



(19) **Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)**
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ



2-0003683

(51) **B29C 70/48; B29C 70/00**
2006.01

(13) **Y**

(21) 2-2024-00037

(22) 27/08/2021

(67) 1-2021-05294

(45) 25/09/2024 438

(43) 25/03/2022 408

(73) Tập đoàn Công nghiệp - Viễn thông Quân Đội (VN)

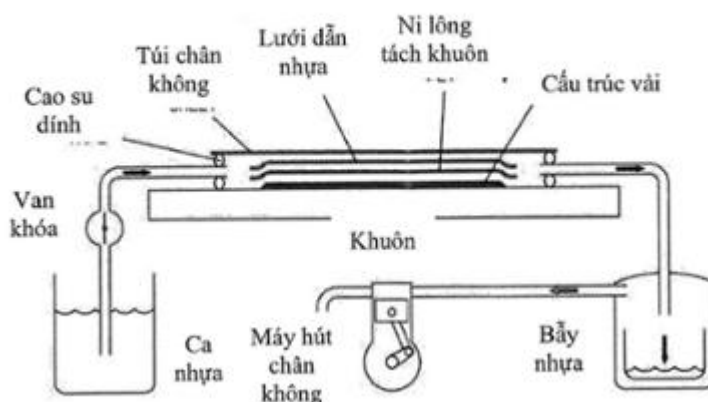
Lô D26 Khu đô thị mới Cầu Giấy, phường Yên Hoà, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội

(72) NGHIÊM CÔNG HOÀNG PHƯƠNG (VN); ĐỖ TUẤN MINH (VN); VŨ TIẾN ĐẠT (VN).

(74) Công ty TNHH NACILAW (NACILAW)

(54) PHƯƠNG PHÁP CHẾ TẠO VẬT LIỆU TỔNG HỢP SỬ DỤNG CÔNG NGHỆ HÚT CHUYÊN

(57) Giải pháp hữu ích đề xuất phương pháp chế tạo vật liệu tổng hợp sử dụng công nghệ hút chuyển cho vỏ bọc tổng hợp của ăng ten điện từ ở các dải băng tần khác nhau (đặc biệt là băng X). Giải pháp hữu ích này được thực hiện qua các bước: bước 1: lựa chọn vật liệu hợp lí; bước 2: mô phỏng dòng chảy; bước 3: chế tạo vật liệu tổng hợp. Giải pháp hữu ích đã cải tiến hoàn toàn chất lượng cho vỏ bọc tổng hợp của ăng ten về mọi yêu cầu kỹ thuật hoạt động thực tế: độ bền cơ tính, độ bền môi trường, độ trong suốt điện từ.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Giải pháp hữu ích đề cập đến phương pháp chế tạo vật liệu tổng hợp (vật liệu composite) sử dụng công nghệ hút chuyển đã được cải tiến. Cụ thể, phương pháp chế tạo vật liệu tổng hợp sử dụng công nghệ hút chuyển này được đề cập trong sáng chế được ứng dụng để chế tạo vỏ ăng ten trong suốt điện từ L, X, KU.

Tình trạng kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Hiện nay trên thế giới, vỏ bọc ăng ten hầu hết được làm bằng vật liệu tổng hợp trong suốt điện từ, xuất phát từ những ưu điểm vượt trội của vật liệu tổng hợp so với kim loại: khối lượng nhẹ, độ bền cơ tính tốt, đa dạng về ứng dụng do tính "đa thành phần" nên dễ dàng thích nghi và đáp ứng tốt các yêu cầu kỹ thuật của vỏ bọc ăng ten. Tại Việt Nam, có một số đơn vị nhà máy xí nghiệp Quốc phòng đã ứng dụng vật liệu tổng hợp để làm vỏ bọc ăng ten. Tuy nhiên, các sản phẩm vỏ bọc ăng ten bằng vật liệu tổng hợp trong nước hiện nay còn tồn tại nhiều vấn đề:

- Độ bền cơ tính thấp, do kết cấu có nhiều lỗ rỗng (kiểm soát thông số kỹ thuật của công nghệ chế tạo chưa tốt).
- Hiệu suất trong suốt điện từ kém, hầu hết chỉ đáp ứng được với dải tần số băng L (do việc lựa chọn vật liệu và công nghệ chế tạo chưa hợp lý).
- Tính thẩm mỹ chưa cao, biên dạng không đảm bảo.

Trước khi áp dụng giải pháp hữu ích này, vỏ bọc ăng ten bằng vật liệu tổng hợp đã được Viện Hàng không vũ trụ nghiên cứu, chế tạo nhưng chỉ đáp ứng được một trong hai yêu cầu về độ bền hoặc tính trong suốt điện từ theo tiêu chuẩn quân sự Mỹ MIL-R-7705B với những vấn đề cụ thể còn tồn tại như:

- Khó kiểm soát chiều dày: chiều dày thực tế thường lớn hơn so với chiều dày thiết kế. Cụ thể, với thiết kế năm lớp vải, mỗi lớp dày 0,2 mm thì chiều dày theo thiết kế là 1 mm (+0,1) tuy nhiên sản phẩm trước đây có chiều dày ~ 1,2 - 1,3 mm và thường bị dày cục bộ ở vị trí cổng vào của nhựa. Đây là một nguyên nhân khiến hiệu suất truyền qua của sóng điện từ thấp, không đảm bảo yêu cầu kỹ thuật (giá trị cao nhất được đạt là 85-86% so với 90% tại băng X).

-Với công nghệ chế tạo hút chuyển cơ bản, chất lượng phụ thuộc rất nhiều vào tay nghề người thực hiện và điều kiện môi trường, có độ tin cậy không cao.

Bản chất kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Giải pháp hữu ích đề xuất phương pháp cải tiến cho phương pháp chế tạo vật liệu tổng hợp sử dụng công nghệ hút chuyển thông thường bằng cách sử dụng lớp lõi sợi polyeste (coremat). Phương pháp cải tiến này được ứng dụng để chế tạo vỏ ăng ten trong suốt điện từ L, X, KU giải quyết các hạn chế nêu ra ở trên.

Với mục đích cải tiến chất lượng cũng như khắc phục những nhược điểm hiện có của vỏ bọc ăng ten bằng vật liệu tổng hợp đang có, nhóm tác giả đã nghiên cứu, cải tiến và phát triển công nghệ chế tạo hút chuyển (Infusion VARTM – Vacuum assisted resin Transfer molding). Để đạt được các mục đích trên, nhóm tác giả thực hiện giải pháp hữu ích gồm các bước:

Bước 1: lựa chọn vật liệu hợp lý;

Lựa chọn vật liệu tổng hợp có thành phần vật tư gồm: vải sợi gia cường vải thạch anh và nền nhựa epoxy có mô đun đàn hồi cao. Thiết kế kết cấu đối xứng: (0/90; +-45; 0/90; +-45; 0/90) tương ứng với tổng chiều dày lý thuyết là 1mm. Sợi thạch anh là vật liệu có đặc tính cách nhiệt, chịu nhiệt độ cao rất tốt với mức nhiệt độ hoạt động tối đa xấp xỉ 1200 độ C và nhiệt độ hóa dẻo 1760 độ C. Ngoài ra, sợi thạch anh có hằng số điện môi (dielectric constant - ϵ) và khả năng mất năng lượng sóng (loss tangent - $\tan\delta$) thấp, phù hợp cho các ứng dụng trong suốt điện từ. Do đó, sợi thạch anh được ứng dụng chủ yếu trong các ứng dụng công nghệ cao về nhiệt độ và điện từ. Mặt khác, nền nhựa epoxy có mô đun đàn hồi cao có độ biến dạng thấp, độ ổn định tốt, giúp cho kết cấu trở nên vững chắc hơn trong quá trình hoạt động.

Bước 2: mô phỏng dòng chảy;

Tại bước này, sử dụng phần mềm mô phỏng dòng chảy nhựa PAM - RTM với các thông số cơ bản theo phương trình Darcy cho chất lỏng Newton có độ nhớt cao và không nén được; nhằm tối ưu hóa tốc độ dòng chảy, chọn ra được giá trị vận tốc phù hợp nhất để giảm tối đa độ rỗng hình thành trong kết cấu trong quá trình thẩm thấu điền đầy của dòng chảy nhựa vào bên trong kết cấu vải sợi gia cường. Vận tốc của dòng chảy được mô phỏng được tính như sau:

$$u = - [K]. \nabla P / \mu$$

u: vận tốc dòng chảy (m/s);

[K]: ten sơ hệ số thấm của dòng chảy theo các phương hướng (m^2);

μ : độ nhớt của nhựa (Pa.s);

∇P : sự biến thiên của áp suất (Pa) theo quãng đường (x,y,z).

Ứng dụng chương trình mô phỏng dòng chảy nhựa PAM-RTM tối ưu phân bố dòng chảy (cổng vào, cổng ra) và kiểm soát thời gian chế tạo. Mặt khác, kết hợp với việc sử dụng các thiết bị đo kiểm trong quá trình chế tạo (đồng hồ đo chân không, máy phát hiện rò rỉ chân không) nhằm tiết kiệm thời gian, vật tư và nhân công cũng như nâng cao hiệu quả công nghệ chế tạo.

Bước 3: chế tạo vật liệu tổng hợp;

Sử dụng lớp lõi sợi polyeste làm phụ kiện ngăn chặn dòng nhựa kết hợp với việc duy trì dòng hút chân không -1 atm đến khi nhựa chuyển sang trạng thái dung dịch keo đặc. Việc này làm giảm đáng kể độ rỗng có trong sản phẩm, tăng cường độ đồng nhất kết cấu. Từ đó, độ bền cơ tính cũng như độ bền với môi trường được cải thiện rõ rệt.

Lớp lõi sợi polyeste không phải là loại vật liệu xa lạ, cũng giống như một số loại lõi xốp phổ biến trong lĩnh vực chế tạo vật liệu tổng hợp khác (xốp lantor soric, xốp PU...) được sử dụng với mục đích chính là tăng chiều dày trong cấu trúc dầm kẹp (cấu trúc sandwich: vỏ là cấu trúc vải sợi gia cường, lõi là xốp – foam). Đặc điểm của lớp lõi sợi polyeste này là ngăn sự thấm nhựa quá mức, hạn chế hấp thụ nhựa và giảm thiểu trọng lượng sản phẩm. Dựa vào những đặc điểm này, phương pháp đề cập trong giải pháp hữu ích đã sử dụng lớp lõi sợi polyeste như là một loại phụ kiện hỗ trợ quá trình chế tạo sản phẩm tổng hợp, đặc biệt là phương pháp chế tạo VARTM.

Điểm mới điểm sáng tạo của giải pháp hữu ích này đến từ việc thay vì sử dụng lớp lõi sợi polyeste đóng vai trò làm lõi của cấu trúc dầm kẹp như vai trò sử dụng thông thường vốn có của nó, phương pháp đề cập trong giải pháp hữu ích đã sử dụng lớp lõi sợi polyeste để làm lớp phụ kiện chặn nhựa, ngăn sự thất thoát nhựa. Nói cách khác, điểm mới điểm sáng tạo của giải pháp hữu ích này chính là việc thay đổi hoàn toàn mục đích sử dụng của lớp lõi sợi polyeste: lớp lõi sợi polyeste không còn được sử dụng như là một thành phần bên trong kết cấu dầm kẹp của vật liệu tổng hợp giống như các ứng dụng phổ biến hiện nay.

Mô tả văn tắt hình vẽ

Hình 1 là Sơ đồ cơ bản của phương pháp chế tạo vật liệu tổng hợp sử dụng công nghệ hút chuyển.

Mô tả chi tiết giải pháp hữu ích

Giải pháp hữu ích được mô tả chi tiết dưới đây có dựa vào hình vẽ kèm theo, hình vẽ này nhằm mục đích minh họa các phương án của giải pháp hữu ích mà không làm giới hạn phạm vi bảo hộ giải pháp hữu ích.

Ban đầu, khuôn được gia công cơ khí theo một mặt biên dạng của sản phẩm. Cấu trúc vải sợi gia cường được cắt sẵn theo hình dáng và tổng diện tích bề mặt của sản phẩm, được gắn lên bề mặt khuôn theo kết cấu (bao gồm: số phân lớp, định hướng góc,...) đã có sẵn theo tính toán mô phỏng. Sau đó, các lớp phụ kiện cơ bản (ni lông tách khuôn, lưới hỗ trợ dẫn nhựa) được xếp gắn trên bề mặt cấu trúc vải sợi gia cường nhằm hỗ trợ dẫn nhựa. Túi chân không (vacuum bag) được bao phủ toàn bộ hệ thống và làm kín bằng “cao su dính”. Túi chân không được kết nối với chi tiết bên trong nhờ các đường ống ruột gà nhằm tạo lực hút và duy trì chân không cho toàn bộ chi tiết. Cuối cùng, nhựa resin được dẫn vào và thẩm thấu bên trong cấu trúc từ ca nhựa. Sau khi nhựa chuyển sang trạng thái dung dịch keo đặc và sau đó đông rắn hoàn toàn, tách khuôn ta được sản phẩm.

Theo khía cạnh thứ nhất, giải pháp hữu ích đề xuất phương pháp cải tiến công nghệ chế tạo vật liệu tổng hợp bằng cách sử dụng lớp lõi sợi polyeste, ứng dụng chế tạo vỏ ăng ten trong suốt điện từ L, X, KU bao gồm:

Bước 1: lựa chọn vật liệu hợp lí;

Lựa chọn vật liệu tổng hợp có thành phần vật tư gồm: vải sợi gia cường thạch anh và nền nhựa epoxy mô đun đàn hồi cao. Thiết kế kết cấu đối xứng: (0/90; +-45; 0/90; +-45; 0/90) tương ứng với tổng chiều dày lí thuyết là 1mm; được nghiên cứu, mô phỏng kĩ lưỡng (khí động học, kiểm bền kết cấu), hạn chế tối đa độ co ngót độ lệch sau quá trình đông rắn của nhựa, đảm bảo tính ổn định tối đa cho sản phẩm khi chịu các dạng ngoại lực tác động khác nhau. Sợi thạch anh là vật liệu có đặc tính cách nhiệt, chịu nhiệt độ cao rất tốt với mức nhiệt độ hoạt động tối đa xấp xỉ 1200 độ C và nhiệt độ hóa dẻo 1760 độ C. Ngoài ra, sợi thạch anh có hằng số điện môi (dielectric constant - ϵ) và khả năng mất năng lượng sóng (loss tangent - $\tan\delta$) thấp, phù hợp cho các ứng dụng trong suốt điện từ. Do đó, sợi thạch anh được ứng dụng chủ yếu trong các ứng dụng công nghệ cao về nhiệt độ và điện từ. Mặt khác, nền nhựa epoxy có mô đun đàn hồi cao có độ biến dạng thấp, độ ổn định tốt, giúp cho kết cấu trở nên vững chắc hơn trong quá trình hoạt động.

Bước 2: mô phỏng dòng chảy;

Tại bước này, sử dụng phần mềm PAM - RTM với các thông số cơ bản theo phương trình Darcy cho chất lỏng Newton có độ nhớt cao và không nén được; nhằm tối ưu hóa tốc độ dòng chảy, chọn ra được giá trị vận tốc phù hợp nhất để giảm tối đa độ rỗng hình thành trong kết cấu trong quá trình thẩm thấu điền đầy của dòng chảy nhựa vào bên trong kết cấu vải sợi gia cường. Vận tốc của dòng chảy được mô phỏng được tính như sau:

$$u = - [K]. \nabla P / \mu$$

u: vận tốc dòng chảy (m/s);

[K]: ten sơ hệ số thấm của dòng chảy theo các phương hướng (m^2);

μ : độ nhớt của nhựa (Pa.s);

∇P : sự biến thiên của áp suất (Pa) theo quãng đường (x,y,z).

Ứng dụng chương trình mô phỏng dòng chảy nhựa PAM-RTM tối ưu phân bố dòng chảy (công vào, công ra) và kiểm soát thời gian chế tạo. Mặt khác, kết hợp với việc sử dụng các thiết bị đo kiểm trong quá trình chế tạo (đồng hồ đo chân không, máy phát hiện rò rỉ chân không) nhằm tiết kiệm thời gian, vật tư và nhân công cũng như nâng cao hiệu quả Công nghệ chế tạo.

Bước 3: chế tạo vật liệu tổng hợp;

Sử dụng lớp lõi sợi polyeste làm phụ kiện ngăn chặn dòng nhựa kết hợp với việc duy trì dòng hút chân không -1 atm đến khi nhựa chuyển sang trạng thái dung dịch keo đặc và sau đó gia nhiệt đến khi nhựa đóng cứng hoàn toàn. Việc này làm giảm đáng kể độ rỗng có trong sản phẩm, tăng cường độ đồng nhất kết cấu. Từ đó, độ bền cơ tính cũng như độ bền với môi trường được cải thiện rõ rệt.

Trong cấu trúc lớp lõi sợi polyeste có chứa những vi cầu rỗng (hình cầu nhỏ) nên không cho nhựa thấm theo phương ngang, chỉ cho phép nhựa và khí thẩm thấu qua theo phương dọc của lõi; lớp lõi sợi polyeste không phải là loại vật liệu xa lạ, là một trong số các loại kết cấu xốp trong lĩnh vực chế tạo tổng hợp như xốp lantor soric, xốp PU... được sử dụng với mục đích chính là tăng chiều dày trong cấu trúc dầm kẹp (vỏ là cấu trúc vải sợi gia cường, lõi là foam). Đặc điểm của kết cấu xốp coremat này là ngăn sự thấm nhựa quá mức, hạn chế hấp thụ nhựa và giảm thiểu trọng lượng sản phẩm. Dựa vào những đặc điểm này, nhóm tác giả đã sử dụng coremat như là một loại phụ kiện hỗ trợ quá trình chế tạo sản phẩm tổng hợp, đặc biệt là phương pháp chế tạo hút chuyên.

Điểm mới, điểm sáng tạo của giải pháp hữu ích này là ở bước 3, thay vì sử dụng lớp lõi sợi polyeste đóng vai trò làm lõi của cấu trúc dầm kẹp như vai trò sử dụng thông thường

vốn có của nó, nhóm tác giả đã sử dụng lớp lõi sợi polyeste để làm lớp phụ kiện chặn nhựa, ngăn sự thất thoát nhựa. Nói cách khác, điểm mới và điểm sáng tạo của giải pháp hữu ích này chính là việc thay đổi hoàn toàn mục đích sử dụng của lớp lõi sợi polyeste: lớp lõi sợi polyeste không còn là một thành phần bên trong kết cấu dầm kẹp của chi tiết giống như cách làm các sản phẩm tổng hợp trong công nghiệp.

Cụ thể, sử dụng lớp lõi sợi polyeste – lớp vật liệu mỏng (độ dày từ 3 đến 7 mm) có hệ số thấm [K] theo phương ngang thấp được đặt ở vị trí cổng ra (oulet – cổng hút chân không) làm giảm tối đa lượng nhựa thất thoát ra khỏi chi tiết trong khi vẫn cho dòng khí (khí lẫn trong lớp vật liệu, trong nhựa) thoát qua. Nhờ đó, khi dòng nhựa được dẫn đến gần cổng ra, quá trình hút chân không vẫn có thể duy trì liên tục đến khi nhựa đạt trạng thái gel hóa mà không gặp phải vấn đề nhựa lỏng thoát ra ngoài theo cổng hút chân không. Việc duy trì hút chân không tạo ra áp suất chân không liên tục trong suốt quá trình chế tạo giúp cho dòng chảy nhựa được duy trì tuân theo định luật Darcy áp dụng cho dòng chảy Newton, có độ nhớt cao và không nén được. Duy trì dòng chảy nhựa sẽ tối ưu hóa khả năng điền đầy của nhựa vào cấu trúc vải sợi đặc biệt là dòng chảy nhựa theo phương dọc. Nhờ đó giảm tối đa độ rỗng, tạo lực nén và duy trì dòng chảy ngang giúp cho chiều dày toàn bộ đồng đều đúng giá trị với chiều dày lý thuyết của cấu trúc vải.

Bản chất của cải tiến công nghệ này là việc duy trì áp suất chân không sau khi nhựa nền đã điền đầy sản phẩm nhờ đó chiều dày của sản phẩm sẽ được kiểm soát. Để thực hiện được việc này, nhóm tác giả đã thay đổi cách bố trí các lớp lưới dẫn nhựa và sử dụng thêm một loại vật liệu có tên là coremat trong quá trình chế tạo sản phẩm (tham chiếu Hình 1).

Trong phương pháp chế tạo cũ, dòng nhựa bị thoát ra cùng với ống hút chân không. Thông thường dòng chảy theo phương ngang – bề mặt cấu trúc vải sẽ lớn hơn dòng chảy theo phương dọc – chiều dày cấu trúc. Do đó, nếu tiếp tục duy trì hút chân không, dòng nhựa sẽ thoát ra cổng hút chân không trong khi vẫn có khả năng chưa điền đầy cấu trúc vật liệu, đặc biệt với những sản phẩm có cấu trúc vật liệu dày, khiến sản phẩm có chất lượng thấp: thiếu nhựa, độ rỗng cao, chiều dày khó kiểm soát do không duy trì được áp suất. Nếu tiếp tục duy trì hút chân không, tỉ lệ điền đầy của nhựa sẽ tốt hơn nhưng vẫn đề gặp phải là tổn nhựa (lượng nhựa thoát ra ngoài) và khó kiểm soát được thời gian bao lâu để nhựa điền đầy và gel hóa thì dừng hút chân không.

Việc lựa chọn coremat, hiểu rõ ưu điểm và sử dụng với ứng dụng khác đã tạo nên những hiệu quả đáng kể, đạt được qua những bước đo kiểm chất lượng chặt chẽ từ mức độ mẫu thí nghiệm cho đến sản phẩm hoàn thiện – vỏ bọc ăng ten bằng tổng hợp.

Ví dụ thực hiện giải pháp hữu ích

Giải pháp hữu ích sẽ trở nên rõ ràng hơn qua ví dụ chế tạo một kết cấu vỏ bọc bằng tổng hợp cho ăng ten hoạt động ở băng tần X có hình bán cầu, hiện đang được sử dụng tại Viện Hàng không Vũ trụ Viettel. Cụ thể như sau:

Các yêu cầu của Viện Hàng không Vũ trụ Viettel: vỏ ăng ten chịu được tối đa áp suất 1 atm; độ trong suốt điện từ 90% ở dải băng tần X; nhiệt độ làm việc tối đa ở 70 độ C; chiều dày tối đa 1-1,5 mm; khối lượng 2000g $\pm$ 10% (từ 1800g đến 2200g).

Để đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật của sản phẩm này, các tác giả giải pháp hữu ích đã thực hiện như sau:

- Chọn vật liệu sợi thạch anh, nhựa epoxy. Sợi thạch anh chịu được nhiệt độ cao, có chiều dày 0,2mm mỗi lớp với khối lượng bề mặt là 200 g/m². Nhựa epoxy mô đun đàn hồi cao có độ co ngót thấp, nhiệt độ hoạt động tối đa cao (80 độ C).

- Lựa chọn kết cấu có chiều dày 1mm cách sắp xếp kết cấu như sau: (0/90 ; +-45 ; 0/90 ; +-45 ; 0/90) với tổng chiều dày lý thuyết là 1mm.

- Mô phỏng chính xác vận tốc dòng chảy nhựa tối ưu nhất cho kết cấu trên bằng phần mềm PAM – RTM.

- Tối ưu hóa công nghệ chế tạo bằng cách sử dụng coremat làm phụ kiện chặn nhựa kết hợp với việc duy trì chân không liên tục đến khi nhựa chuyển sang trạng thái dung dịch keo đặc.

Hiệu quả đạt được của giải pháp hữu ích

Phương pháp cải tiến của phương pháp chế tạo vật liệu tổng hợp sử dụng công nghệ hút chuyển bằng cách sử dụng lớp lõi sợi polyeste, ứng dụng chế tạo vỏ ăng ten trong suốt điện từ L, X, KU. Vỏ bọc ăng ten là chi tiết nằm ở ngoài hệ thống ra đa thu phát tín hiệu sóng điện từ. Khi ra đa hoạt động tại các dải tần số khác nhau: băng tần L, X, KU (sắp xếp tăng dần theo độ lớn của tần số), vỏ bọc ăng ten có nhiệm vụ bảo vệ hệ thống thiết bị điện tử bên trong khỏi các yếu tố môi trường như: sức gió, nhiệt độ, độ ẩm, bụi, mưa đá, tia UV,... Do đó, kết cấu vỏ ăng ten phải đảm bảo yêu cầu về độ bền cơ tính, độ bền môi trường. Đặc biệt, tính năng hoạt động quan trọng nhất của vỏ ăng ten là khả năng trong suốt sóng điện từ để đảm bảo hoạt động thu phát tín hiệu của thiết bị điện tử bên trong.

Ứng dụng cho một vỏ bọc cơ bản hoạt động ở dải băng tần X của Viện Hàng không Vũ trụ Viettel được thể hiện như bảng dưới đây:

Chỉ tiêu đánh giá	Hút chuyển chưa cải tiến	Hút chuyển cải tiến với kết cấu xếp coremat	Ưu điểm
Cơ tính (độ bền kéo)	307,225 MPa	387,75 MPa	Tăng 26%
Tỉ lệ thành phần (V_f , V_r , V_p) ^(*)	$V_f = 42,385 \%$ $V_r = 45,815 \%$ $V_p = 11,8 \%$	$V_f = 46,175 \%$ $V_r = 50,325 \%$ $V_p = 3,5 \%$	Tăng V_f , giảm đáng kể độ rỗng $\rightarrow$ cơ tính tăng
Độ đồng nhất chiều dày (với chiều dày lý thuyết 1 mm)	Chiều dày trung bình: 1,2 mm Độ dao động: $\pm 0,18$ mm	Chiều dày trung bình: 1,023 mm Độ dao động: $\pm 0,08$ mm	Tăng độ đồng đều chiều dày, đồng nhất bề mặt
Khối lượng TB	2100 g	1976 g	Giảm 6%
Hiệu suất truyền sóng điện từ	87,5 %	90%	Đạt yêu cầu kĩ thuật của sản phẩm
Quá trình thi công chế tạo	- $m_r = 1,5$ Kg- Thời gian thi công: $t = 12$ h- Không khắc phục được sự cố mất chân không	- $m_r = 0,7$ Kg- Thời gian thi công: $t = 10$ h- Khắc phục được trường hợp mất chân không	Giảm 50% m_r . Tiết kiệm 2 tiếng thi công và có khả năng khắc phục sự cố trong quá trình chế tạo.
Độ tin cậy	70%	90%	Tăng 20%

(*) V_f : tỉ lệ thể tích của vải sợi gia cường

V_r : tỉ lệ thể tích của nhựa

V_p : tỉ lệ thể tích của lỗ rỗng

m_r : khối lượng của nhựa nền

Mặc dù các mô tả nêu trên chứa nhiều chi tiết cụ thể, chúng không được coi là giới hạn về phương án thực thi giải pháp hữu ích, mà chỉ nhằm mục đích minh họa một số phương án thực thi được ưu tiên.

Yêu cầu bảo hộ

1. Phương pháp chế tạo vật liệu tổng hợp sử dụng công nghệ hút chuyển bao gồm:
bước 1: lựa chọn vật liệu hợp lí:

lựa chọn vật liệu tổng hợp có thành phần vật tư gồm: vải sợi gia cường thạch anh và nền nhựa epoxy có mô đun đàn hồi cao; thiết kế kết cấu đối xứng: (0/90; +-45; 0/90; +-45; 0/90) tương ứng với tổng chiều dày lí thuyết là 1mm;

- bước 2: mô phỏng dòng chảy:

sử dụng phần mềm mô phỏng dòng chảy nhựa PAM - RTM với các thông số cơ bản theo phương trình Darcy cho chất lỏng Newton có độ nhớt cao và không nén được; nhằm tối ưu hóa tốc độ dòng chảy, chọn ra được giá trị vận tốc phù hợp nhất để giảm tối đa độ rỗng hình thành trong kết cấu trong quá trình thẩm thấu điền đầy của dòng chảy nhựa vào bên trong kết cấu vải sợi gia cường; vận tốc của dòng chảy được mô phỏng được tính như sau:

$$u = - [K] \cdot \nabla P / \mu$$

u: vận tốc dòng chảy (m/s);

[K]: ten sơ hệ số thấm của dòng chảy theo các phương hướng (m²);

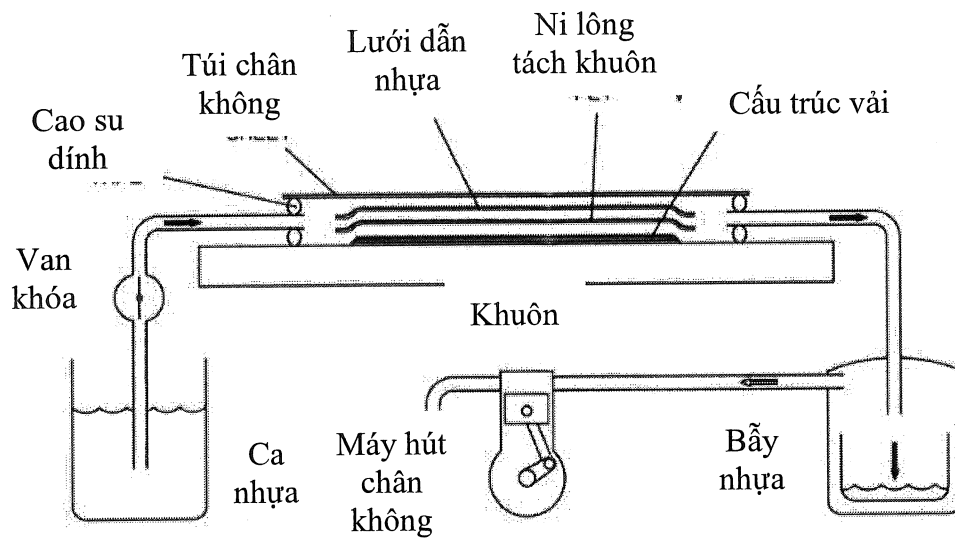
μ : độ nhớt của nhựa (Pa.giây);

∇P : sự biến thiên của áp suất (Pa) theo quãng đường (x,y,z);

ứng dụng chương trình mô phỏng dòng chảy nhựa PAM - RTM tối ưu phân bố dòng chảy (cổng vào, cổng ra) và kiểm soát thời gian chế tạo, mặt khác, kết hợp với việc sử dụng các thiết bị đo kiểm trong quá trình chế tạo (đồng hồ đo chân không, máy phát hiện rò rỉ chân không) nhằm tiết kiệm thời gian, vật tư và nhân công cũng như nâng cao hiệu quả công nghệ chế tạo;

- bước 3: chế tạo vật liệu tổng hợp;

sử dụng lớp lõi sợi polyeste (coremat) làm phụ kiện ngăn chặn dòng nhựa kết hợp với việc duy trì dòng hút chân không -1 atm đến khi nhựa chuyển sang trạng thái dung dịch keo đặc.



Hình 1