistance et ses qualités optiques. Il est généralement plus cher que le papier, mais moins que le PET. Une modification de la surface ou un primer sont parfois utilisés avec les substrats BOPP pour permettre l'application de substances antiadhésives (comme décrit dans la section suivante).
- Le PET est un substrat de liner en polyester couramment utilisé dans de nombreux secteurs. Il offre des propriétés de résistance très homogènes, avec un rapport résistance/épaisseur élevé. Le PET est envisagé lorsque l'épaisseur du revêtement et la précision de la découpe sont importantes pour le transformateur ou l'utilisateur final. Le PET est l'option la plus coûteuse. La modification de la surface ou l'application d'un primer sont compatibles avec les liners en PET.

Revêtements anti-adhésifs pour liners

Pour qu'un liner soit parfaitement opérationnel et se détache de l'adhésif lorsqu'il est pelé, sa surface est presque toujours recouverte d'un revêtement. Ce revêtement, souvent appelé revêtement anti-adhésif (à base de substances chimiques anti-adhésives), est généralement composé d'un silicone durci, d'un fluorosilicone ou parfois de variantes de fluorocarbure. Les adhésifs acrylate sont généralement associés à des revêtements antiadhésifs en silicone. Les revêtements antiadhésifs à base de fluorosilicone et de fluorocarbure sont utilisés en association avec des adhésifs à base de silicone, car toute utilisation d'un produit chimique antiadhésif à base de silicone pur entraînerait un « blocage » ou un « verrouillage » avec l'adhésif et ne fonctionnerait pas correctement.

Liners simple face

Parfois appelés « liners monoface », ils indiquent le nombre de faces enduites de substances chimiques antiadhésives. Les liners simple face sont principalement utilisés pour les films simple face, mais peuvent parfois être utilisés avec un autre liner simple face pour les films double face et les films de transfert.

Liner double face

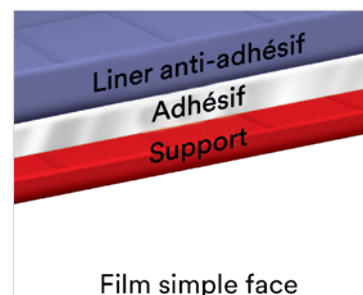
Parfois appelé liner double face ou tandem, il s'agit d'un substrat possédant deux faces pourvues d'un revêtement antiadhésif. Les substances chimiques anti-adhésives sur les deux faces du liner sont presque toujours différentes, afin d'offrir ce que l'on appelle un degré différentiel de détachement. Ce différentiel est extrêmement important pour les adhésifs de transfert, car l'écart dans le degré d'adhérence permet le détachement d'un côté et l'ancrage de l'autre côté pendant le process. Vous trouverez plus d'informations à ce sujet dans la section « Adhésif de transfert » ci-dessous. Les liners double face peuvent également être utilisés avec un film simple face pour protéger le traitement de surface de la face arrière d'un substrat.

Types de film : films simple face, double face, de transfert

Les films fabriqués en bande et stratifiés sont souvent classés selon leur fonction et leur apparence.

Films simple face

Les films simple face présentent un adhésif fixé sur un substrat à la fois résistant et conformable, qui dispose, dans certains cas, d'une surface sur laquelle peut adhérer un autre composant (empilement de films). Dans leur forme finale, les films simple face peuvent être avec ou sans liner. Si la conception ne comporte pas de liner, la face arrière du substrat sera dotée d'un certain type de traitement, de revêtement ou de modification de surface, qui permettra de détacher l'adhésif lors du déroulement. Les films simple face couvrent un très large éventail de stratifiés sur le marché et sont souvent divisés en catégories basées sur la spécificité du support ou de l'adhésif (par exemple, les films non tissés, les sparadraps silicone, etc.)

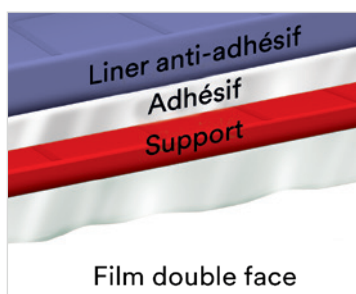


Films double face

Un film double face est composé d'un simple substrat comportant des adhésifs enduits des deux côtés. En fonction de l'utilisation prévue, les adhésifs peuvent être identiques, offrir des épaisseurs d'enduction différentes pour fournir divers niveaux d'adhérence, ou constituer des systèmes adhésifs distincts. Les films double face peuvent être composés de deux liners simple face ou d'un liner double face qui permet de détacher les deux couches d'adhésif.

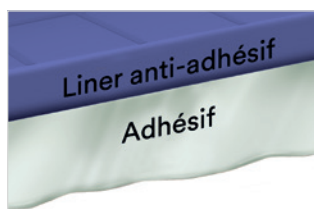
Un film intercalaire est un film double face fabriqué pour les bandelettes de test microfluidiques.

Ce film a une épaisseur globale précise qui fournit l'espacement, l'épaisseur requise pour la hauteur du canal et la structure de la bandelette de test.



Adhésifs de transfert

Les adhésifs de transfert sont, à bien des égards, semblables à des films double face, la principale différence étant l'absence de substrat. Un adhésif de transfert doit être constitué soit d'un liner anti-adhésif double face, soit de deux liners simple face. Il est très important que le différentiel de détachement des liners soit suffisant. On considère généralement qu'un différentiel de détachement de 3x est idéal. Un adhésif de transfert avec un différentiel de 2x peut suffire, mais il faudra peut-être prendre des précautions particulières lors du déroulement du film afin de ne pas provoquer de « confusion au niveau des liners ». La confusion entre les liners se produit lorsque l'ancrage de l'adhésif est similaire entre deux revêtements anti-adhésifs. Dans ce cas, le liner commence à se décoller ou à se fendre, ce qui rend son utilisation ou son traitement pratiquement impossible.



Aperçu du processus de fabrication

Maintenant que les composants de base du dispositif ont été sélectionnés, il est temps de passer à la fabrication. L'aperçu ci-dessous sur la fabrication suit les mêmes sept étapes principales et séquentielles que celles utilisées pour fabriquer un dispositif microfluidique, à savoir la création d'un substrat, la modification, le revêtement, la photopolymérisation, l'inspection, la découpe et, enfin, l'assemblage d'un dispositif médical fini.

Extrusion polymère de films

Les films polymères sont régulièrement utilisés dans les composants microfluidiques comme substrats et liners, en raison de leur degré élevé de contrôlabilité dimensionnelle.

Vue d'ensemble du processus

L'extrusion de polymères est une science complexe consistant à chauffer des granulés d'entrée ou de la résine (alimentation) à une température exploitable, à comprimer une masse fondue, et à doser la masse fondue à une vitesse donnée dans un moule pour couler et refroidir un rideau selon une épaisseur souhaitée constante.

Commençons par l'extrudeuse elle-même ; à un haut niveau, il s'agit d'un réseau de fûts modulaires qui renferment une vis d'extrusion, ou deux vis. Les granulés sont introduits par une trémie dans l'extrudeuse et chauffés à une température nominale, liée à la température de fusion du polymère. Au fur et à mesure que le matériau se ramollit, il est poussé vers le bas du cylindre d'extrusion par la vis et commence à se comprimer.¹ La pression s'accumule et ce que l'on appelle « la masse fondue » commence à se former.¹ La masse fondue continue à descendre du cylindre vers l'étape finale du dosage,¹ où la température et le débit sont finement ajustés pour influencer sur le débit de la masse fondue provenant de l'extrudeuse.

Une remarque sur les conceptions à une et deux vis : à un niveau élevé, une double vis offre un flux de matière plus stable et la capacité de traiter une plus grande quantité d'humidité dans la masse fondue, bien qu'elle présente des coûts d'exploitation supérieurs et dispose d'un plus grand nombre de pièces mobiles à entretenir.

Lorsque la matière fondue quitte l'extrudeuse, elle se déplace via un tuyau isolé jusqu'à un moule, où la matière fondue est canalisée et davantage dosée pour s'étaler en un rideau de la largeur et de l'épaisseur souhaitées, généralement par le biais d'une matrice de coulée. La matrice de coulée doit être installée au-dessus de la surface ou de la fente de coulée et utiliser la gravité pour faciliter l'écoulement de la fonte sur la surface de coulée. Le rideau est coulé soit directement sur un cylindre presseur refroidi, soit sur un support (qui sert essentiellement de liner de séparation pour les films extrudés), en refroidissant la masse fondue à une vitesse adaptée aux propriétés du ou des polymère(s) choisi(s). Parmi les techniques permettant de s'assurer que la matière fondue refroidie reste sur le cylindre de refroidissement, on peut citer le serrage (à l'aide d'une pince de laminage à revêtement antiadhésif), le pinning statique et l'Air pinning. En outre, un couteau à air (utilisé pour l'Air pinning) peut contribuer au refroidissement d'une masse fondue pendant l'étape de coulée. Si vous utilisez cette technique de refroidissement, il faut surveiller de près l'apparition de bulles d'air dans la bande.

Si la masse fondue est coulée selon l'épaisseur désirée pour le produit final, elle est ensuite soumise aux opérations de manutention standard des bandes pour être finalement enroulée en tant que produit fini. Cependant, comme les films biaxialement orientés sont souvent utilisés dans la construction de dispositifs microfluidiques, le traitement ne s'arrête pas là. L'orientation biaxiale implique que le film est étiré dans deux directions, ce qui allonge les chaînes de polymère et renforce le film. Le film est étiré à la fois dans le sens machine (bande descendante) et dans le sens transversal (bande transversale), respectivement par un orienteur et une rame. L'orienteur fonctionne en chauffant rapidement la bande et en l'allongeant immédiatement grâce au différentiel de vitesse des cylindres entraînés. Une rame fonctionne en saisissant le côté de la bande avec des pinces sur des rails divergents et en la faisant passer dans une série de zones comportant des fours de chauffage.

Après allongement et élargissement, la bande subit un rognage des bords pour éliminer les zones qui ont été déformées par les pinces dans la rame.

Une remarque sur la fluorescence des films plastiques

Le niveau de fluorescence des films extrudés souvent utilisés dans les dispositifs microfluidiques et les applications de film de recouvrement peuvent interférer avec la détection du signal de l'échantillon pendant le test. Si le produit final est sensible aux interférences dues à la fluorescence, il est recommandé d'évaluer la fluorescence des matériaux sélectionnés.

Roulage de la feuille d'aluminium

La feuille d'aluminium en tant que substrat est couramment utilisée dans les applications microfluidiques en raison de sa conformabilité, de sa réflectivité et de sa facilité de perforation, principalement dans les films de recouvrement et les dispositifs de diagnostic moléculaire utilisant la technologie PCR.

Vue d'ensemble du processus

La production d'aluminium est un secteur industriel d'envergure et l'organisation de la production, de la mine à l'usine, comporte de nombreuses étapes. Le présent aperçu se concentre uniquement sur le laminage des bobines d'aluminium à l'usine. Le calibre du stock de bobines reçues est généralement supérieur à celui qui peut être utilisé dans les produits microfluidiques et doit être laminé de façon à obtenir un calibre inférieur. Cette étape de laminage permet également au transformateur d'affiner l'état de surface souhaité de la feuille de sortie.

Le matériau de la bobine est introduit dans l'emprise du cylindre de travail qui est généralement soutenue par un ou plusieurs cylindres d'appui par cylindre de travail, afin d'exercer les forces élevées nécessaires à la déformation de l'aluminium. La bobine peut alors passer plusieurs fois à travers les emprises des cylindres de travail avec un écartement progressif pour obtenir l'épaisseur de feuille souhaitée. Différentes méthodes de laminage à chaud ou à froid peuvent être employées pour éviter ou induire l'écrouissage.² De nombreuses feuilles utilisées dans l'industrie microfluidique présentent un certain niveau d'écrouissage qui confère à la feuille une plus grande rigidité, ce qui est utile pour la conception de certains films.

Au cours de la dernière étape de laminage, la feuille passe par l'emprise du cylindre de laminage ce qui lui confère la finition de surface souhaitée, en lien direct avec la finition de ce cylindre. Les normes industrielles distinguent la finition « mill finish », c'est-à-dire relativement rugueuse, et « bright finish », c'est-à-dire de type miroir, avec différents degrés entre les deux. Il est courant de faire passer les feuilles dans l'emprise d'un laminoir sous forme de deux bandes placées dos à dos pour augmenter le débit. Cela confère un aspect terne à chacune des bandes de feuilles à l'endroit où elles sont mises en contact via l'emprise. Pour obtenir une feuille disposant d'une finition uniforme sur les deux faces, il faut la faire passer seule dans l'emprise du laminoir.

À l'opposé des feuilles durcies par traction, on trouve des feuilles assouplies pour les films de couverture des plaques de microtitration. Elles sont souvent très ductiles, ce qui leur permet de se conformer et d'adhérer aux bords des puits d'échantillons et de permettre aux aiguilles de percer le film de recouvrement sans déchirement. Les feuilles de film de recouvrement sont partiellement ou totalement recuites, un processus qui cristallise la structure moléculaire de l'alliage d'aluminium.³ Le processus de recuit est effectué soit avant, soit après le laminage de l'aluminium, en chauffant la feuille à une température spécifique à l'alliage pendant de longues périodes et en la refroidissant lentement.

Une remarque sur l'alliage

Une attention particulière doit être accordée aux alliages et aux compositions de la feuille. Un alliage couramment rencontré est celui de la série 1XXX. Cette série est composée d'au moins 99 % d'aluminium. Ces alliages sont résistants à la corrosion et offrent une conductivité thermique et électrique.⁴ D'autres séries d'aluminium contiennent d'autres additifs qui leur confèrent des propriétés et des niveaux de maniabilité spécifiques.

Modifications de la surface hydrophile

Il existe différents types et techniques de modification de surface utilisés en microfluidique. Les revêtements hydrophiles constituent la principale modification de surface utilisée pour les composants des dispositifs microfluidiques.

Revêtements hydrophiles

Les films hydrophiles se retrouvent principalement dans les bandelettes de test et les produits Lab-on-a-chip qui nécessitent le transport de fluides à un niveau très faible. Un film hydrophile favorise l'écoulement des fluides en raison de son énergie de surface modifiée.⁵ Pour qu'un substrat tel que le PET devienne plus hydrocompatible, il subit généralement un traitement spécifique visant à augmenter son énergie de surface. Les produits chimiques des revêtements hydrophiles sont souvent brevetés et peuvent contenir ou non des tensioactifs.



Les revêtements hydrophiles sont le plus souvent appliqués à l'aide de la méthode de l'héliogravure abordée dans la section sur les revêtements ci-dessous. Après enduction, la bande passe dans un four pour le séchage et la photopolymérisation. La mesure de l'hydrocompatibilité est appelée l'angle de contact.

Revêtement adhésif/laminage

Un revêtement adhésif précis et homogène est essentiel pour le fonctionnement des composants des dispositifs microfluidiques. Les utilisateurs finaux de dispositifs ont besoin d'épaisseurs de film et d'adhésif extrêmement contrôlées pour fabriquer des produits sensibles. Il s'agit souvent de réguler le débit volumétrique des fluides au niveau du micro-litre.

Adhésifs à base de solvant

Un adhésif à base de solvant permet d'obtenir une application uniforme et un revêtement simple. La partie solvant de la solution est éliminée en séchant l'adhésif dans de grands fours. Les adhésifs et les revêtements à base de solvants sont aujourd'hui largement utilisés dans l'industrie. Cependant, cette technique pourrait perdre de son intérêt à l'avenir, principalement en raison du coût élevé des lignes de production (fours, oxydateurs thermiques) et des réglementations environnementales.

Les adhésifs à base de solvant peuvent être appliqués sur une bande en mouvement par le biais de nombreuses matrices différentes. Les plus courantes sont les matrices à fente et les cylindres d'héliogravure (gravure). Une matrice à fente se compose d'un collecteur fendu comportant des formes spécifiques et des zones réglables qui contrôlent la pression interne de la matrice et en définitive l'épaisseur du revêtement. Les cales de matrice (dispositifs d'écartement implantables et amovibles) utilisées dans les matrices à fente permettent d'obtenir des largeurs de revêtement spécifiques et des bandes spécialement destinées à chaque produit fabriqué.

Une autre méthode d'enduction courante pour les adhésifs à base de solvant est l'enduction au rouleau via un cylindre d'héliogravure ; elle est le plus souvent employée pour les enduits très fins et à faible viscosité. Cette méthode utilise un cylindre doté d'alvéoles usinées avec précision, lesquelles prélèvent l'adhésif dans un bain de solution adhésive où le cylindre est partiellement immergé. Lorsque le cylindre tourne, il passe sous une lame de raclage, ou tout autre mécanisme, qui enlève l'excès d'adhésif, ce qui permet de contrôler l'épaisseur du revêtement. À mesure que le cylindre poursuit sa rotation, l'adhésif restant dans les alvéoles est appliqué sur la bande en mouvement qui passe par une ligne de contact à basse pression.

Adhésifs sans solvant

Les adhésifs sans solvant ou les apports d'adhésifs thermofusibles se présentent sous la forme de granulés, de résine ou de blocs de différents composés. Au lieu d'utiliser une solution pour obtenir une viscosité de travail, comme c'est le cas avec la méthode à base de solvant, la technique de thermofusion utilise la chaleur. Les matériaux intrants passent par une extrudeuse où ils sont chauffés à des températures de travail spécifiques,

puis appliqués au substrat ou au revêtement par l'intermédiaire d'une matrice. Ces adhésifs ne nécessitent aucun séchage et sont souvent plus économiques que les adhésifs à base de solvant en raison de leur faible coût d'exploitation.

Les adhésifs thermofusibles sont le plus souvent appliqués à l'aide d'une matrice de coulée, comme celle utilisée pour l'extrusion, ou d'une matrice de contact. Une matrice de contact se compose d'un collecteur doté d'un espace qui alimente en adhésif un segment de la matrice en contact physique avec la bande. Cette partie de la matrice exerce une légère pression sur la bande contre un rouleau d'appui et laisse une couche fine et régulière. Certaines caractéristiques de cette technique de revêtement sont exclusives et propres à chaque fabricant.

Revêtement adhésif direct

L'enduction directe est une méthode consistant à appliquer un adhésif sur le substrat ou le support de la bande. En raison de la nature complexe et de la sensibilité de nombreux composants de substrat microfluidiques, cette pratique n'est pas très courante. L'enduction directe implique que le support est exposé au même environnement difficile que celui nécessaire au séchage et à la photopolymérisation de l'adhésif, ce qui augmente le risque d'introduction de défauts dans le support. Le principal avantage de l'application d'une couche directe est l'amélioration de l'ancrage de l'adhésif sur le substrat du composant.

Lamination de l'adhésif

L'adhésif est souvent appliqué au substrat du dispositif microfluidique par le biais d'un laminage au lieu d'un revêtement direct. Avec cette méthode, l'adhésif est appliqué sur un liner détachable, subit toutes les procédures de séchage et/ou de photopolymérisation nécessaires, puis est laminé sur le substrat du composant souhaité. Cette technique permet d'utiliser des supports de composants plus complexes et réduit considérablement le risque de détérioration ou de contamination du substrat de la bande. Un autre avantage est la possibilité d'associer différentes combinaisons d'adhésifs de transfert avec le substrat du composant. Parmi les défis courants de la lamination figurent l'obtention d'une adhésion suffisante avec le support de la bande et le choix d'un liner permettant un détachement approprié.

Pression de la lamination : la pression lors de la lamination est cruciale lorsque l'on lamine deux bandes (ou plus) ensemble. Les valeurs de réglage de la pression dépendent principalement des compositions du support et de l'adhésif. Si la pression de lamination est trop faible, l'ancrage de l'adhésif au support sera insuffisant. Une pression trop élevée peut provoquer un suintement ou un écoulement de l'adhésif (en particulier avec les adhésifs partiellement polymérisés/réticulés) et peut induire une courbe de la bande dans la direction transversale. En outre, une pression excessive peut entraîner une légère diminution de la vitesse de la ligne sur le bord avant de la ligne de contact de la lamineuse et provoquer des rayures ou un étirement de la bande.

Uniformité de la pression : en plus de choisir le point de réglage correct pour la pression, il est impératif que cette dernière soit appliquée uniformément dans le sens transversal de la bande. Une pression irrégulière peut entraîner une déformation minime de la bande, provoquant ainsi un gondolage, ou même un léger suintement de l'adhésif dans une direction. L'alignement des cylindres résout généralement ce problème, mais dans certains cas, il peut être nécessaire de remplacer les cylindres/tambours de la lamineuse ou d'évaluer l'état des systèmes d'entraînement pour vérifier si le moteur ou les roulements sont endommagés.

Revêtements et enveloppes antiadhésifs pour cylindres : les revêtements ou les enveloppes antiadhésifs sont utilisés pour réduire les rayures ou faciliter le détachement de la face supérieure (côté adhésif) des cylindres/galets pendant le traitement de la bande. Ces techniques sont souvent utilisées lors du traitement des bandes pour les composants microfluidiques, car les films et feuilles de substrat peuvent être extrêmement sensibles aux rayures ou à la survenue d'autres imperfections. Il existe plusieurs options à cet effet, dont beaucoup sont disponibles dans le commerce, mais certaines technologies sont néanmoins propriétaires.

Formation de rouleaux : une fois que la bande a été laminée, elle passe à l'étape de l'enroulement. Il faut veiller à ce que la formation du rouleau et l'orientation du vent soient correctes afin de ne pas rayer une surface sensible non protégée. L'avantage offert par les liners en termes de protection de surface, peut souvent devenir un inconvénient

en ce qui concerne la formation de rouleaux. Par exemple, les liners double face sont couramment utilisés pour protéger ou détacher l'envers d'un substrat. Toutefois, cela risque d'entraîner un glissement et un télescopage du rouleau. Une attention particulière doit être accordée au rouleau lors de l'enroulement. Si un télescopage du rouleau commence à se produire, il est probable que la tension de la bande soit trop élevée et qu'il faille la réduire. Une autre technique utilisée pour réduire le télescopage consiste à diminuer la tension, afin que lors de l'enroulement du rouleau, la tension diminue pour contrer la pression interne du cylindre d'enroulement. La tension conique est exprimée en %, en proportion de la diminution de la tension par rapport à sa valeur de réglage initiale.

Photopolymérisation

Contrôles de photopolymérisation : siccité/extractibles

L'objectif de la photopolymérisation des adhésifs est de sécher les solvants et d'éliminer les monomères dans les adhésifs. La siccité d'un adhésif ou d'un revêtement à base de solvant est essentielle à sa fonctionnalité. La siccité fait référence aux solvants résiduels qui restent dans un adhésif à base de solvant après son passage dans un four thermique. Lorsqu'elles sont correctement configurées, les zones d'un four dont la température et le débit d'air sont contrôlés permettent d'effectuer le séchage adéquat d'un revêtement à une vitesse de ligne donnée. Un test des extractibles permet de mesurer la quantité de solvants et d'autres produits chimiques restant dans le revêtement après son passage dans un four de séchage.

Méthodes de photopolymérisation

Il existe plusieurs façons de photopolymériser un revêtement ou un adhésif en fonction de sa structure chimique.

Photopolymérisation thermique : hormis pour sécher un revêtement à base de solvant, les fours peuvent également être utilisés pour photopolymériser un adhésif ou un revêtement. L'augmentation des températures ou du temps de maintien dans un four peut réticuler les chaînes de polymères d'un revêtement, et ainsi en modifier l'adhérence ou les propriétés mécaniques.

Photopolymérisation par des ultraviolets : les lampes à ultraviolets peuvent être utilisées pour photopolymériser les adhésifs sans solvant ou les revêtements antiadhésifs de faible épaisseur sur des liners. Pour la photopolymérisation des liners antiadhésifs, le passage par une lampe UV diminue la quantité de produits chimiques « libres » (produit chimique ou composé antiadhésif actif, comme le fluorosilicone), ce qui réduit la quantité de produits extractibles restants, mais augmente la capacité antiadhésive d'un liner.

Faisceau d'électrons (E-beam) : le faisceau d'électrons est utilisé pour photopolymériser ou réticuler les chaînes de polymères, généralement dans les adhésifs, mais parfois aussi pour la stérilisation. Parfois utilisé avec des revêtements d'acrylate soumis à un post-séchage, la photopolymérisation par faisceau d'électrons entraîne un durcissement de l'adhésif et une augmentation de sa viscosité pour atteindre les propriétés d'adhérence ou mécaniques souhaitées.

Vitesse de la ligne/temps de maintien : le temps de maintien, en termes de photopolymérisation d'un adhésif ou d'un revêtement, est essentiel pour obtenir les solvants résiduels, l'adhérence et les propriétés mécaniques souhaités. Lors du traitement d'une bande (durant lequel une ligne continue de matériau est en mouvement), le temps de maintien est inversement proportionnel à la vitesse de la ligne. Cependant, le degré de séchage ou de photopolymérisation est directement lié à la température ou à l'énergie fournie à une bande. Ainsi, l'énergie fournie et la vitesse de la ligne sont les deux principaux leviers d'action du séchage et de la photopolymérisation.

Systèmes de direction, de manutention de la bande et de traitement d'images

Roulage

Concernant le traitement de la bande, le roulage fait référence à l'alignement des cylindres et des galets les uns par rapport aux autres. Une autre façon de se représenter le roulage des cylindres consiste à imaginer le parallélisme tridimensionnel entre les cylindres dans les directions x, y, et z. Un faible défaut d'alignement peut provoquer une tension inégale dans une bande. Dans ce cas, différentes zones de la bande subissent d'infimes variations de tension qui peuvent étirer,

raier, plisser et gondoler le matériau passant sur un cylindre non paré. Dans les composants microfluidiques, les rayures et autres défauts peuvent modifier la transparence ou le lissage d'une bande ou d'un film, ce qui peut avoir des répercussions notables sur le dispositif fini.

Bumpering

Le bumpering est une technique appliquée au traitement de la bande pour influencer sur la tension latérale (transversale) d'une bande en mouvement. Lors du bumpering, une bande soumise à haute friction est enroulée autour d'un cylindre à partir des bords de la bande. Cela se fait parfois suite à l'observation de plis dans le sens de la machine, ou bien à titre strictement préventif. Le bumpering est une méthode relativement informelle, mais cependant efficace, pour ajouter une tension latérale. En particulier avec les supports souvent très sensibles utilisés dans les composants microfluidiques, il faut absolument être attentif au substrat du composant et se demander si la bande de bumpering ne risque pas de provoquer des rayures indésirables ou un excès d'électricité statique dans la ligne.

Guides de bande/Guides de bordures

Les guides de bande, parfois appelés guides de ligne ou guides de bordures, sont couramment utilisés pour diriger les systèmes de traitement de bande et sont utiles pour effectuer l'enduction et la découpe précises des composants pour dispositifs microfluidiques. Les guides de bande utilisent des capteurs de lumière pour suivre soit le bord de la bande en mouvement, soit une ligne de référence qui peut être imprimée sur la bande (si la bordure est variable, parfois lors du traitement des mousses). Ces capteurs sont reliés au contrôleur logique de l'équipement et permettent à la machine de s'adapter dans le sens transversal à tout déplacement de la bordure ou de la ligne de référence. Les guides de bande sont couramment utilisés sur les équipements d'enduction et de découpe ainsi que sur les lignes de conversion.

Systèmes de traitement d'images

Les systèmes de traitement d'images permettent de détecter les défauts et de cartographier les rouleaux et/ou de marquer les défauts. Les technologies des systèmes de traitement d'images sont nombreuses et impliquaient autrefois

l'utilisation d'une caméra pour détecter des défauts (rayures, imperfections, contaminations) sur une bande en mouvement en fonction de valeurs limites de taille ou de contraste lumineux. Au fil des progrès technologiques, l'utilisation de capteurs infrarouges (IR) a augmenté pour les applications moins sensibles en raison de leur faible coût. De nombreux fabricants souhaitent utiliser des systèmes de traitement d'images lors de la production de composants pour les dispositifs microfluidiques, car ils permettent d'inspecter à 100 % les composants non conformes et ce au tout début du processus. Cela permet de réduire le nombre de défauts et la variabilité du dispositif microfluidique fini. Autre avantage d'un système de traitement d'images, il permet d'intégrer un plan du rouleau, provenant par exemple d'une étape du processus de revêtement, dans l'étape de découpe qui suit. Un « découpeur intelligent » peut ainsi être alerté. Il marque la bande à côté d'un défaut, ou informe les opérateurs pour qu'ils signalent ou suppriment complètement un défaut. Le risque de retrouver un défaut dans un dispositif microfluidique final très sensible est ainsi limité.

Découpe

Cette section se concentre sur trois méthodes principales de découpe pour le traitement en bande des composants microfluidiques.

Découpe par éclatement

Avec cette méthode, une lame fixe est installée dans un angle pour couper le matériau. Efficace pour les films de faible épaisseur, il s'agit d'une méthode relativement peu coûteuse, facile à mettre en place et à ajuster.⁶

Découpe circulaire

Le découpage circulaire, parfois appelé découpage par écrasement, est une procédure de découpage de la bande vers le bas durant laquelle une lame circulaire découpe la bande jusqu'à un rouleau de support durci.⁶ En termes simples, il utilise la même mécanique de découpe qu'une roulette à pizza. C'est le type de système de découpe le plus courant et il fonctionne pour la plupart des films microfluidiques.

Découpe par cisaillement

La découpe par cisaillement est utilisée pour les matériaux sensibles qui nécessitent une finition fine des bords, ou plus souvent, pour les matériaux plus épais, tels que les feuilles d'aluminium et les films polymères épais. Dans ces situations, il arrive souvent qu'une découpe par cisaillement n'exerce pas une pression suffisamment élevée à l'endroit de la coupe pour séparer le matériau, et provoque plutôt une profonde indentation du produit. En revanche, la découpe par cisaillement fait appel à deux lames circulaires qui travaillent en tandem pour couper le matériau lors de son passage.⁶ Le mécanisme de découpe force le matériau dans différentes directions sur une très petite surface, ce qui entraîne sa séparation, tout comme avec une paire de ciseaux. La découpe par cisaillement fournit la meilleure qualité de bord des trois techniques, mais elle peut être complexe à mettre en place et coûteuse, car deux outils de coupe sont utilisés pour chaque coupe, ce qui nécessite plus d'entretien.⁶



Conversion et assemblage

La conversion et l'assemblage de composants microfluidiques constituent, d'une certaine manière, un micro-résumé de nombreux éléments abordés dans ce document.

Lamination d'autres composants

Les dispositifs microfluidiques sont souvent fabriqués en concevant ou en empilant des couches de composants, avec des formes et des propriétés internes différentes. Par exemple, les canaux créés par l'espace entre les couches peuvent permettre la circulation du sang ou des fluides. Dans ces applications, l'enregistrement entre les couches doit être exact et précis. Les machines de conversion sont souvent dotées de capteurs qui détectent les marques de repérage ou les « repères optiques » indiquant que les stratifiés sont alignés avant la lamination. La lamination de plusieurs composants nécessite également un guidage des bords et une configuration adéquate de la lamineuse.

Découpe

La découpe des composants microfluidiques se fait généralement à l'aide de matrices rotatives ou de lasers.

Découpe à l'aide de matrices rotatives : la découpe à l'aide de matrices rotatives est une méthode courante lors de la conversion des dispositifs microfluidiques. Cette technique consiste à utiliser un outil dur à motifs de précision de la forme souhaitée pour découper un film ou un substrat. L'outil à motifs est cylindrique et pivote en synchronisation avec la bande en mouvement pour couper un motif plat. Une matrice rotative présente des avantages par rapport à la découpe laser dont l'augmentation de la vitesse potentielle de la ligne, un coût d'entrée plus faible et un degré élevé de durabilité. Les inconvénients de l'outillage dur sont le coût des nouvelles matrices, le délai d'exécution plus long pour les nouveaux outils et les modifications, une précision de coupe légèrement inférieure à celle de la découpe au laser et les exigences de maintenance des matrices de découpe.⁷



Découpe et enlèvement au laser : La découpe au laser est également courante dans la conversion des dispositifs microfluidiques. Cette méthode de découpe utilise un laser focalisé pour brûler une ou plusieurs couches de matériau en suivant un motif contrôlé par ordinateur ou par une unité logique. Le moment et l'intensité du laser sont cruciaux pour l'efficacité de cette méthode de découpe. Lors de la conversion des dispositifs microfluidiques, les lasers facilitent les découpes très complexes ou peuvent être utilisés pour « percer » des trous dans un composant, lesquels seraient autrement difficiles à réaliser avec une matrice rotative.

Les lasers sont souvent utilisés dans la conversion des bandelettes de test pour découper de minuscules conduits et événements qui canalisent des quantités précises de liquides ou de vapeur. Cet exemple démontre un avantage majeur de la découpe laser par rapport à l'utilisation d'une matrice rotative. Un autre avantage relatif à la conversion des dispositifs microfluidiques est le faible coût exigé par la modification des formes et l'itération rapide des prototypes, car seule la programmation informatique doit être modifiée, et non l'outillage dur. Les inconvénients de la découpe au laser sont un coût d'entrée plus élevé pour les équipements laser et informatiques, ainsi qu'une limitation de la vitesse de la ligne, car les lasers nécessitent souvent un certain temps d'arrêt pour couper les matériaux.⁷

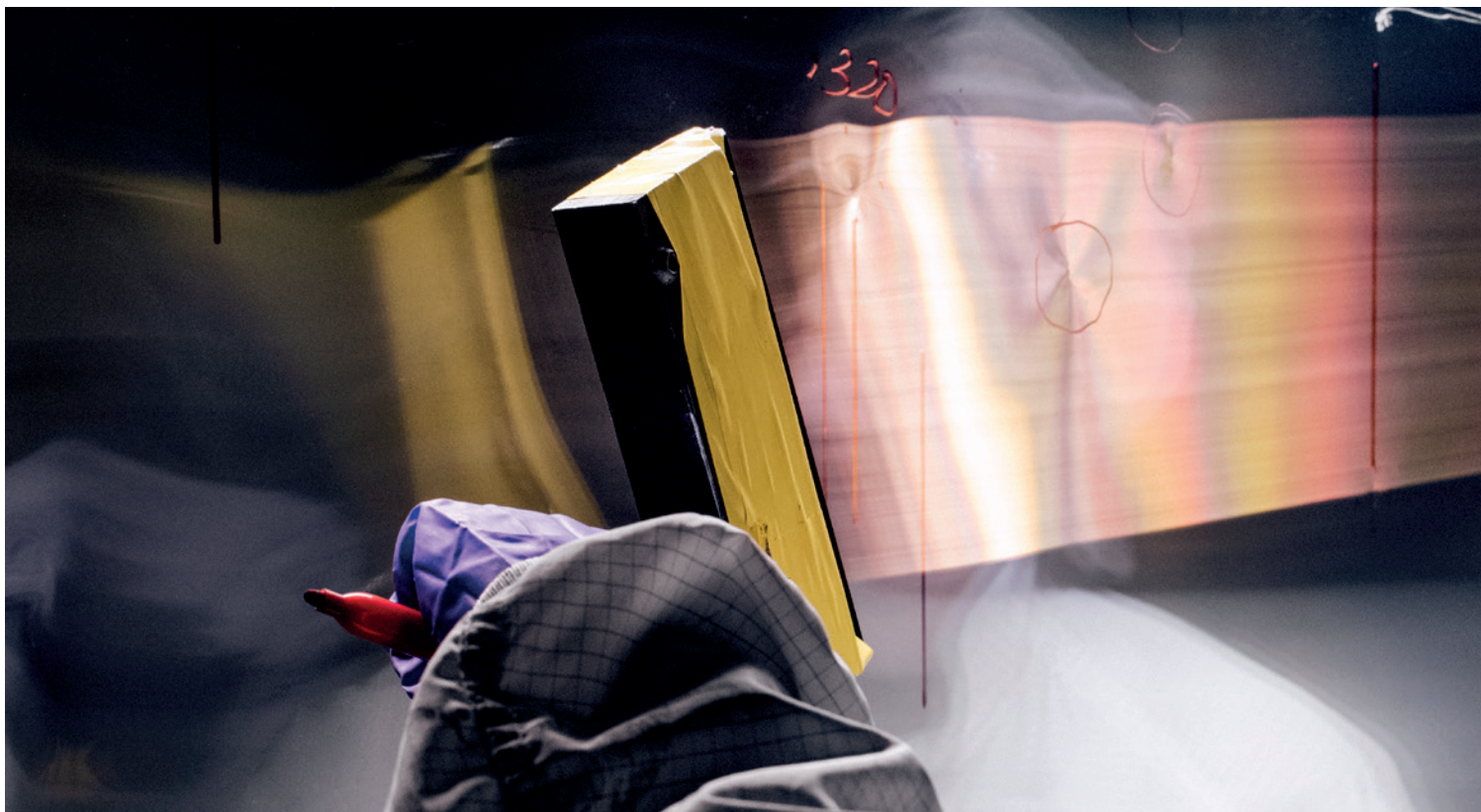
**Une remarque sur les déchets de la découpe et de l'enlèvement au laser : des précautions particulières doivent être prises pour gérer et réduire les résidus de carbonisation et d'enlèvement pendant la découpe au laser, car ils sont considérés comme des contaminants.*

Coupes traversantes et coupes à profondeur contrôlée : les coupes traversantes et les coupes à profondeur contrôlée sont les deux coupes les plus couramment utilisées lors de la conversion des dispositifs microfluidiques. Les coupes traversantes séparent les matériaux pour créer un design ou un motif spécifique. Comme son nom l'indique, ce type de coupe pénètre complètement un composant ou une pile de composants pour correspondre à un contour, généralement le périmètre global du composant du dispositif.

Les coupes à profondeur contrôlée ou « kiss » séparent une ou plusieurs couches de matériau pour obtenir une forme dimensionnelle z spécifique dans un composant ou une pile. Avec la méthode de découpe au laser, la profondeur de la coupe est contrôlée par l'intensité du laser et le temps d'exposition, alors qu'avec la méthode de la matrice rotative, elle est contrôlée par des surfaces de coupe usinées avec précision à des profondeurs répertoriées sur l'outil.

Gestion de l'échenillage et des pétouilles :

Les matrices rotatives et les lasers exigent tous deux un traitement spécial de la découpe ou de l'échenillage d'une bande coupée. Ce dernier doit être soit enroulé, soit aspiré hors de la bande découpée. Il faut également enlever les pétouilles pour les découpes rondes ou encapsulées. Celles-ci sont souvent soufflées avec des conduites d'air ou des couteaux à air. Si vous utilisez une méthode physique, par exemple des brosses rotatives ou des bouchons en mousse, pour enlever les pétouilles, il est important de s'assurer que la surface du composant n'est pas rayée ou autrement endommagée.



Conclusion

Les dispositifs microfluidiques sont extrêmement importants dans le secteur médical, pour la recherche et l'analyse des échantillons de patients. De nombreux dispositifs microfluidiques utilisent des bandes destinées à protéger les échantillons, à transporter les fluides et à faciliter la détection des échantillons. Il est essentiel de connaître et de choisir les bons matériaux et les méthodes de fabrication correspondantes lors de la conception d'un dispositif microfluidique.



Références :

¹ D. Beddus, B. Bessemer, C. Martin, « Introduction to Extrusion Principles », Killion Extruder, Inc., Cedar Grove, NJ. 31 jan. 1989.

² « Rolling Aluminum : From the Mine Through the Mill », The Aluminum Association, Inc., Arlington, VA. Troisième édition, déc. 2007. pp. « The Rolling Mill » 4-1 – 4-7. {En ligne}. Disponible à l'adresse : https://www.aluminum.org/sites/default/files/Rolling_Aluminum_From_The_Mine_Through_The_Mill.pdf. [Consulté le 21 mar. 2019].

³ « Rolling Aluminum : From the Mine Through the Mill », The Aluminum Association, Inc., Arlington, VA. Troisième édition, déc. 2007. pp. « Sheet Rolling Operations » 5-6 – 5-7. {En ligne}. Disponible à l'adresse : https://www.aluminum.org/sites/default/files/Rolling_Aluminum_From_The_Mine_Through_The_Mill.pdf. [Consulté le 21 mar. 2019].

⁴ « Rolling Aluminum : From the Mine Through the Mill », The Aluminum Association, Inc., Arlington, VA. Troisième édition, déc. 2007. pp. « Production » 2-5 – 2-6. {En ligne}. Disponible à l'adresse : https://www.aluminum.org/sites/default/files/Rolling_Aluminum_From_The_Mine_Through_The_Mill.pdf. [Consulté le 21 mar. 2019].

⁵ D. L. Chandler, « Explained : Hydrophobic and hydrophilic », MIT News, 16 juil. 2013. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <http://news.mit.edu/2013/hydrophobicand-hydrophilic-explained-0716>. [Consulté le 07 mar. 2019].

⁶ « Principles of Shear Slitting », Burriss Machine Co., Hickory, NC. pp.1-3. {En ligne}. Disponible à l'adresse : https://www.burrismachineco.com/pdfs/Principles_of_shear_slitting_burriss.pdf. [Consulté le 19 mar. 2019].

⁷ « Laser die cutting versus rotary die cutting », DeltaModTech, 12 nov. 2018. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <http://www.deltamodtech.com/blog/choosing-rightlaser-die-cutting-vs-rotary-die-cutting/>. [Consulté le 22 mar. 2019].

**Pour en savoir davantage, rendez-vous
sur le site 3M.com/MedTech**



Matériel médical et Technologies

3M France, Parvis de l'Innovation
95006 Cergy Pontoise Cedex
Téléphone : 09 69 32 14 78
Site Web : www.3MFrance.fr/medical

3M est une marque commerciale de 3M.
Veuillez recycler. Imprimé en France.
© 3M 2021. Tous droits réservés.
70-2011-7830-1
09/2001. OMG214287