



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

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

(11)



1-0050250

(51)^{2021.01} C04B 14/38; D01F 9/12; C25B 1/135;
C25B 1/50; C04B 111/00; C04B 28/04

(13) B

(21) 1-2021-02272

(22) 29/10/2019

(86) PCT/US2019/058674 29/10/2019

(87) WO 2020/092449 07/05/2020

(30) 62/752,124 29/10/2018 US; 62/890,719 23/08/2019 US

(45) 25/08/2025 449

(43) 26/07/2021 400A

(73) C2CNT, LLC (US)

625 West Venice Avenue, Venice, Florida 34285, United States of America

(72) LICHT, Stuart (US); LICHT, Gad (US).

(74) Công ty Luật TNHH WINCO (WINCO LAW FIRM)

(54) PHƯƠNG PHÁP TẠO RA VẬT LIỆU COMPOSIT

(21) 1-2021-02272

(57) Sáng chế đề cập đến phương pháp tạo ra vật liệu composit bao gồm các bước: cấp chất có vết cacbon cao thứ nhất; cấp vật liệu nano cacbon được tạo ra có vết cacbon nhỏ hơn 10 trọng lượng đơn vị của mức phát thải cacbon dioxit (CO_2) trong quá trình sản xuất 1 trọng lượng đơn vị của vật liệu nano cacbon; và tạo ra composit bao gồm chất có vết cacbon cao và vật liệu nano cacbon với lượng từ 0,001% trọng lượng đến 25% trọng lượng, trong đó vật liệu nano cacbon được phân tán đồng nhất trong composit để làm giảm mức phát thải cacbon dioxit đối với việc sản xuất vật liệu composit so với chất có vết cacbon cao.

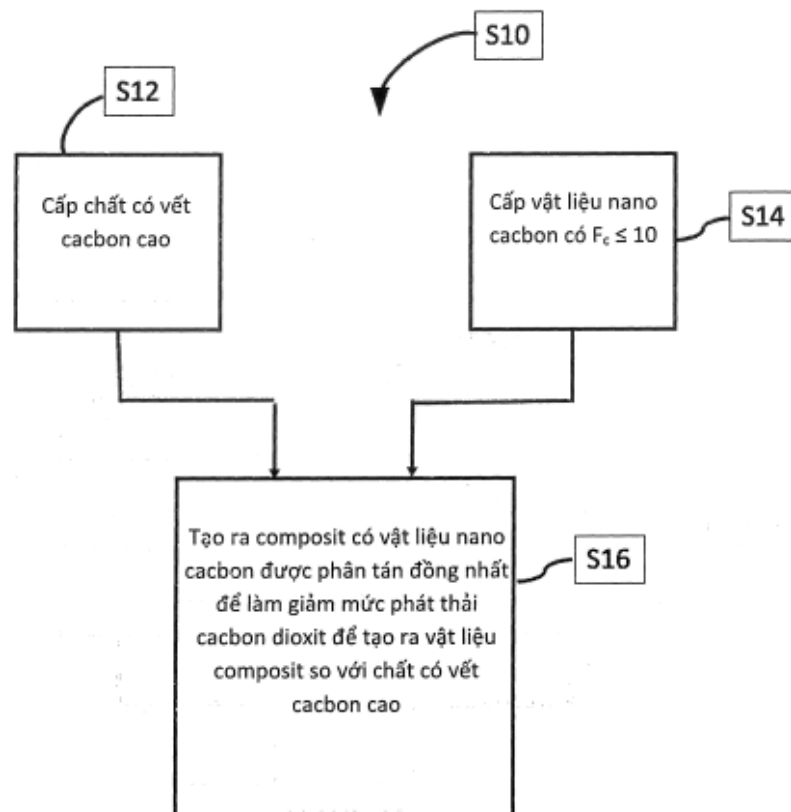


Fig.2

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến việc sử dụng vật liệu nano cacbon được tạo ra có vết cacbon thấp để tạo ra composit có mức phát thải CO₂ thấp và các phương pháp liên quan.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Các vật liệu kết cấu, như xi măng, kim loại, hoặc tương tự, là hữu dụng trong các ứng dụng và các ngành khác nhau. Ví dụ, xi măng và kim loại là hữu dụng cho việc xây dựng công trình, cầu và đường; và các kim loại là hữu dụng để sản xuất phương tiện vận tải và thiết bị công nghiệp và thiết bị tiêu dùng. Vật liệu kết cấu thích hợp cho ứng dụng cụ thể có thể yêu cầu độ bền cơ học nhất định và các tính chất vật lý khác, mà có thể đặt ra giới hạn về thiết kế và chi phí của dự án hoặc sản phẩm xây dựng nhất định. Việc sử dụng rộng rãi vật liệu kết cấu góp phần đáng kể vào sự phát thải cacbon dioxid toàn cầu và sự thay đổi khí hậu. Chất phụ gia sử dụng với vật liệu kết cấu có thể tạo ra composit, hợp kim hoặc hỗn hợp có tính chất mong muốn được cải thiện, vật liệu lớp, vật liệu cách điện, hoặc vách thạch cao có thể tạo ra composit, hợp kim hoặc hỗn hợp có tính chất mong muốn được cải thiện.

Thường mong muốn nâng cao tính chất của vật liệu kết cấu bởi các chất phụ gia để tạo ra composit, hợp kim hoặc hỗn hợp có tính chất mong muốn được cải thiện. Ví dụ về các tính chất mong muốn bao gồm độ bền kéo, độ bền nén và độ bền uốn và tính bền lâu. Theo cách tương tự, các chất phụ gia sử dụng với các vật liệu khác như vật liệu dẫn điện, thủy tinh, gốm, giấy, nhựa, polyme, hoặc chất dẻo, vật liệu lớp bìa các tông, vật liệu cách điện, hoặc vách thạch cao có thể tạo ra composit, hợp kim hoặc hỗn hợp có tính chất mong muốn được cải thiện, Ví dụ về các tính chất mong muốn bao gồm độ dẫn điện hoặc cách điện, độ dẫn nhiệt hoặc cách nhiệt, thể tích hoặc trọng lượng nhỏ, tính chống gãy, độ mềm dẻo và độ bền.

Các chất phụ gia để tạo ra composit có các tính chất mong muốn được nâng cao cũng có thể có các nhược điểm bao gồm tính phức tạp kỹ thuật, tính phức tạp trong việc tạo ra composit như vậy, sự thiếu các tính chất mong muốn trong chất phụ gia, hoặc tính không đồng nhất của chất phụ gia, hoặc tính phức tạp của việc tăng quy mô,

hoặc tính khan hiếm của chất phụ gia khiến cho composit có chi phí rất cao, và mức phát thải cacbon dioxit gia tăng trong quá trình sản xuất chúng góp phần vào mức phát thải cacbon dioxit toàn cầu và sự thay đổi khí hậu. Hơn nữa, việc sản xuất vật liệu kết cấu, hoặc vật liệu dẫn điện, thủy tinh, gốm, giấy, polyme, nhựa chất dẻo, vật liệu lớp bìa các tông, vật liệu cách điện, hoặc vách thạch cao mới thường đi kèm với vết cacbon lớn. Ví dụ, sản phẩm thép không gỉ thông thường có vết cacbon bằng 6,15 tấn CO₂ phát thải cho một tấn thép tạo ra. Việc sản xuất nhôm thường phát thải 11,9 tấn CO₂ cho một tấn sản phẩm; việc sản xuất titan thường phát thải 8,1 tấn CO₂ cho một tấn sản phẩm; việc sản xuất magie thường phát thải 14 tấn CO₂ cho một tấn sản phẩm và việc sản xuất đồng thường phát thải 5 tấn CO₂ cho một tấn sản phẩm. Thường mong muốn tạo ra vật liệu có vết cacbon giảm. Vết cacbon giảm phát thải khí nhà kính cacbon dioxit ít hơn. Cacbon dioxit góp phần vào sự thay đổi khí hậu, mà có các tác động bất lợi bao gồm sự ấm lên của trái đất, mực nước biển tăng, hạn hán, lũ lụt, sự kiện thời tiết khắc nghiệt, tổn thất kinh tế, tác động bất lợi đến sức khỏe và mất môi trường sống và tuyệt chủng các loài.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Sáng chế đề xuất phương pháp kết hợp chất có vết cacbon cao, như các vật liệu kết cấu, như xi măng, kim loại, gỗ hoặc tương tự, hoặc vật liệu dẫn điện, thủy tinh, gốm, giấy, polyme hoặc chất dẻo, vật liệu lớp bìa các tông, vật liệu cách điện, hoặc vách thạch cao, để tạo ra composit với vật liệu nano cacbon có vết cacbon thấp, được trộn dễ dàng, quy mô công nghiệp, hiệu quả về mặt chi phí để làm giảm mức phát thải cacbon dioxit đối với việc sản xuất vật liệu composit so với chất có vết cacbon cao.

Theo một khía cạnh, sáng chế đề xuất phương pháp tạo ra vật liệu có vết cacbon giảm bao gồm các bước: cấp chất có vết cacbon cao thứ nhất cần được chuyển hóa thành composit có tính chất (hoặc các tính chất) được cải thiện; cấp vật liệu bao gồm vật liệu nano cacbon được tạo ra có vết cacbon nhỏ hơn 10 trọng lượng đơn vị của mức phát thải cacbon dioxit (CO₂) trong quá trình sản xuất 1 trọng lượng đơn vị của vật liệu nano cacbon; và tạo ra composit bao gồm vật liệu kết cấu thứ nhất và vật liệu nano cacbon với lượng từ 0,001% trọng lượng đến 25% trọng lượng của, trong đó vật liệu nano cacbon được phân tán đồng nhất trong composit.

Trong phương pháp của đoạn trên, vết cacbon có thể nằm trong khoảng từ 1 đến

10, hoặc từ 0 đến 1. Vết cacbon có thể là âm, mà có thể chỉ báo mức tiêu thụ cacbon dioxit thực trong quá trình sản xuất vật liệu nano cacbon. Vật liệu nano cacbon có thể bao gồm ống nano cacbon thẳng mà không bị rối để phân tán dễ dàng trong composit. Vật liệu nano cacbon có thể bao gồm sợi nano cacbon. Sợi nano cacbon có thể có tỷ lệ kích thước trung bình trong khoảng từ 10 đến 1000 và độ dày trong khoảng từ 3 nm đến 999 nm. Sợi nano cacbon có thể bao gồm ống nano cacbon. Sợi nano cacbon có thể bao gồm ống nano cacbon xoắn. Sợi nano cacbon có thể bao gồm sợi nano cacbon không rối. Vật liệu nano cacbon có thể bao gồm củ nano cacbon. Vật liệu nano cacbon có thể bao gồm giàn nano cacbon. Vật liệu nano cacbon có thể bao gồm tấm nhỏ nano. Vật liệu nano cacbon có thể bao gồm graphen. Phương pháp có thể bao gồm việc bổ sung vật liệu gia cường vào pha rắn, pha lỏng, hoặc pha khí của vật liệu kết cấu để tạo ra composit. Phương pháp có thể bao gồm việc phân tán vật liệu nano cacbon trong chất lỏng để tạo ra hỗn hợp thứ nhất, trộn hỗn hợp thứ nhất này với vật liệu kết cấu để tạo ra hỗn hợp thứ hai, và tạo ra composit từ hỗn hợp thứ hai. Chất lỏng có thể bao gồm nước. Vật liệu nano cacbon có thể được tạo ra từ cacbonat nóng chảy bằng cách điện phân. Cacbonat nóng chảy có thể được tạo ra bởi phản ứng của cacbon dioxit và kim loại oxit trong chất điện phân nóng chảy. Kim loại oxit có thể là lithi oxit. Cacbonat nóng chảy có thể bao gồm lithi cacbonat, cacbonat được lithi hóa hoặc hỗn hợp cacbonat kim loại kiềm và/hoặc kiềm thổ. Vật liệu kết cấu có thể bao gồm xi măng, bê tông, vữa trát, hoặc vữa lỏng. Vật liệu kết cấu có thể bao gồm kim loại, như một hoặc nhiều kim loại trong số nhôm, thép, magie, và titan. Vật liệu kết cấu có thể bao gồm chất dẻo. Vật liệu kết cấu có thể bao gồm polyme. Vật liệu kết cấu có thể bao gồm gỗ. Vật liệu kết cấu có thể bao gồm bìa các tông. Vật liệu kết cấu có thể bao gồm vật liệu lớp. Vật liệu kết cấu có thể bao gồm vách thạch cao. Các chất có vết cacbon cao khác có thể bao gồm nhựa, gốm, thủy tinh, và vật liệu cách điện hoặc vật liệu dẫn điện. Vật liệu nano cacbon có thể có kích cỡ vùng nhỏ hơn 1000 μm trong composit. Composit có thể bao gồm vật liệu nano cacbon với lượng từ 0,01% trọng lượng đến 1% trọng lượng, hoặc từ 0,01% trọng lượng đến 0,5% trọng lượng, hoặc từ 0,01% trọng lượng đến 0,3% trọng lượng, hoặc từ 0,01% trọng lượng đến 0,1% trọng lượng.

Theo một khía cạnh khác, sáng chế đề xuất composit được tạo ra theo phương pháp được mô tả ở đây.

Theo một khía cạnh khác, sáng chế đề xuất việc sử dụng vật liệu nano cacbon

được tạo ra có vết cacbon nhỏ hơn 10 trọng lượng đơn vị của mức phát thải cacbon dioxit (CO_2) trong quá trình sản xuất 1 trọng lượng đơn vị của vật liệu nano cacbon, để gia cường vật liệu kết cấu.

Theo một khía cạnh khác, sáng chế đề xuất việc sử dụng vật liệu nano cacbon trong composit bao gồm vật liệu kết cấu để gia cường vật liệu kết cấu, trong đó vật liệu nano cacbon được tạo ra có vết cacbon nhỏ hơn 10 trọng lượng đơn vị của mức phát thải cacbon dioxit (CO_2) trong quá trình sản xuất 1 trọng lượng đơn vị của vật liệu nano cacbon.

Theo một khía cạnh khác, sáng chế đề xuất việc sử dụng vật liệu nano cacbon được tạo ra có vết cacbon thấp trong composit bao gồm vật liệu kết cấu và vật liệu nano cacbon, để làm giảm mức phát thải tổng thể của cacbon dioxit (CO_2) trong quá trình sản xuất composit, trong đó vết cacbon thấp là vết cacbon nhỏ hơn 10 trọng lượng đơn vị của mức phát thải CO_2 trong quá trình sản xuất 1 trọng lượng đơn vị của vật liệu nano cacbon. Vật liệu nano cacbon có thể được tạo ra từ cacbonat nóng chảy bằng cách điện phân. Composit có thể là composit được mô tả ở đây.

Các khía cạnh và dấu hiệu khác của sáng chế sẽ trở nên rõ ràng với người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này dựa trên việc xem xét phần mô tả sau về các phương án cụ thể của sáng chế kết hợp với các hình vẽ kèm theo.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Trên các hình vẽ, mà thể hiện, chỉ để làm ví dụ, các phương án của sáng chế,

Fig.1A là ảnh kính hiển vi điện tử quét (scanning electron microscope: SEM) của ống nano cacbon mẫu được tạo ra từ cacbonat nóng chảy bằng cách điện phân;

Fig.1B là ảnh chụp ống thủy tinh chứa hỗn hợp của nước và ống nano cacbon được phân tán đồng nhất trong nước;

Fig.1C là ảnh chụp vật liệu composit được tạo ra từ hỗn hợp trên Fig.1B;

Fig.2 là sơ đồ khối thể hiện quy trình sản xuất ví dụ để sản xuất composit gồm vật liệu kết cấu và vật liệu nano cacbon, theo một phương án của sáng chế;

Fig.3 là sơ đồ khối thể hiện các thách thức của các cách sản xuất composit vật liệu kết cấu-vật liệu nano cacbon để làm giảm vật liệu kết cấu có vết cacbon, và loại bỏ các chương ngại thành vật liệu kết cấu mới hơn;

Fig.4 là sơ đồ khối của hệ thống điện phân để tạo ra vật liệu nano cacbon từ

cacbonat nóng chảy và cacbon dioxit;

Fig.5 là các ảnh chụp việc xây dựng nhà máy C2CNT chuyển hóa hàng ngày 2 tấn CO_2 ;

Fig.6 thể hiện phổ Raman của ống nano cacbon mẫu;

Fig.7 thể hiện phổ Raman của củ nano cacbon mẫu;

FIG.8 thể hiện phổ Raman của các mẫu của graphen và tấm nhỏ cacbon;

Fig.9 thể hiện giàn nano cacbon mẫu;

Fig.10 thể hiện ống nano cacbon xoắn mẫu;

Fig.11 thể hiện mẫu thử của thành phần vật liệu nano cacbon dạng vật liệu lớp;

và

Fig.12 thể hiện ví dụ về xi măng và nhôm có sự giảm CO_2 nhờ việc bổ sung ống nano cacbon.

Mô tả chi tiết sáng chế

Đã nhận thấy rằng vật liệu nano cacbon có thể được sử dụng để tạo ra composit có các tính chất được nâng cao. Tuy nhiên, vật liệu nano cacbon thông thường được sản xuất có vết cacbon lớn, được tạo ra với chi phí cao, và thường tạo ra vật liệu rối xoắn mà không dẫn đến sự phân tán đồng nhất cần thiết cho composit chất lượng cao. Cho đến nay việc sản xuất lớn (thương mại) vật liệu nano cacbon đã được thực hiện bởi các biến thể của sự tổng hợp lắng đọng hơi hóa học (chemical vapor deposition: CVD). Ví dụ, phương pháp thông thường điển hình để tạo ra ống nano cacbon (CNT) sử dụng sự tổng hợp CVD. Sự tổng hợp CVD đối với CNT thường tạo ra CNT xoắn và rối mà không dẫn đến việc trộn đơn giản. Các CNT rối và xoắn có xu hướng kết tụ trong hỗn hợp chứa nước, và bởi vậy khó được phân tán đồng nhất trong composit trên cơ sở hỗn hợp nước, như xi măng hoặc bê tông. Sự phân bố CNT không đều trong xi măng hoặc bê tông sẽ làm ảnh hưởng đến tính nguyên vẹn sản phẩm và làm giảm việc sử dụng hiệu quả vật liệu gia cường. Sự tổng hợp CVD sử dụng kim loại hữu cơ đắt tiền (hoặc các hỗn hợp của kim loại và chất hữu cơ), ở nồng độ loãng và năng lượng rất cao. Điều này yêu cầu chi phí điều chế cao và dẫn đến giá thị trường cao (ví dụ trên \$100000 cho 1 tấn đối với CNT, và trên \$1000000 cho 1 tấn đối với graphen. Do đó sẽ là không thực tế và kinh tế nếu sử dụng ống nano cacbon được sản xuất bởi quy trình CVD để sản xuất composit. Hơn nữa, quy trình CVD cũng có vết cacbon lớn, ví dụ,

phát thải lên đến 600 tấn CO₂ để sản xuất 1 tấn vật liệu nano cacbon (V. Khanna, B. R. Bakshi, L. J. Lee, J. Ind. Ecology, 12 (2008) 394-410). Như được sử dụng ở đây, thuật ngữ “vết cacbon” của sản phẩm cụ thể thường đề cập đến lượng cacbon dioxit (CO₂) phát thải trong quá trình sản xuất sản phẩm cụ thể này. Sự diễn đạt “vết cacbon”, được ký hiệu F_c , được sử dụng ở đây để thể hiện số đo cụ thể của vết cacbon, F_c = số trọng lượng đơn vị của CO₂ phát thải trong quá trình sản xuất 1 trọng lượng đơn vị của sản phẩm. F_c có thể được tính dưới dạng tỷ lệ trọng lượng của tổng CO₂ phát thải trong quá trình sản xuất và sản phẩm cụ thể được sản xuất trong quá trình sản xuất, F_c = (trọng lượng của CO₂ phát thải trong quá trình sản xuất)/(trọng lượng của sản phẩm được sản xuất). Vì vậy CVD có vết cacbon khoảng $F_c = 600$. Thách thức kỹ thuật khác nữa trong việc sản xuất composit gồm xi măng và sợi nano cacbon như ống nano cacbon (CNT) đó là CNT được sản xuất bởi CVD có thể bị rối cao và có xu hướng kết tụ trong hỗn hợp chứa nước và bởi vậy khó được phân tán đồng nhất trong bê tông. Sự phân bố không đều của CNT trong bê tông sẽ làm ảnh hưởng đến tính nguyên vẹn sản phẩm và làm giảm việc sử dụng hiệu quả vật liệu gia cường.

Vật liệu nano cacbon có vết cacbon thấp có thể được tạo ra từ cacbonat nóng chảy bằng cách điện phân, với chi phí thấp và sử dụng CO₂ làm chất phản ứng, ví dụ dưới dạng quy trình C2CNT (CO₂ thành ống nano cacbon). Tuy nhiên các thách thức kỹ thuật đã ngăn chặn việc tăng quy mô của quy trình và vật liệu vẫn khan hiếm. Trong khi, ví dụ về các CNT C2CNT đã được gọi là “thẳng”, mỗi ví dụ về các CNT được tạo nhóm đã tổng hợp thể hiện là thấy bị rối, và xoắn hoặc móc, mặc dù bị xoắn ít hơn các CNT được biểu thị là “rối”. Các CNT rối và xoắn có xu hướng kết tụ, và bởi vậy khó được phân tán đồng nhất trong composit. Trong các ví dụ C2CNT, thẳng đề cập đến cụ thể đến các CNT chứa liên kết sp³ ít hơn trong số các khiếm khuyết cacbon và CNT rối chứa nhiều khiếm khuyết sp³ hơn. Các quy trình ví dụ để tạo ra vật liệu nano cacbon từ cacbonat nóng chảy bằng cách điện phân được bộc lộ trong, ví dụ, Licht và các đồng tác giả, “Transformation of the greenhouse gas CO₂ by molten electrolysis into a wide controlled selection carbon nanotubes”, *J. CO₂ Utilization*, 2017, tập 18, trang 335-344; Ren và các đồng tác giả, “One-pot synthesis of carbon nanofibers from CO₂”, *Nano Lett.*, 2015, tập 15, trang 6142-6148; Johnson và các đồng tác giả, “Carbon nanotube wools made directly from CO₂ by molten electrolysis: Value driven pathways to cacbon dioxit greenhouse gas mitigation”, *Materials Today*

Energy, 2017, trang 230-236; Johnson và các đồng tác giả, “Data on SEM, TEM and Raman Spectra of doped, and wool carbon nanotubes made directly from CO₂ by molten electrolysis”, *Data in Brief*, 2017, tập 14, trang 592-606; Ren và các đồng tác giả, “Tracking airborne CO₂ mitigation and low cost transformation into valuable carbon nanotubes”, *Scientific Reports, Nature*, 2016, tập 6, trang 1-10; Licht và các đồng tác giả, “Carbon nanotubes produced from ambient carbon dioxide for environmentally sustainable lithium-ion and sodium-ion battery anodes”, *ACS Cent. Sci.*, 2015, tập 2, trang 162-168; Dey và các đồng tác giả, “How does amalgamated Ni cathode affect carbon nanotube growth? A density functional theory study”, *RSC Adv.*, 2016, tập 6, trang 27191-27196; Wu và các đồng tác giả, “One-pot synthesis of nanostructured carbon material from carbon dioxide via electrolysis in molten carbonate salts”, *Carbon*, 2016, tập 106, trang 208-217; Lau và các đồng tác giả, “Thermodynamic assessment of CO₂ to carbon nanofiber transformation for carbon sequestration in a combined cycle gas hoặc a coal power plant”, *Energy Convers. Manag.*, 2016, tập 122, trang 400-410; Licht, “Co-production of cement and carbon nanotubes with a carbon negative footprint”, *J. CO₂ Utilization*, 2017, tập 18, trang 378–389; Ren và các đồng tác giả, “Transformation of the greenhouse gas CO₂ by molten electrolysis into a wide controlled selection of carbon nanotubes”, *J. CO₂ Utilization*, 2017, tập 18, trang 335–344; Licht và các đồng tác giả, “A new solar carbon capture process: solar thermal electrochemical photo (STEP) carbon capture”, *J. Phys. Chem. Lett.*, 2010, tập 1, trang 2363–2368; Licht, “STEP (Solar Thermal Electrochemical Photo) Generation of Energetic Molecules: A Solar Chemical Process to End Anthropogenic Global Warming”, *J. Phys. Chem. C*, 2009, tập 113, trang 16283-16292; Wang và các đồng tác giả, “Exploration of alkali cation variation on the synthesis of carbon nanotubes by electrolysis of CO₂ in molten electrolytes”, *J. CO₂ Utilization*, 2019, tập 34, trang 303-312; Liu và các đồng tác giả, “Carbon nano-onions made directly from CO₂ by molten electrolysis for greenhouse gas mitigation”, *Adv. Sustainable Syst.*, 2019, tập 3, 1900056; Licht và các đồng tác giả, “Amplified CO₂ reduction of greenhouse gas emissions with C2CNT carbon nanotube composit”, *Mater. Today Sustainability*, 2019, tập 6, 100023; US 9758881 của Licht, có tiêu đề “Process for electrosynthesis of energetic molecules”; US 9683297 của Licht, có tiêu đề “Apparatus for molten salt electrolysis with solar photovoltaic electricity supply

and solar thermal and heating of molten salt electrolysis”; US 2019/0039040 của Licht, có tiêu đề “Methods and systems for carbon nanofiber production”; WO2016/138469 của Licht và các đồng tác giả, có tiêu đề “Methods and systems for carbon nanofiber production”; WO2018/093942 của Licht, có tiêu đề “Methods and systems for production of elongated carbon nanofibers”; và WO2018/156642 của Licht, có tiêu đề “Methods and systems for production of doped carbon nanomaterials”.

Trong sự mô tả vắn tắt, theo một khía cạnh, sáng chế đề xuất quy trình sản xuất composit có mức phát thải cacbon dioxit giảm trong đó composit có chất có vết cacbon cao được tạo ra có vết cacbon thấp, vật liệu nano cacbon (CNM) có thể phân tán dễ dàng. Trước công trình được mô tả ở đây, đã cho rằng CNM chỉ được sản xuất hàng loạt có vết cacbon cao ở chi phí cao, và có vấn đề rồi. CNM có vết cacbon thấp có thể được sản xuất, nhưng cũng bị rồi, không thể được phân tán đồng đều trong composit, và không được sản xuất hàng loạt. Bất ngờ là đã thấy rằng CNM có vết cacbon thấp có thể được sản xuất theo kiểu không rồi, chi phí thấp, được sản xuất hàng loạt, và được phân tán dễ dàng trong chất có vết cacbon cao tạo ra composit có vết cacbon thấp.

Một cách thuận tiện, vật liệu nano cacbon được sản xuất từ cacbonat nóng chảy bằng cách điện phân có thể được sản xuất có vết cacbon tương đối thấp và chi phí tương đối thấp, so với vật liệu nano cacbon được sản xuất bằng các phương pháp thông thường khác như tổng hợp lắng đọng hơi hóa học (chemical vapor deposition: CVD), tổng hợp dùng lửa, hoặc tổng hợp plasma. Ở đây, chi phí thấp đề cập đến (i) chi phí liên quan đến sản xuất nhôm, mà có chi phí nhỏ hơn \$2000 cho 1 tấn, và (ii) đến chi phí sao cho chi phí một mình chất phụ gia CNM không lớn hơn chi phí của một mình chất có vết cacbon cao thô được sử dụng trong composit. Ở đây, chi phí cao đề cập đến chi phí như hơn \$100000 hoặc hơn \$1000000 cho 1 tấn như thông thường trong việc sản xuất thương mại CNM bằng cách lắng đọng hóa học.

Tuy nhiên, cacbonat nóng chảy trước đây tạo ra CNM có các thách thức kỹ thuật với việc tăng quy mô, như tăng quy mô đến điện cực kích cỡ công nghiệp, liên kết dòng cao tương thích với cacbonat nóng chảy nhiệt độ cao, và quản lý chất phản ứng khí CO₂ trong các điều kiện công nghiệp. Hơn nữa, tất cả các phương pháp tổng hợp nóng chảy trước đây tạo ra CNM mà bị rồi, xoắn hoặc xếp chồng. Sự rồi, xoắn

hoặc xếp chồng là trở ngại kỹ thuật với việc tách dễ dàng và phân tán đồng nhất đồng đều CNM cần thiết cho composit đồng nhất.

Như được thể hiện trên Fig.1A, các điều kiện mới của sự điện phân cacbonat nóng chảy tạo ra CNM mà không rối, xoắn hoặc xếp chồng. Việc sản xuất CNM bằng cách điện phân cacbonat nóng chảy cho phép kiểm soát đáng kể sản phẩm CNM bằng cách kiểm soát các điều kiện điện phân như lựa chọn vật liệu điện cực, thành phần chất điện phân và nhiệt độ. Như được thể hiện trên Fig.1A, các điều kiện mới gồm nhiệt độ 740°C , chất điện phân gồm (theo % trọng lượng) 73% Li_2CO_3 , 17% Na_2CO_3 , và 10% LiBO_2 , sử dụng catot đồng thau Muntz và anot Inconel tạo ra ống nano cacbon thẳng đồng đều. Ảnh kính hiển vi điện tử quét (SEM) của sản phẩm CNT được thể hiện. Sản phẩm CNT được tạo ra ở hiệu suất culông cao bằng 97,5% (97,5% điện tích áp dụng dẫn đến khối CNT theo sự giảm 4 electron của CO_2).

CNT không rối trên Fig.1A là kỳ nước, nhưng được phân tán đồng đều dễ dàng trong nước được tạo điều kiện thuận lợi bởi thời gian siêu âm ngắn. Khi trộn huyền phù CNT được phân tán đồng đều trong nước với xi măng Portland, hỗn hợp thu được được đúc dễ dàng thành composit CNT-xi măng, CNT tạo ra với lượng 0,048% trọng lượng được bổ sung vào xi măng Portland để tạo ra composit CNT-xi măng. Đã thấy rằng nhỏ hơn 0,75 trọng lượng đơn vị của composit có thể tạo ra độ bền cơ học giống như 1 trọng lượng đơn vị của xi măng nguyên chất, mức giảm khối lượng ít nhất là 25%. Sự giảm khối lượng của chất có vết cacbon cao, xi măng, được tạo ra bởi composit với CNM có vết cacbon thấp có cùng độ bền, yêu cầu ít xi măng hơn để sản xuất, làm giảm mức phát thải cacbon dioxit đối với việc sản xuất vật liệu composit so với chất có vết cacbon cao.

Theo một phương án ưu tiên, chất có vết cacbon cao được kết hợp với vật liệu nano cacbon có vết cacbon thấp tạo ra composit có mức phát thải cacbon dioxit giảm so với chất có vết cacbon cao. Theo một phương án ưu tiên vật liệu nano cacbon có vết cacbon thấp là có thể ở quy mô công nghiệp, và tạo ra vật liệu nano cacbon không rối. Theo một phương án ưu tiên khác, chất có vết cacbon cao là vật liệu kết cấu, như xi măng, kim loại, gỗ hoặc tương tự. Theo một phương án ưu tiên khác, chất có vết cacbon cao là vật liệu dẫn điện, thủy tinh, gốm, giấy, polyme hoặc chất dẻo, vật liệu lớp bìa các tông, vật liệu cách điện, hoặc vách thạch cao.

“Vết cacbon thấp” đề cập ở đây đến vết cacbon có $F_c \leq 10$. Quy trình hoặc sản

phẩm được tạo ra không có sự phát thải CO_2 hoặc có mức tiêu thụ CO_2 thực cũng được xem là có vết cacbon thấp, trong đó $F_c \leq 0$.

Việc sản xuất CNM từ cacbonat nóng chảy bằng cách điện phân tiêu thụ CO_2 dưới dạng chất phản ứng, và bởi vậy có vết cacbon âm.

Các tác giả sáng chế đã nhận thấy rằng các nhược điểm nêu trên gồm chi phí cao, tác động tiêu cực đến môi trường, và các khó khăn kỹ thuật đều có thể góp phần vào việc sử dụng hạn chế vật liệu nano cacbon được sản xuất bởi CVD và các phương pháp thông thường tương tự khác trong các ứng dụng thương mại và công nghiệp.

Khi vật liệu nano cacbon được bổ sung vào vật liệu kết cấu như bê tông hoặc kết cấu kim loại, vật liệu composit thu được có thể có các tính chất cơ học được cải thiện như độ bền kéo, độ bền nén và độ bền uốn được cải thiện. Ví dụ, đã được chứng tỏ rằng ống nano cacbon (CNT) có độ bền kéo lên đến khoảng 93900 MPa và việc bổ sung một lượng nhỏ CNT, như nhỏ hơn 0,05% trọng lượng, nhỏ hơn 0,8% trọng lượng, hoặc nhỏ hơn 1% trọng lượng, vào xi măng có thể tạo ra composit ống nano cacbon-xi măng (CNT-xi măng) có các tính chất cơ học được cải thiện. Ví dụ, độ bền kéo, độ bền nén và độ bền uốn của composit có thể cao hơn so với độ bền của xi măng thô, như bằng 45% trong trường hợp cụ thể.

Fig.2 thể hiện quy trình ví dụ S10 theo một phương án của sáng chế.

Như được thể hiện, chất có vết cacbon cao được cấp ở S12. Chất này, dưới dạng ví dụ, có thể là vật liệu kết cấu mà được sử dụng chủ yếu để tạo ra cấu trúc vật lý hoặc hỗ trợ cấu trúc vật lý khi xem xét các tính chất cơ học của vật liệu, trái với các tính chất khác của nó như tính chất điện, tính chất từ, tính chất điện từ, hoặc tính chất hóa học. Vật liệu kết cấu thông dụng bao gồm bê tông, xi măng, vữa trát, vữa lỏng, kim loại như thép, nhôm, sắt, magie, titan, hoặc hợp kim, gỗ, bìa cứng hoặc bìa các tông, chất dẻo, composit, hoặc tương tự. Cần lưu ý rằng trong một số ứng dụng, vật liệu kết cấu có thể được lựa chọn theo các tính chất khác của nó ngoài các tính chất cơ học của nó.

Vật liệu kết cấu được cấp ở S12 có thể thu được, được tạo ra hoặc được điều chế bằng phương pháp bất kỳ, bao gồm các phương pháp thông thường được người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này biết rõ.

Ví dụ, xi măng có thể được sản xuất bằng cách sử dụng quy trình khô hoặc ướt. Theo một số phương án, xi măng có thể được sản xuất nhờ sự kết hợp hóa học có kiểm

soát của canxi, silic, nhôm, sắt và các thành phần khác được người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này biết rõ. Các thành phần được sử dụng để sản xuất xi măng có thể bao gồm đá vôi, đá vò sò, và đá phấn hoặc đá macrơ được kết hợp với đá phiến, đất sét, đá acđoa, xỉ lò cao, cát silic oxit, và quặng sắt. Các thành phần này có thể được gia nhiệt ở nhiệt độ cao để tạo ra chất giống như đá, mà tiếp đó được nghiền thành bột mịn để tạo ra xi măng. Bê tông bao gồm việc bổ sung các cốt liệu bao gồm cát, tro mịn hoặc đã nghiền.

Trong quy trình sản xuất xi măng và/hoặc bê tông thông thường, vật liệu thô được nghiền mịn, hoặc huyền phù đặc của các nguyên liệu được trộn với nước, có thể được cấp vào lò ở đỉnh của lò. Đầu dưới của lò có ngọn lửa, mà có thể được tạo ra bằng cách điều khiển chính xác sự đốt cháy than dạng bột, dầu, hoặc các nhiên liệu khác hoặc các khí dưới lực hút cưỡng bức. Khi các vật liệu di chuyển qua lò, các nguyên tố nhất định được thoát ra ở dạng khí, và các nguyên tố còn lại hợp nhất để tạo ra clinke mà được lấy ra hoặc xả ra khỏi lò và được làm nguội. Clinker đã làm nguội có thể được nghiền và trộn với lượng nhỏ thạch cao và đá vôi. Trong quy trình khô, các nguyên liệu được nghiền mà không được trộn với nước. Trong quy trình ướt, các nguyên liệu được nghiền với nước trước khi được cấp vào lò. Đá vôi đã gia nhiệt giải phóng cacbon dioxit, việc nung đá vôi, việc xử lý và đốt nhiên liệu phát thải khí nhà kính cacbon dioxit trong việc sản xuất xi măng và bê tông.

Vật liệu kết cấu kim loại hoặc hợp kim cũng có thể được tạo ra theo các phương pháp đã biết. Như với xi măng hoặc bê tông, trong khi vật liệu kết cấu kim loại hoặc hợp kim là rất phổ biến nhờ việc sử dụng rộng rãi của chúng trong xây dựng, vận tải, và đỡ và đóng gói hàng hóa, ion chất có vết cacbon trong sản phẩm của chúng có vết cacbon cao góp phần vào sự ấm lên của trái đất và sự thay đổi khí hậu.

Vật liệu nano cacbon được cấp ở S14. Vật liệu nano cacbon không được sản xuất bằng các phương pháp thông thường như CVD, phóng điện hồ quang hoặc cắt laze mà có vết cacbon cao, mà được sản xuất bằng quy trình có vết cacbon thấp có $F_c \leq 10$, như $F_c \leq 5$, $F_c \leq 3$, $F_c \leq 1$, hoặc $F_c \leq 0$. Theo một số phương án, $F_c < 0$, trong đó vật liệu nano cacbon được tạo ra với mức tiêu thụ CO_2 thực. Theo một số phương án, F_c nằm trong khoảng từ 0 đến 1.

S16 kết hợp chất có vết cacbon cao S12 và vật liệu nano cacbon có vết cacbon thấp S14 để tạo ra composit chắc hơn yêu cầu chất có vết cacbon cao ban đầu ít hơn.

Để so sánh, Fig.3 thể hiện quy trình có thể có 20 với các cách có thể có khác nhau 21, 31, 41, 51, 61, và 71 để tạo ra composit, và các thách thức của các cách tạo ra composit vật liệu hiện có-vật liệu nano cacbon 21, 31, 41 để làm giảm vật liệu có vết cacbon, và loại bỏ các trở ngại với chất có vết cacbon mới hơn mà có thể được sản xuất theo một phương án của sáng chế, như bởi các cách 51, 61 và 71.

Cụ thể, với cách có thể có 21, chất có vết cacbon cao có thể được kết hợp với vật liệu nano cacbon có vết cacbon thấp ở 22. Tuy nhiên, cách 21 ngăn cản, như được thể hiện bởi dấu gạch chéo (X) ở 23, sự tạo ra composit có vết cacbon thấp 24, do vết cacbon cao của cả chất có vết cacbon cao lẫn vật liệu nano cacbon. Bởi vậy, người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này sẽ không có động cơ để thực hiện cách 21 để tạo ra vật liệu composit có vết cacbon thấp 24.

Với cách có thể có 31, chất có vết cacbon có thể được kết hợp với vật liệu nano cacbon đắt tiền ở 32. Tuy nhiên, chi phí cao không khuyến khích người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này thực hiện cách 31, và người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này sẽ không có động cơ để thực hiện cách 31, như được thể hiện bởi dấu gạch chéo (X) ở 33, để tạo ra vật liệu composit có vết cacbon thấp hơn 34.

Như được thể hiện với cách có thể có 41, vật liệu nano cacbon được sản xuất bởi phương pháp thông thường ở 42 mà có xu hướng rời và không thể được phân tán đồng nhất trong chất có vết cacbon cao là không thích hợp để tạo ra chất có vết cacbon cao có vết cacbon thấp hơn 44, như được thể hiện bởi dấu gạch chéo (X) ở 43. Cần hiểu rằng sự phân tán vật liệu nano cacbon đồng đều có thể tạo ra các tính chất cải thiện của composit CNM. Tuy nhiên, CNM được tạo ra với thể tích cao bởi các phương pháp thông thường hiện có thường bị kết tụ hoặc rời, bởi vậy làm cho chúng không thích hợp để phân tán.

Trong sự so sánh, theo một số phương án của sáng chế, một hoặc nhiều cách 51, 61, 71 có thể được thực hiện để làm giảm vết cacbon tạo ra.

Theo một số phương án được mô tả ở đây, vật liệu composit rẻ tiền và có vết cacbon thấp có thể được tạo ra bằng cách thực hiện cách 51. Theo cách 51, ở 57 chất có vết cacbon có thể được kết hợp với vật liệu nano cacbon có vết cacbon thấp được tạo ra ở 52, để tạo ra vật liệu composit chắc hơn ở 57 mà làm giảm lượng chất có vết cacbon cao được sử dụng để đạt được cùng một độ bền. Việc giảm lượng chất có vết

cacbon cao sử dụng sẽ làm giảm mức phát thải cacbon dioxit trong việc tạo ra chất có vết cacbon cao để làm giảm vết cacbon của vật liệu composit 57 so với chất có vết cacbon cao ban đầu. Các yếu tố hoặc các bước xử lý khác nhau trong việc tạo ra vật liệu nano cacbon ở 52 có thể góp phần vào việc giảm vết cacbon tạo ra. Ví dụ, như được thể hiện ở 53, vết cacbon thấp hơn trong việc sản xuất vật liệu nano cacbon có thể đạt được tạo ra vật liệu nano cacbon sử dụng CO_2 dưới dạng chất phản ứng. Như được thể hiện ở 54, độ phản ứng dễ dàng hơn có thể góp phần vào sự giảm vết cacbon tạo ra. Như được thể hiện ở 55, bước xử lý mà yêu cầu năng lượng thấp hơn và/hoặc năng lượng phát thải cacbon dioxit ít hơn có thể góp phần vào sự giảm vết cacbon tạo ra.

Trong cách 61, chất có vết cacbon cao được kết hợp với vật liệu nano cacbon có chi phí thấp mà được tạo ra ở 62 với chi phí sản xuất thấp, để tạo ra composit 64 có vết cacbon thấp. Cách 61 có thể tạo ra vật liệu composit rẻ tiền hơn 64 có độ bền tăng, mà cũng làm giảm lượng chất có vết cacbon cao dùng để đạt được cùng một độ bền và làm giảm vết cacbon của vật liệu composit so với chất có vết cacbon cao ban đầu.

Trong cách 71, chất có vết cacbon cao được kết hợp với vật liệu nano cacbon được tạo ra ở 72 và được thay đổi đối với sự nâng cao tính chất composit CNM cụ thể để tạo ra composit 74. Ví dụ về CNM được thay đổi có thể bao gồm CNM được pha bo để cải thiện độ dẫn điện composit CNM cũng như độ bền, CNT có thành dày để cải thiện độ bền nén composit CNT, hoặc CNT dài để cải thiện độ bền uốn composit CNT. CNM được thay đổi được kết hợp với chất có vết cacbon cao có thể được kết hợp để tạo ra vật liệu composit có vết cacbon thấp hơn mong muốn ở 74.

Vật liệu nano cacbon có thể được tạo ra ở dạng sợi nano cacbon như sợi đóng kín hoặc ống nano cacbon (CNT) của sợi nhỏ nano rắn được độn rắn. Ống nano cacbon (CNT) có thể là CNT một thành (SWCNT) hoặc CNT nhiều thành (MWCNT). Thích hợp là sợi nano cacbon có thể không bị rối, tức là không có sự rối hoặc có mức rối thấp, vì các lý do được nêu dưới đây.

Theo một số phương án vật liệu nano cacbon, có thể là sợi nano cacbon có tỷ lệ kích thước trung bình nằm trong khoảng từ 10 đến 1000. Sợi nano cacbon có thể có độ dày nằm trong khoảng từ 3 nm đến 999 nm.

Theo một số phương án, vật liệu nano cacbon có thể bao gồm củ nano cacbon, giàn nano cacbon, tấm nhỏ nano cacbon, hoặc graphen.

Theo một số phương án, vật liệu nano cacbon được cấp ở S14 có thể bao gồm hỗn hợp của các dạng khác nhau, bao gồm các dạng được mô tả ở trên.

Fig.4 thể hiện hệ thống ví dụ 100 để sản xuất ống nano cacbon từ cacbonat nóng chảy bằng cách điện phân. Cũng xem các hệ thống tương tự được mô tả chi tiết trong WO 2017/066295 và WO 2016/138469.

Cacbonat nóng chảy có thể là lithi cacbonat hoặc cacbonat được lithi hóa. Cacbonat nóng chảy, như lithi cacbonat Li_2CO_3 , mà có điểm nóng chảy 723°C , hoặc cacbonat có điểm nóng chảy thấp hơn như LiBaCaCO_3 , có điểm nóng chảy 620°C , khi được trộn với các oxit có độ tan cao, như Li_2O và BaO , duy trì sự hấp thụ nhanh CO_2 từ CO_2 xả ra môi trường. Các cacbonat thích hợp có thể bao gồm cacbonat kiềm và kiềm thổ. Cacbonat kiềm có thể bao gồm các cacbonat lithi, natri, kali, rubidi, xesi, hoặc franxi, hoặc các hỗn hợp của chúng. Cacbonat kiềm thổ có thể bao gồm các cacbonat beryli, magie, canxi, stronti, bari, hoặc radi, hoặc các hỗn hợp của chúng.

Nồng độ cao hơn của cacbonat có các vị trí cacbon hóa trị bốn có thể khử hoạt động liên kề với vị trí khử hoạt động ở catot làm giảm năng lượng và tạo điều kiện thuận lợi cho sự chuyển điện tích dẫn đến tốc độ khử cacbonat cao ở điện thế điện phân thấp. CO_2 có thể được sục vào cacbonat nóng chảy bổ sung lại cacbonat được chuyển hóa thành cacbon, và trong quá trình điện phân, oxy được tạo ra ở anot trong khi cacbon rắn dày tạo ra ở catot. Cacbon rắn thu được có thể là vật liệu nano cacbon như sợi nano cacbon hoặc ống nano cacbon.

Chất tạo nhân kim loại chuyển tiếp có thể được bổ sung trong quá trình điện phân cacbonat nóng chảy. Kim loại chuyển tiếp tạo ra các vị trí tạo nhân mà cho phép phát triển vật liệu nano cacbon. Chất tạo nhân kim loại chuyển tiếp ví dụ bao gồm niken, sắt, coban, đồng, titan, crom, mangan, zirconi, molipden, bạc, cadimi, vanadi, thiếc, ruteni, hoặc hỗn hợp của chúng.

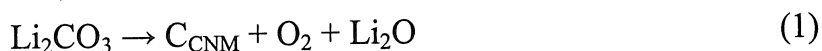
Hệ thống 100 tạo ra vật liệu nano cacbon từ vật liệu cacbonat nóng chảy và CO_2 được phun. Hệ thống 100 bao gồm lò cacbonat 102, buồng điện phân 104, và bộ gom 106. Mặc dù lò 102, buồng điện phân 104, và bộ gom 106 được thể hiện dưới dạng các bộ phận tách biệt trên Fig.2, nhưng chúng có thể được bố trí và hợp nhất trong cùng một kết cấu hữu hình. Buồng điện phân 104 bao gồm buồng 110 giữ cacbonat nóng chảy được tạo ra bằng cách gia nhiệt cacbonat trong lò 102. Anot 112 và catot 114 được nối với nguồn điện 116. Anot 112 và catot 114 được luồn vào trong buồng 110.

CO₂ được phun vào cacbonat nóng chảy từ nguồn CO₂ 118. Khí CO₂ được phun vào cacbonat nóng chảy để phản ứng với oxit và làm mới lại, chứ không phải tiêu thụ, cacbonat, đối với toàn bộ phản ứng điện phân khi CO₂ được chuyển hóa thành O₂ ở anot 112 và vật liệu nano cacbon ở catot 114.

Nguồn CO₂ bất kỳ có thể được sử dụng làm nguồn CO₂ 118. Ví dụ, không khí môi trường có thể tạo ra nguồn CO₂. Khí phát thải từ các nhà máy khác nhau hoặc các thiết bị phản ứng hóa học có thể tạo ra nguồn CO₂. Ví dụ, các nhà máy tạo ra điện, thiết bị tạo ra hơi nước, hoặc thiết bị phản ứng nhiệt phân có thể phát thải CO₂. CO₂ phát thải từ hệ thống 100 hoặc trong việc tạo ra chất có vết cacbon cao có thể cũng có thể được sử dụng làm nguồn CO₂.

Theo một số phương án, trong quá trình hoạt động, lò cacbonat 102 gia nhiệt cacbonat, như Li₂CO₃ nguyên chất, đến điểm nóng chảy của nó để tạo ra cacbonat nóng chảy. Kim loại chuyển tiếp được bổ sung qua bộ phận phân tán mà có thể là anot để dùng làm chất tạo nhân. Cacbonat nóng chảy được cho qua bước điện phân bằng cách được đưa vào giữa anot 112 và catot 114 trong buồng điện phân 104. Phản ứng thu được tách cacbon ra khỏi cacbonat và để lại sản phẩm cacbon trên catot 114 từ các vị trí tạo nhân. Sản phẩm cacbon thu được được thu gom trong bộ gom 106 trong khi oxy được tạo ra trên anot 112.

Theo một số phương án, cacbonat nóng chảy có thể là lithi cacbonat, Li₂CO₃, và kim loại oxit có thể là lithi oxit, Li₂O. Vật liệu nano cacbon, như ống nano cacbon, có thể được tạo ra trong phản ứng được thể hiện bởi:



CO₂ môi trường tan nhanh chóng và theo cách tỏa nhiệt trong chất điện phân, phản ứng hóa học với lithi oxit để làm mới lại và tạo lại Li₂CO₃,



Sự điện phân, theo công thức (1), giải phóng Li₂O để cho phép hấp thụ tiếp tục CO₂, theo công thức (2). Thực hiện các phản ứng thực của các công thức (1) và (2), CO₂ được tách bằng cách điện phân để tạo ra vật liệu nano cacbon và oxy, theo phản ứng thực:



Như được thể hiện bởi công thức (3), CO₂ được tách và oxy được giải phóng trong khi cacbon rắn được tạo ra ở catot 114.

Theo các phương án khác, các cacbonat khác nhau, hoặc hỗn hợp cacbonat, có thể được sử dụng để thay thế lithi cacbonat. Trong trường hợp như vậy, các công thức (1) và (2) có thể được cải biến tương ứng nhưng công thức (3) có thể vẫn giữ nguyên, như có thể được hiểu bởi người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này.

Kim loại chuyển tiếp, như Ni hoặc Cr, có thể được bổ sung để tạo nhân tạo ra CNM. Kim loại chuyển tiếp bổ sung có thể nhỏ hơn 0,1% trọng lượng của sản phẩm. Kim loại chuyển tiếp hoặc chất tạo nhân có thể được bổ sung vào chất điện phân hoặc vào catot 114, hoặc có thể được bổ sung bằng cách ngâm chiết ra khỏi anot 112.

Lò và buồng điện phân trong hệ thống 100 có thể được cấp năng lượng bởi nguồn năng lượng bất kỳ hoặc các nguồn năng lượng kết hợp, bao gồm nguồn năng lượng điện và nguồn năng lượng mặt trời. Nhiệt được cấp bởi phản ứng tỏa nhiệt của sự hấp thụ cacbon dioxit và chuyển hóa thành cacbonat.

Vật liệu nano cacbon tạo ra có thể có sợi nano như cấu trúc ống nano. Ví dụ, sợi nano cacbon có thể được tạo ra ở catot 114 khi anot 112 là anot niken và sự điện phân được tiến hành ở nhiệt độ thấp hơn không có ăn mòn ở 630°C có chất điện phân $\text{Li}_{1.6}\text{Ba}_{0.3}\text{Ca}_{0.1}\text{CO}_3$.

Vật liệu nano cacbon tạo ra cũng có thể có cấu trúc vô định hình và cấu trúc tấm nhỏ. Ví dụ, khi anot 112 là anot platin (và không chứa niken hoặc lớp phủ niken) và cacbonat Li_3CO_2 được gia nhiệt đến nhiệt độ khoảng 730°C, tấm nhỏ cacbon có thể được tạo ra, mà đã được tạo ra một phần graphene/graphit nhiều lớp và có thể chứa cacbon với lượng lớn hơn 99% trọng lượng.

Như được mô tả trong tài liệu chuyên ngành nêu trên, loại và đặc tính của vật liệu nano cacbon được tạo ra bằng cách sử dụng hệ thống 100 có thể phụ thuộc vào, và bởi vậy được kiểm soát bằng cách điều chỉnh mức dòng điện, thành phần của chất điện phân, nhiệt độ phản ứng, độ nhớt của chất điện phân, lượng vật liệu chuyển tiếp có mặt, và vật liệu catot và vật liệu anot.

Ví dụ, anot 112 có thể bao gồm platin, iridi, và niken. Trong chất điện phân lithi cacbonat, sự ăn mòn niken ở anot 112 là chậm và là hàm của mật độ dòng anot, thời gian điện phân, nhiệt độ, độ nhớt, và nồng độ lithi oxit.

Một cách thuận tiện, việc tạo ra sợi nano cacbon từ cacbonat nóng chảy và CO_2 bằng cách điện phân có thể tạo ra sợi nano cacbon đồng nhất, mà có thể được phân tán thuận tiện đồng nhất trong vật liệu kết cấu như sẽ được mô tả thêm. Cụ thể,

đã được thể hiện trong tài liệu chuyên ngành rằng sự có mặt của niken ở anot 112 có thể được kiểm soát để niken có thể có tác dụng như chất tạo nhân để tạo điều kiện thuận lợi cho việc tạo ra sợi nano cacbon đồng nhất.

Cũng đã được thể hiện rằng sợi nano cacbon được tạo ra bằng cách điện phân trong Li_2CO_3 nóng chảy nguyên chất, không có sự bổ sung Li_2O , có thể là không rời, đồng nhất, và dài một cách nhất quán. Sợi nano cacbon thu được có thể là ống nano đồng nhất có độ rộng từ 0,3 đến 1 μm và độ dài từ 20 đến 200 μm , với tỷ lệ kích thước nằm trong khoảng từ 20 đến 600.

Các chất phụ gia có thể được bổ sung vào chất điện phân nóng chảy để kiểm soát các tính chất của vật liệu nano cacbon tạo ra. Một số chất phụ gia, như niken, có thể tác dụng không chỉ dưới dạng các vị trí tạo nhân, mà còn dưới dạng chất độn trong các ống nano rỗng được tạo ra. Các chất phụ gia khác với các oxit hoặc muối kim loại chuyển tiếp cũng có thể có tác dụng như chất độn hoặc chất phủ vật liệu nano cacbon, hoặc được sử dụng để tác động đến độ nhớt của chất điện phân. Ví dụ, cả muối silicat lẫn aluminat vô cơ đều có thể tan cao trong lithi cacbonat nóng chảy. Nồng độ cao của muối aluminat hoặc silicat vô cơ có thể làm tăng độ nhớt của chất điện phân.

Như được mô tả ở trên, điện thế điện phân áp dụng cao, thường quá $\sim 3\text{V}$ trong quá trình điện phân, có thể tạo ra lithi kim loại, nhôm kim loại hoặc silic với, trên hoặc trong vật liệu nano cacbon.

Các loại vật liệu nano khác nhau có thể được tạo ra bằng cách kiểm soát quy trình điện phân, điều kiện, và các vật liệu có mặt trong chất điện phân và ở anot. Ví dụ, như được mô tả trong tài liệu chuyên ngành, ống nano cacbon thẳng và không rời có thể được tạo ra từ chất điện phân cacbonat nóng chảy nếu Li_2O không được bổ sung trong quá trình điện phân. Trái lại, ống nano cacbon rời có thể được tạo ra nếu Li_2O được bổ sung vào chất điện phân cacbonat nóng chảy trong quá trình sản xuất. Các điều kiện khuếch tán trong quá trình tách điện phân CO_2 trong lithi cacbonat nóng chảy có thể được điều chỉnh để kiểm soát dù sợi nano cacbon tạo ra là sợi đặc (sợi nano được độn) hoặc ống nano cacbon rỗng hay không. Nồng độ oxit và kim loại chuyển tiếp có thể được điều chỉnh để kiểm soát thêm sự tạo ra sợi rời hoặc sợi thẳng (không rời). Đối với mục đích phân tán đồng nhất thuận tiện vật liệu nano cacbon trong vật liệu kết cấu, sợi nano không rời đồng nhất có kích cỡ đồng đều hơn được mong muốn hơn, và có thể được tạo ra bằng cách sử dụng hệ thống 100.

Nguồn điện dùng cho hệ thống 100 có thể nguồn điện như nguồn năng lượng điện được tạo ra bởi nhà máy điện dùng than, khí tự nhiên, mặt trời, gió, thủy nhiệt, hoặc nhà máy điện hạt nhân. Dưới dạng thay thế cho các nguồn điện được tạo ra thông thường, vật liệu nano cacbon có thể được tạo ra bằng cách sử dụng dòng điện được tạo ra bởi pin mặt trời.

Các nguồn CO_2 thay thế có thể được sử dụng, mà có thể bao gồm các oxit của chất đồng vị ^{12}C , ^{13}C hoặc ^{14}C của cacbon, hoặc hỗn hợp của chúng. Ví dụ, $^{12}\text{CO}_2$ có thể là thích hợp để tạo ra ống nano cacbon rỗng trong các điều kiện nhất định. Trong các điều kiện tương tự, việc bổ sung $^{13}\text{CO}_2$ nặng hơn vào cacbonat nóng chảy có thể tạo điều kiện thuận lợi cho việc tạo ra sợi nano cacbon lõi đặc.

CO_2 môi trường đã được bổ sung để tạo ra ống nano cacbon nhiều thành theo quy trình được mô tả ở đây.

Bằng cách kiểm soát các điều kiện điện phân, theo cách khác sản phẩm tạo ra có thể bao gồm graphite vô định hình hoặc graphen.

Theo một số phương án, hệ thống 100 trên Fig.2 có thể được sử dụng để chuyển hóa khí CO_2 hòa tan trong chất điện phân cacbonat nóng chảy bằng cách điện phân ở anot niken và ở catot thép mạ kẽm. Ở anot 112, sản phẩm là O_2 và ở catot 114 thì sản phẩm chứa sợi nano cacbon đồng đều, mà có thể là ống nano cacbon. Ống nano cacbon có thể được ưa thích nếu sự điện phân được thực hiện ở mật độ dòng thấp hơn của cacbonat nóng chảy không có chất điện phân Li_2O bổ sung.

Cacbon vô định hình có thể được tạo ra ở catot thép không có việc sử dụng kim loại chuyển tiếp anot. Việc sử dụng catot thép (mạ kẽm) phủ kẽm và anot không phải kim loại chuyển tiếp trong việc điện phân có thể tạo ra vật liệu nano cacbon hình cầu. Việc sử dụng catot thép (mạ kẽm) phủ kẽm và anot không phải kim loại chuyển tiếp trong việc điện phân nhưng với lượng sắt cao từ sắt oxit hòa tan trong chất điện phân có thể tạo ra cacbon vô định hình cũng như nhiều cấu trúc nano cacbon khác nhau trên catot.

Kim loại kẽm trên catot có thể làm giảm năng lượng để tạo ra cacbon và giúp khởi đầu quy trình tạo ra ống nano cacbon hoặc sợi nano cacbon. Sự có mặt của kim loại kẽm có thể có tác dụng như chất trợ giúp có lợi vì chất này thích hợp về mặt năng lượng để hoạt hóa cả (i) sự tự tạo ra cacbon rắn từ cacbonat lẫn (ii) sự tự tạo ra nhân xúc tác kim loại mà trợ giúp khởi đầu sự phát triển cấu trúc có kiểm soát của vật liệu

nano cacbon ở vị trí tạo nhân. Do đó kẽm tạo điều kiện thuận lợi cho sự phát triển vật liệu nano cacbon hiệu suất cao tiếp theo từ CO_2 hòa tan trong cacbonat nóng chảy.

Catot 114 và anot 112 có thể có các hình dạng bất kỳ. Ví dụ, anot 112 và catot 114 có thể là dây được cuộn, lưới, kim loại xốp, tấm dẫn, hoặc tấm đệm phẳng hoặc tấm đệm được gập. Chúng cũng có thể tạo ra mặt trong của buồng điện phân 104.

Cũng cần lưu ý rằng theo một số phương án, khi mật độ dòng tương đối cao được áp dụng trong việc điện phân, cacbon vô định hình và các cấu trúc nano cacbon khác nhau có thể được tạo ra nhiều hơn. Khi mật độ dòng thấp ban đầu và tiếp đó mật độ dòng cao được áp dụng kết hợp với Li_2O trong chất điện phân cacbonat nóng chảy, sợi nano cacbon đồng đều hiệu suất cao nhưng bị xoắn có thể được tạo ra ở catot 114. Khi mật độ dòng thấp ban đầu và tiếp đó mật độ dòng cao được áp dụng kết hợp với chất điện phân cacbonat nóng chảy không có Li_2O , sợi nano cacbon hoặc ống nano cacbon thẳng đồng đều hiệu suất cao được tạo ra ở catot 114.

Tóm lại, trong quá trình điện phân CO_2 để tạo ra vật liệu nano cacbon, sự lắng đọng kim loại chuyển tiếp có thể kiểm soát sự tạo nhân và hình thái của cấu trúc nano cacbon. Sự khuếch tán có thể kiểm soát sự tạo ra ống nano cacbon khi phát triển từ CO_2 có nhiều trong tự nhiên hoặc sợi nano cacbon từ các hình thái chất đồng vị ^{13}C . Oxit điện phân kiểm soát sự tạo ra ống nano rỗng từ chất điện phân cacbonat nóng chảy Li_2O cao hoặc ống nano thẳng khi chất điện phân cacbonat nóng chảy không có Li_2O bổ sung.

Kim loại chuyển tiếp như niken có thể được bổ sung trên anot 112, mà có thể được hòa tan từ anot 112 để di chuyển qua chất điện phân lên catot 114. Kim loại chuyển tiếp bổ sung có thể có chức năng như chất tạo nhân, mà có thể được chọn từ niken, sắt, coban, đồng, titan, crom, mangan, zirconi, molipden, bạc, cadimi, thiếc, ruteni, hoặc hỗn hợp của chúng. Kim loại chuyển tiếp có thể cũng được đưa dưới dạng muối kim loại chuyển tiếp hòa tan vào chất điện phân trực tiếp để di chuyển lên catot 114. Cũng có thể bổ sung chất tạo nhân kim loại chuyển tiếp trực tiếp lên catot 114.

CNT có vết cacbon thấp là khan hiếm trước đây có các thách thức kỹ thuật để tăng quy mô và khả năng sản xuất hàng loạt không được chứng tỏ. Cacbonat nóng chảy trước đây tạo ra CNM có các thách thức kỹ thuật để tăng quy mô, như tăng quy mô đến điện cực kích cỡ công nghiệp, liên kết dòng cao tương thích với cacbonat nóng chảy nhiệt độ cao, và việc quản lý chất phản ứng khí CO_2 trong các điều kiện công

nghiệp. Fig.5 bao gồm các ảnh chụp xây dựng nhà máy C2CNT công nghiệp chuyển hóa hàng ngày 2 tấn CO_2 . Các thách thức kỹ thuật của hệ thống quản lý khí là khắc phục sự trao đổi nhiệt giữa khí ống khói tới dưới dạng nguồn CO_2 và khí xả không chứa CO_2 . Điện cực kích cỡ công nghiệp và liên kết nhiệt độ cao là có thể hoạt động. Hệ thống này chuyển hóa khí ống khói từ nhà máy điện dùng khí tự nhiên liền kề công suất 860 MW Shepard Energy Centre, Calgary, CA.

Do chi phí, cường độ năng lượng và độ phức tạp của CNT tổng hợp công nghiệp, thường được sản xuất bởi các biến thể của quy trình lắng đọng hơi hóa học, chi phí sản xuất hiện nay nằm trong khoảng \$100K (\$85-\$450K) cho 1 tấn và không sử dụng CO_2 làm chất phản ứng. Chi phí cao này không khuyến khích việc sử dụng chúng làm chất phụ gia để làm giảm mức phát thải CO_2 của vật liệu kết cấu và dẫn giải pháp kỹ thuật đã biết xa khỏi khái niệm bất kỳ của sáng chế này. Tất cả các bộ phận chuyển hóa CO_2 thành graphen bằng cách điện phân cacbonat nóng chảy là rẻ tiền. Sự chuyển hóa này có nhiều tương tự với việc sản xuất nhôm, và có thể được so sánh với chi phí của ngành công nghiệp trưởng thành sau này. Trong thế kỷ 19 nhôm đắt hơn vàng với thị trường nhỏ. Tuy nhiên, nhờ sự thay đổi của công nghệ hóa học thì ngày nay nhôm là rẻ tiền với thị trường lớn. Cả hai quy trình đều đòi hỏi mật độ dòng cao thẳng, sự khử điện hóa điện phân nóng chảy của oxit, và không sử dụng vật liệu quý hoặc vật liệu hiếm. Sự điện phân CO_2 trong cacbonat nóng chảy tạo ra vật liệu nano cacbon tăng quy mô dễ dàng theo cách tuyến tính với diện tích của điện cực điện phân, tạo điều kiện thuận lợi cho sự tổng hợp quy mô lớn hơn tương tự của graphen. Sự điện phân nhôm sử dụng và tiêu thụ anot cacbon mà tạo ra cacbon dioxit, trong khi anot điện phân vật liệu nano cacbon cacbonat nóng chảy không bị tiêu thụ và tạo ra oxy. 52% của \$1880 chi phí cho việc sản xuất 1 tấn Al gồm bauxit và cacbon; trong khi sự điện phân cacbonat nóng chảy này không tiêu thụ cacbon dưới dạng chất phản ứng và sử dụng oxit không tốn chi phí dưới dạng chất phản ứng để được khử (CO_2 , chứ không phải bauxit được khai thác). Chi phí điện phân CO_2 dùng cacbonat nóng chảy, như chi phí lò, điện cực và chất điện phân, là tương tự nhưng rẻ hơn so với việc sản xuất công nghiệp nhôm.

Ngoài vết cacbon cao hơn, quy trình sản xuất nhôm cần vết vật lý lớn hơn. Việc sản xuất nhôm sử dụng mật độ cao hơn của nhôm lỏng so với mật độ của chất điện phân florua để thu gom sản phẩm nhôm từ điện cực nằm ngang; trong khi sản phẩm

nano cacbon nằm trên catot, do đó có thể được xếp chồng theo phương thẳng đứng ở dạng cấu trúc vết vật lý thấp. Quy trình điện phân cacbonat nóng chảy để sản xuất vật liệu nano cacbon vận hành trong điều kiện nhẹ hơn một chút ở ~ 700 đến 800°C với chất điện phân cacbonat nóng chảy ít hiếm hơn ở tốc độ đầu ra tương tự, nhưng ở điện thế $0,8\text{ V}$ đến $< 2\text{ V}$ so với điện thế điện phân trên 4 V đối với nhôm.

Vì vậy, $\$1000$ là ước tính giới hạn trên hợp lý với việc sản xuất graphen cacbon công nghiệp bằng cách điện phân cacbon dioxit, loại trừ các chi phí anot và bóc lớp cần được xác định, trong cacbonat nóng chảy. Chi phí này thấp hơn đáng kể giá hiện tại của graphen, và có thể khuyến khích đáng kể việc sử dụng khí nhà kính cacbon dioxit làm chất phản ứng để tạo ra graphen cacbon. Điều này có thể tạo ra cách hữu dụng để giúp phá vỡ chu trình cacbon do tác động của con người để làm giảm sự thay đổi khí hậu.

Các nguồn CO_2 khác nhau có thể được sử dụng cho quy trình sản xuất vật liệu nano cacbon nêu trên. Ví dụ, nguồn CO_2 có thể là không khí hoặc CO_2 được nén. Nguồn CO_2 có thể là CO_2 cô đặc, như được thấy trong ống khói nhà máy hoặc ống khói, bao gồm ống khói, và các ống khói công nghiệp như trong ngành sản xuất sắt và thép, nhôm, xi măng, tiêu thụ amoniac và vật liệu xây dựng, và ngành vận tải.

Nguồn CO_2 khác có thể là từ CO_2 nóng được tạo ra trong quá trình đốt cháy nhiên liệu trong nhà máy điện dùng nhiên liệu hóa thạch. Trong hệ thống như vậy, điện và vật liệu nano cacbon có thể được tạo ra mà không có sự phát thải CO_2 . Một phần của nhà máy điện dùng nhiên liệu hóa thạch cung cấp điện cho quy trình điện phân. Sản phẩm điện phân O_2 có thể lại được phun trở lại nhà máy điện dùng nhiên liệu hóa thạch.

Theo cách khác, nguồn điện không phát thải CO_2 thứ hai, như điện tái tạo hoặc điện hạt nhân, có thể được sử dụng để cấp điện cho quy trình điện phân, và sản phẩm điện phân O_2 có thể được phun trở lại nhà máy điện dùng nhiên liệu hóa thạch.

Bởi vậy một số phương án của sáng chế đề xuất phương pháp tạo ra vật liệu kết cấu có vết cacbon thấp. Phương pháp bao gồm bước cấp vật liệu kết cấu, cấp vật liệu gia cường bao gồm vật liệu nano cacbon có vết cacbon thấp (CNM) được tạo ra có vết cacbon nhỏ hơn 10, và tạo ra composit bao gồm vật liệu kết cấu và vật liệu nano cacbon với lượng từ 0,001% trọng lượng đến 25% trọng lượng. Vật liệu nano cacbon được phân tán đồng nhất trong composit. Theo một số phương án, vật liệu nano

cacbon được tạo ra từ cacbonat nóng chảy bằng cách điện phân, cùng với oxy và hòa tan kim loại oxit, như sẽ được mô tả thêm dưới đây.

Theo một số phương án, nhà máy điện có thể tạo ra nguồn CO_2 từ các ống khói mà được cấp vào thiết bị điện phân. Thiết bị điện phân có thể chứa chất điện phân nóng chảy như lithi cacbonat cùng với kim loại catot mà có thể là đồng, thép không gỉ, hoặc catot Monel. Như được mô tả ở trên, sự điện phân tạo nhân kim loại chuyển tiếp tạo ra sản phẩm vật liệu nano cacbon, cùng với oxy. So với các phương pháp thông thường để sản xuất vật liệu nano cacbon, phương pháp được mô tả ở trên có sản lượng khí nhà kính tổng thể thấp hơn đáng kể. Tiếp đó, vật liệu nano cacbon có thể được kết hợp với vật liệu kết cấu để tạo ra composit vật liệu nano cacbon.

Sản phẩm oxy nóng của phản ứng điện phân là hữu dụng trong phạm vi của các quy trình nếu được thu hồi. Tiếp đó oxy thu hồi có thể được sử dụng dưới dạng nguyên liệu để sản xuất một loạt sản phẩm chứa oxy. Ví dụ, các hóa chất công nghiệp và monome khác nhau như TiO_2 , etylen và propylen oxit, axetaldehyt, vinyl clorua hoặc axetat và caprolactam có thể được điều chế. Ngoài ra, nguồn oxy nóng có thể được sử dụng dưới dạng thay thế cho không khí trong sự đốt, dẫn đến nhiên liệu tiêu thụ ít hơn hoặc tạo ra nhiệt độ cháy cao hơn.

Vật liệu nano cacbon được tổng hợp từ sự điện phân CO_2 và có thể bao gồm ống nano cacbon, sợi nano cacbon, củ nano cacbon, tấm nhỏ nano cacbon, giàn nano cacbon, hoặc graphen. Trong mỗi trường hợp, các sản phẩm có thể được tổng hợp với hiệu suất culông cao trên 95% và trong một số trường hợp độ tinh khiết có thể là trên 95%.

Khi sợi nano cacbon được sử dụng, chúng có thể có tỷ lệ kích thước từ 10 đến 1000, và độ dày trung bình từ 3 đến 999 nm. CNT không rối có tỷ lệ kích thước có thể được phân tán dễ dàng trong nước với việc siêu âm để tạo ra thể phân tán đồng nhất.

Các điều kiện điện phân có thể được kiểm soát để tạo ra CNT có độ dày đồng đều đã chọn, có hình dạng dài thẳng hoặc xoắn; hoặc để tạo ra CNT thẳng dày.

Theo một số phương án, CNT rối dài 5-8 μm có thể được phát triển trên catot đồng được tạo nhân với bột Ni được bổ sung vào chất điện phân để tạo ra các điểm tạo nhân đối với sự phát triển CNT. Sự điện phân có thể được thực hiện trên các độ dài thời gian khác nhau, như 15, 30 hoặc 90 phút, để tạo ra sợi nano cacbon có độ dày khác nhau, như CNT có thành mỏng (~ 20 nm), thành trung bình (~ 47 nm), hoặc thành

dày (~116 nm). CNT nhiều thành có thể biểu lộ mức tách 0,335 nm đặc trưng phân lớp graphen khác biệt giữa các thành hình trụ đồng tâm. Bằng cách phết bột niken trực tiếp lên catot đồng trước khi điện phân, CNT thẳng dài 5-10 μm có thể được tạo ra ở các điểm tạo nhân niken.

Theo một số phương án, khi nạp điện kéo dài, catot Monel, và sự điện phân tạo nhân tạo ra niken và crom được áp dụng thay thế, CNT rất dài có độ dài từ 200 đến 2000 μm có thể được tạo ra.

Theo một số phương án, sau sự tổng hợp 5 giờ bằng cách sử dụng catot đồng thay dưới các điều kiện được kiểm soát khác nhau, sản phẩm ống nano cacbon bao gồm các CNT bó lại, thẳng hoặc dày hơn có thể được tạo ra.

Theo một số phương án, xi măng và ống nano cacbon có thể cùng được tạo ra trong nhà máy có vết cacbon âm ($F_c < 0$), ví dụ, như được mô tả trong Licht, “Co-production of cement and carbon nanotubes with a carbon negative footprint”, *J. CO₂ Utilization*, 2017, tập 18, trang 378-389.

Quy trình được mô tả ở đây có thể được định quy mô để sản xuất lượng lớn sản phẩm có giá trị thương mại và sản phẩm phụ.

Lại xét Fig.1, ở S106 vật liệu kết cấu và vật liệu nano cacbon được trộn lẫn hoặc kết hợp để tạo ra composit.

Nhiều phương pháp khác nhau có thể được sử dụng để kết hợp các CNM nêu trên trong vật liệu kết cấu mong muốn. Việc có sự phân tán đồng nhất của CNM trong vật liệu kết cấu có thể tạo ra các tính chất cơ học được cải thiện trong vật liệu composit thu được.

Như được sử dụng ở đây, sự phân tán đồng nhất của vật liệu nano cacbon trong composit đề cập đến sự phân bố cơ bản đồng đều của vật liệu nano cacbon, như sợi nano cacbon, khắp composit, vì vậy composit có các tính chất cơ học cơ bản đồng đều trong các vùng khác nhau của composit. Vật liệu nano không cần được phân tán ở mức phân tử, hoặc ở các mức sợi riêng biệt khi các sợi nano được phân tán. Sự kết tụ hoặc bị rối giới hạn của các sợi trong các vùng nhỏ, như các vùng có kích cỡ vùng nhỏ hơn khoảng 1000 μm có thể được cho phép trong một số ứng dụng. Tuy nhiên, các vùng vật liệu nano cacbon tập trung lớn hơn được phân bố không đều trong composit có thể khiến cho vật liệu có khiếm khuyết hoặc tính yếu, hoặc làm giảm việc sử dụng hiệu quả vật liệu gia cường.

Theo một số phương án, vật liệu kết cấu là xi măng. Để kết hợp CNM trong xi măng, sự phân tán của CNM trong chất lỏng chứa nước như nước có thể được tạo ra bằng cách bổ sung CNM vào nước, tiếp theo là trộn bằng cách sử dụng siêu âm dung dịch để phân tán đồng nhất và đồng đều CNM trong hỗn hợp chất lỏng. Theo một số phương án, chất hoạt động bề mặt có thể được bổ sung để ngăn ngừa sự kết tụ của CNM. Tiếp đó, thể phân tán CNM có thể được bổ sung vào bột xi măng khô, cùng với nước bổ sung nếu cần. Việc trộn cơ học có thể được sử dụng để phân tán toàn bộ CNM trong hỗn hợp xi măng trong nước, vì vậy CNM được phân tán đồng nhất trong hỗn hợp và composit thu được sẽ chứa CNM được phân tán đồng nhất.

Theo một số phương án, sự phân tán đồng nhất của CNM trong hỗn hợp có thể được tạo điều kiện thuận lợi bằng cách siêu âm, bổ sung chất hoạt động bề mặt, hoặc khuấy, hoặc dạng kết hợp bất kỳ của chúng. Một cách thuận tiện, việc siêu âm không yêu cầu vết cacbon đáng kể.

Theo một số phương án, các quy trình nêu trên có thể được sử dụng để tạo ra bê tông, vữa trát, hoặc vữa lỏng mà chứa xi măng và CNM được phân tán đồng nhất.

Việc bổ sung CNT với lượng 0,048% trọng lượng có thể làm tăng độ bền kéo của xi măng, bê tông, vữa trát hoặc vữa lỏng khoảng 45%. Vì vậy, đối với trường hợp sử dụng đơn giản (lực tác dụng một chiều), như composit CNT-xi măng mỏng hơn chịu cùng một tải, 1 tấn CNT có thể thay thế 938 tấn nhôm. Việc sử dụng composit CNT-xi măng chứa 1 tấn CNT để thay thế xi măng có thể làm giảm 844 tấn CO₂ phát thải trong việc sản xuất xi măng, hoặc theo cách tương tự, trong việc sản xuất bê tông, vữa trát hoặc vữa lỏng. Quy trình này làm giảm mức phát thải CO₂ trong việc sản xuất xi măng nhờ sự bổ sung ống nano cacbon có chi phí thấp hoặc F_c thấp được thể hiện trên Fig.12(A). Hình vẽ này thể hiện sự tránh cacbon dioxit khối lớn bằng cách bổ sung ống nano cacbon được tổng hợp từ CO₂ thành CNT- composit với CNT-xi măng. B: Giảm cacbon bằng CNT-Al. Cách (B) bao gồm hiệu ứng tăng do vết cacbon lớn của Al thô khởi đầu sự loại bỏ phát thải CO₂ lớn hơn.

Theo một số phương án, vật liệu kết cấu có thể là nhôm. Thiết bị gia nhiệt như bộ gia nhiệt cảm ứng không khí có thể được sử dụng để gia nhiệt nhôm rắn cho đến khi nóng chảy sau đó CNM có thể được bổ sung. Các dòng đối lưu mạnh đảm bảo CNM được phân tán tốt trong nhôm nóng chảy mà tiếp đó có thể được đúc thành thỏi hoặc được xử lý thành sản phẩm cuối. Oxy có thể loại trừ khỏi phương pháp này để

ngăn ngừa sự oxy hóa CNM do nhiệt độ cao. Theo cách khác, cuối cùng composit tương tự có thể được tạo ra bằng cách bổ sung CNM vào bột nhôm. Việc trộn hai vật liệu này có thể bị ảnh hưởng bởi quy trình như nghiền bi, tiếp theo là ép đùn nóng.

Việc bổ sung CNT với lượng 0,1% trọng lượng có thể làm tăng độ bền kéo nhôm khoảng 37%. Vì vậy, đối với trường hợp sử dụng đơn giản (lực tác dụng một chiều), như lá composit CNT-Al mỏng hơn chịu cùng một tải, 1 tấn CNT có thể thay thế 370 tấn nhôm. Việc sử dụng composit CNT-Al chứa 1 tấn CNT để thay thế nhôm thô có thể làm giảm 4,403 tấn CO₂ phát thải trong quá trình sản xuất nhôm. Quy trình này làm giảm mức phát thải CO₂ trong việc sản xuất nhôm nhờ sự bổ sung ống nano cacbon có chi phí thấp hoặc F_C thấp được thể hiện trên Fig.12(B). Hình vẽ này thể hiện sự tránh cacbon dioxit khối lớn bằng cách bổ sung ống nano cacbon được tổng hợp từ CO₂ thành CNT- composit với CNT-nhôm và bao gồm hiệu ứng tăng do vết cacbon lớn của Al thô khởi đầu sự loại bỏ phát thải CO₂ lớn hơn.

Theo một số phương án, composit có vết cacbon thấp có thể được điều chế bằng cách sử dụng magie và CNM. Dự tính rằng sự kết tụ CNM sẽ làm giảm tương tác CNM-kim loại, bởi vậy ngăn ngừa sự tạo thành composit magie-CNM hiệu quả. Vấn đề này có thể được giải quyết bằng cách phủ CNM bằng niken, để tạo ra mặt phân cách Mg₂Ni hiệu quả giữa CNM và magie. Bằng cách bổ sung CNT được phủ NI với lượng 0,3% trọng lượng, composit CNT-magie có thể có độ bền kéo tăng, như khoảng 39% so với magie nguyên chất. Việc thay thế magie bằng composit CNT-Mg có độ bền tương đương có thể làm giảm mức phát thải CO₂ bằng 1,820 tấn cho một tấn CNT.

Việc sản xuất composit có vết cacbon thấp bằng cách sử dụng các kim loại có điểm nóng chảy cao hơn như titan, đồng và thép có thể là thách thức hơn do các khó khăn trong việc đạt được sự phân tán đồng đều của CNM. Khi kim loại sử dụng là titan, hỗn hợp sơ chế của các bột titan nguyên tố có thể được tạo ra, và tiếp đó được cho qua bước nung kết plasma xung điện.

Theo một số phương án, kim loại để tạo ra composit có thể là đồng. Huyền phù của CNM trong dung môi có thể được tạo ra, và bột đồng có thể được bổ sung vào huyền phù CNM để tạo ra hỗn hợp. Hỗn hợp này có thể được cho qua bước nung và khử để tạo ra bột composit đồng-CNT, mà có CNM được phân tán đồng nhất trong bột. Theo một số phương án, hỗn hợp có thể được nung kết, như bằng cách nung kết plasma xung điện hoặc nung kết bằng vi sóng, để tạo ra vật liệu composit.

Với sự phân tán đồng nhất của CNT với lượng 1% trọng lượng trong đồng trong composit CNT-Cu thu được, thì mức tăng độ bền 207% trong composit CNT-Cu đã được thấy. Composit như vậy có thể thay thế theo tỷ lệ 67 tấn đồng bằng 1 tấn CNT, và vẫn tạo ra độ bền cơ học tương tự cho đồng. Vết cacbon của việc sản xuất đồng thay đổi rộng theo vùng, nhưng trên toàn cầu có mức trung bình kết hợp khoảng 5 tấn CO₂ cho 1 tấn Cu. Bằng cách thay thế việc sản xuất đồng bằng việc sản xuất composit CNT-Cu tương đương, mức phát thải CO₂ trong quá trình sản xuất có thể được giảm đáng kể. Ví dụ, mức phát thải 337 tấn CO₂ có thể được tránh nếu 67 tấn đồng được thay thế bằng 1 tấn CNT và mỗi tấn đồng sản xuất phát thải 5 tấn CO₂.

Theo một số phương án, vật liệu kết cấu có thể là thép không gỉ. CNM có thể được bổ sung ở dạng rắn vào bột thép và hỗn hợp thu được được đặt trong máy nghiền bi để nghiền và trộn các thành phần cùng nhau (bằng máy nghiền bi), tiếp theo là nung kết plasma xung điện để tạo ra vật liệu composit. Việc sản xuất hàng loạt thép không gỉ trên toàn cầu hàng năm có vết cacbon cao, $F_c = 6,15$, bao gồm mức phát thải 5,3 tấn CO₂ để tạo ra năng lượng là cần thiết để sản xuất 1 tấn thép.

Composit CNT-thép không gỉ chứa CNT với lượng 0,75% trọng lượng có thể cho thấy độ bền cao hơn 37%. Bởi vậy, dự tính rằng việc sử dụng composit CNT-thép không gỉ để thay thế thép không gỉ có thể làm giảm mức phát thải CO₂ khoảng 302 tấn CO₂ cho 1 tấn CNT.

Năng lượng thực cần thiết cho sự chuyển hóa CO₂ thành CNT là 2,0 MWh cho 1 tấn CO₂ phản ứng thành CNT (1,6 MWh ở 0,8V).

Sự giảm mức phát thải CO₂ kết hợp với việc sử dụng các composit khác nhau của CNM với xi măng, nhôm, magie, titan, hoặc thép không gỉ, và sự cải thiện tương ứng về độ bền cơ học được tóm tắt trong Bảng I.

Trong Bảng I, cột cuối liệt kê năng lượng thực tiêu thụ bởi sự chuyển hóa CO₂ thành CNT bằng cách điện phân trong cacbonat nóng chảy.

Bảng I.

	% trọng lượng CNT	Độ bền	Mức thay đổi độ bền	Mức giảm vật liệu kết cấu (tấn)	F_c	Sự giảm mức phát thải CO ₂ (tấn)	Năng lượng cần thiết cho 1 tấn CO ₂ (kWh)
xi măng	0,048%	kéo	45%	938	0,9	840	2,45
nhôm	0,10%	kéo	37%	370	11,9	4400	0,47
magie	0,30%	kéo	39%	130	14	1820	1,14
titan	0,3%	<i>chảy</i>	102%	339	8,1	2750	0,75
thép không gỉ	0,75%	kéo	37%	49	6,15	302	6,85
đồng	1,0%	kéo	207%	207	5	337	1,14

Theo một số phương án, vật liệu kết cấu có thể là polyme, như chất dẻo polyme. CNM có thể được bổ sung vào chất dẻo nóng chảy, tiếp theo là trộn cơ học để phân tán CNM. Tiếp đó, composit có thể được tạo thành sản phẩm cuối bởi quy trình như đúc phun, đúc thổi hoặc ép đùn.

Theo một số phương án, vật liệu kết cấu có thể là vật liệu gỗ. Theo một ví dụ, CNM có thể được bổ sung ở dạng rắn trong quá trình sản xuất tấm xơ ép mật độ trung bình (medium density fibreboard: MDF). Sự bổ sung CNM rắn vào sợi gỗ trước khi bổ sung nhựa ure-formaldehyt, tiếp theo là ép thành tấm tạo ra vật liệu composit.

Theo một số phương án, vật liệu kết cấu có thể là bìa các tông. CNM rắn có thể được bổ sung vào huyền phù của sợi bột gỗ được tạo ra từ vụn gỗ thông. Tiếp đó, huyền phù này có thể được bơm vào máy sản xuất giấy để tạo ra giấy cơ rap. Giấy cơ rap được làm uốn sóng thành vật liệu composit bìa các tông CNM.

Theo một số phương án, vật liệu kết cấu có thể là vật liệu lớp hoặc vách thạch cao. Trong quá trình tạo ra lớp vữa thạch cao, CNM có thể được bổ sung vào hỗn hợp của vữa thạch cao, sợi, chất dẻo hóa, chất tạo bọt và chất chelat hóa mà nằm giữa hai tấm giấy nặng hoặc thủy tinh sợi. CNM có thể được bổ sung vào hỗn hợp ướt ở dạng rắn hoặc ở dạng huyền phù trong dung môi như nước để tạo độ bền cho vách thạch cao. Vật liệu lớp được tạo ra từ các lớp để tạo ra vật liệu dẹt. Các lớp của vật liệu lớp

có thể được tạo ra từ composit CNM với nhựa, chất dẻo, sợi gỗ, giấy hoặc các lớp cứng đơn giản của CNM chứa chất điện phân như được thể hiện trên Fig.9. Điều này cho thấy sự dễ dàng với đó các màng như được phát triển được loại bỏ bằng cách bóc đơn giản ra khỏi catot. Màng được phát triển bởi sự điện phân 18 giờ ở $0,1 \text{ A cm}^{-2}$ trong Li_2CO_3 nóng chảy ở 770°C trên điện cực $12,5\text{cm} \times 20 \text{ cm}$. Anot Inconel và vỏ điện phân bằng thép 304 không bị ảnh hưởng bởi sự điện phân lặp lại. Độ dày màng tỷ lệ trực tiếp với thời gian điện phân cho phép màng trong mục tiêu này bằng $0,0004''$ ($0,01\text{mm}$) (hoặc nhỏ hơn) được nghiên cứu. Màng là sự phản chiếu gương của bề mặt catot. Trong trường hợp này, đồng thau Muntz có màu vàng được sử dụng để làm nổi bật rằng vật liệu catot không bị chuyển thành màng phát triển, rằng catot sẵn sàng để sử dụng lại (sau khi bóc màng), và rằng màng đã loại bỏ phản ánh bề mặt catot bị biến dạng một chút. Đồng thau Muntz có điểm nóng chảy thấp nhất, 899°C , trong các catot được nghiên cứu. Sự biến dạng mà xuất hiện trong quá trình điện phân ở 770°C được kiểm soát bởi thanh giằng thép trên phía điện cực được ẩn từ anot, và biến dạng nhỏ được phóng đại để độ phẳng của màng được bóc phản ánh bề mặt catot.

Theo một số phương án, CNM có thể được bổ sung ở dạng rắn vào bột xi măng và hỗn hợp thu được được bố trí trong máy nghiền bi để nghiền và trộn các thành phần cùng nhau trước khi bổ sung nước.

Cần lưu ý rằng sự phân tán đồng nhất của CNM trong composit có thể tạo ra composit chắc hơn. Bởi vậy, các biện pháp sẽ cần được tiến hành để tránh phân bố không đồng nhất, như sự tập trung cục bộ của CNM trong composit. Ví dụ, CNT rời có xu hướng kết tụ và không dễ trộn lẫn trong hỗn hợp chứa nước. Bởi vậy, CNT không rời được tạo ra từ cacbonat nóng chảy bằng cách điện phân là đặc biệt thích hợp theo một phương án của sáng chế. Trong việc sản xuất CNT, các điều kiện điện phân cần được kiểm soát và có thể được thay đổi để tạo ra sự kiểm soát chính xác hình thái sản phẩm ống nano cacbon.

Theo các phương án khác, sản phẩm CNM có thể được tạo ra trong Li_2CO_3 nguyên chất hoặc cacbonat nóng chảy được lithi hóa hai hoặc ba thành phần hỗn hợp, hoặc cacbonat nóng chảy không chứa lithi ở 750°C .

Cần lưu ý rằng hỗn hợp của cacbonat kiềm (lithi, natri, hoặc kali) có độ nhớt nhỏ hơn so với muối cacbonat nóng chảy nguyên chất.

Sự ăn mòn anot trong quá trình điện phân có thể được tránh, quãng được khử

bằng cách loại trừ kali cacbonat ra khỏi chất điện phân.

Đã được thể hiện rằng sự bổ sung CNT chỉ với lượng 0,048% trọng lượng (C) vào xi măng có thể tạo ra composit có độ bền kéo tăng (S), như khoảng 45%, so với độ bền kéo của xi măng nguyên chất. Do đó, trong một số trường hợp, lớp composit mỏng hơn chứa xi măng và CNT có thể tạo ra độ bền giống như lớp xi măng nguyên chất dày hơn. Kết quả là, việc sử dụng xi măng có thể được giảm. Trong các trường hợp khác, CNT có thể được sử dụng dưới dạng vật liệu gia cường trong bê tông để thay thế các vật liệu gia cường khác mà có vết cacbon cao, như thép. Trong các trường hợp như vậy, trong khi việc sử dụng xi măng có thể không giảm, nhưng vết cacbon tổng thể của bê tông vẫn được giảm.

Trong trường hợp sử dụng đơn giản, như sàn mỏng hơn chịu cùng một tải, composit CNT-xi măng dày 1/1,45, nhưng chắc hơn 45%, có thể có độ bền giống như xi măng không có CNT. Tức là, composit của 1 tấn CNT (0,048% trọng lượng) trong 2082 tấn xi măng có độ bền giống như 3021 tấn xi măng. Bởi vậy, việc sử dụng composit CNT-xi măng chứa 1 tấn CNT có thể làm giảm xi măng cần thiết khoảng 938 tấn. Kết quả là cần vết cacbon nhỏ hơn nhiều bằng cách thay thế xi măng nguyên chất bằng composit CNT-xi măng.

Giờ đây có thể nhận thấy rằng vật liệu nano cacbon được sản xuất có vết cacbon nhỏ hơn 10 trọng lượng đơn vị của mức phát thải cacbon dioxit (CO_2) trong quá trình sản xuất 1 trọng lượng đơn vị của vật liệu nano cacbon có thể được sử dụng để gia cường vật liệu kết cấu. Theo một số phương án, vật liệu nano cacbon có thể được sản xuất từ cacbonat nóng chảy bằng cách điện phân. Composit có thể là composit được mô tả ở đây.

Theo một số phương án, vật liệu nano cacbon có thể được sử dụng trong composit chứa vật liệu kết cấu để gia cường vật liệu kết cấu, trong đó vật liệu nano cacbon được tạo ra có vết cacbon nhỏ hơn 10 trọng lượng đơn vị của mức phát thải cacbon dioxit (CO_2) trong quá trình sản xuất 1 trọng lượng đơn vị của vật liệu nano cacbon. Theo một số phương án, vật liệu nano cacbon có thể được sản xuất từ cacbonat nóng chảy bằng cách điện phân. Composit có thể là composit được mô tả ở đây.

Theo một số phương án, vật liệu nano cacbon được sản xuất có vết cacbon thấp được sử dụng trong composit bao gồm vật liệu kết cấu và vật liệu nano cacbon, để làm

giảm mức phát thải tổng thể của cacbon dioxit (CO_2) trong quá trình sản xuất composit, trong đó vết cacbon thấp là vết cacbon nhỏ hơn 10 trọng lượng đơn vị của mức phát thải CO_2 trong quá trình sản xuất 1 trọng lượng đơn vị của vật liệu nano cacbon. Theo một số phương án, vật liệu nano cacbon có thể được sản xuất từ cacbonat nóng chảy bằng cách điện phân. Composit có thể là composit được mô tả ở đây.

Giả sử “W” là trọng lượng của composit của vật liệu kết cấu và CNM, “N” là vật liệu kết cấu nguyên chất không có CNM bổ sung, “C” là nồng độ trọng lượng CNT trong composit, và “S” là mức tăng độ bền theo tỷ lệ phần trăm, trọng lượng của composit chứa 1 trọng lượng đơn vị của CNT là:

$$W = 100\% / C \quad (4)$$

N có thể được xác định bởi,

$$N = W \times (100\% + S) / 100\%, \quad (5)$$

Mức giảm trọng lượng của vật liệu kết cấu trong composit từ vật liệu kết cấu nguyên chất (N- W) là

$$N - W = W (100\% + S) / 100\% - W = W \times (S / 100\%) \quad (6)$$

Ví dụ thực hiện sáng chế

Ví dụ I

Đã chứng tỏ bởi thử nghiệm rằng CNT không rời có tỷ lệ kích thước cao được phân tán dễ dàng trong nước bằng cách siêu âm mà không sử dụng chất hoạt động bề mặt. CNT phân tán trong nước được trộn với xi măng Portland để tạo ra composit CNT-xi măng. Xem Fig.3A, Fig.3B và Fig.3C.

Trong ví dụ này, CNT mẫu thể hiện trên Fig.3A được tạo ra bằng cách điện phân trong chất điện phân hai thành phần lithi-natri cacbonat có độ nhớt thấp. CNT không rời được tổng hợp ở 740°C trong chất điện phân nóng chảy chứa 73% trọng lượng Li_2CO_3 , 17% trọng lượng Na_2CO_3 , và 10% trọng lượng LiBO_2 bằng cách điện phân sử dụng catot đồng thau và anot Inconel, với hệ thống như được thể hiện trên Fig.2. Cũng đã thấy rằng việc bổ sung muối metaborat vào chất điện phân cải thiện tỷ lệ kích thước của CNT.

Ảnh hiển vi điện tử quét (SEM) của sản phẩm CNT thể hiện trên Fig.3A chứa các CNT với lượng khoảng 90% trọng lượng. Quy trình điện phân diễn ra ở hiệu suất

culông 97,5%, được xác định bằng công thức (3) so sánh mol của sản phẩm CNT với dòng điện phân hợp nhất.

CNT được phân tán trong nước và hỗn hợp chứa nước thu được được siêu âm. Như có thể được thấy trên Fig.3B, việc siêu âm tạo ra sự phân tán đồng nhất của CNT trong nước. Cũng đã thấy rằng, không có sự siêu âm, CNT kết tụ trong nước và CNT không được phân tán đồng nhất trong nước.

Khi trộn huyền phù CNT được phân tán đồng nhất trong nước với xi măng Portland, hỗn hợp thu được được đúc dễ dàng thành composit CNT-xi măng, như được thể hiện trên Fig.3C. CNT tạo ra với lượng nhỏ hơn 0,8% trọng lượng, như 0,048% trọng lượng, được bổ sung vào xi măng Portland để tạo ra composit CNT-xi măng.

Đã thấy rằng nhỏ hơn 0,75 trọng lượng đơn vị của composit có thể tạo ra độ bền cơ học giống như 1 trọng lượng đơn vị của xi măng nguyên chất, sự giảm khối lượng ít nhất là 25%.

Ví dụ II

Trong ví dụ này, các vật liệu mẫu thử được tạo ra với các mục đích sau để tạo ra composit CNT-xi măng chắc: (i) tách ống nano cacbon được tạo ra để cho phép phân tán CNT đều và đồng nhất khắp xi măng và (ii) tạo ra CNT dài hơn để liên kết các hạt xi măng trong composit.

Phương pháp tổng hợp được gọi là phương pháp C2CNT được sử dụng để tạo ra CNT. Phương pháp C2CNT liên quan đến công nghệ tách CO₂ điện phân cacbonat và được thể hiện để tạo ra sự kiểm soát hình thái CNT, và có thể tạo ra CNT không rời đồng đều dài để tránh sự bó các CNT trong quá trình trộn với nước và xi măng, và cho phép phân tán thuận tiện CNT trong hỗn hợp nước.

Oxy được loại trừ trong quá trình bổ sung CNM vào vật liệu kết cấu để tránh sự oxy hóa bất kỳ của CNM đang được bổ sung.

Ví dụ II(1)

Composit CNM-xi măng được tạo ra bằng cách phân tán dễ dàng CNM trong nước, bằng cách siêu âm hoặc bằng cách bổ sung chất hoạt động bề mặt, và tiếp đó bổ sung vào bột xi măng, có hoặc không có kết tụ để tạo ra composit CNM-xi măng và composit CNM-bê tông.

Ví dụ II(2)

Composit CNM-nhôm được tạo ra bằng cách bổ sung CNM vào nhôm nóng

chảy (điểm nóng chảy 660°C). CNM được phân tán dễ dàng trong nhôm nóng chảy. Việc gia nhiệt cảm ứng được sử dụng để nấu chảy nhôm.

Ví dụ II(3)

CNT được tạo ra bởi phương pháp C2CNT được thấy có vết cacbon âm ít nhất bằng 800 tấn CO_2 được tránh cho một tấn CNT tạo ra (xem Bảng I).

Đã thấy rằng việc chứa CNT được tạo ra bằng phương pháp C2CNT với lượng 0,048% trọng lượng trong composit CNT-xi măng dẫn đến mức tăng độ bền kéo (môđun Young) bằng 60,8% (sau khi hóa rắn trong 26 ngày) và mức tăng độ bền nén bằng 80,4% (sau khi hóa rắn trong 20 ngày), so với xi măng nguyên chất không có CNT.

Các mức tăng độ bền này là cao hơn so với mức tăng được liệt kê trong Bảng I và cao hơn so với mức tăng độ bền được thông báo trong tài liệu chuyên ngành được các tác giả sáng chế biết rõ. Độ bền tăng được dự tính là do tính đồng đều cao hơn và tính chất bó ít hơn của ống nano cacbon được điều chế bằng phương pháp C2CNT.

Không bị giới hạn ở lý thuyết cụ thể bất kỳ, dự tính rằng để tạo ra composit CNM-xi măng chắc hơn, không chỉ độ bền riêng của CNM cần là cao, để làm tăng độ bền kéo, độ bền nén và độ bền uốn, mà còn cả CNM bổ sung cần có thể liên kết các hạt xi măng. Các liên kết này được dự tính tạo ra lưới mà phát triển độ bền khắp khối composit.

Đã thấy rằng phương pháp C2CNT có thể kiểm soát độ dài và đường kính đồng đều của CNT được sản xuất. CNT có độ dày và độ dài đồng đều được sản xuất bằng phương pháp C2CNT, mà bao gồm CNT có đường kính 200 nm và độ dài 80 μm . Các CNT này được sử dụng để tạo ra composit CNT-xi măng mẫu, mà cho thấy độ bền được cải thiện nêu trên.

Để tạo ra composit, CNT được phân tán trong nước và được siêu âm trước khi trộn với bột xi măng Portland. Trước khi siêu âm, phần lớn CNT chìm xuống đáy của thùng trộn, trong khi một phần nổi lên trên mặt nước. Sau 90 phút siêu âm thì thu được dung dịch có màu nâu/đen đều (xem ảnh đại diện được thể hiện trên Fig.3B). CNT phân tán đều trong nước được trộn với bột xi măng Portland. Hỗn hợp được đặt trong các khuôn có hình dạng khác nhau và được hóa rắn trước khi thử nghiệm.

Khuôn hình trụ và hình số “8” được sử dụng cho các thử nghiệm độ bền nén và độ bền kéo. Các kết quả độ bền thử nghiệm đại diện được thể hiện trên Bảng I.

Ví dụ III

Công nghệ C2CNT cũng được cải biến và được sử dụng để sản xuất các vật liệu nano cacbon khác, bao gồm graphen, củ nano, tấm nhỏ nano, giàn nano và ống nano cacbon xoắn. Đã thấy rằng mỗi CNM này biểu lộ các tính chất lý hóa khác thường và có giá trị như bôi trơn (củ nano), pin (graphen) và chất hấp thụ môi trường (gel khí nano cacbon) trước khi bổ sung vào vật liệu kết cấu, và các tính chất đặc biệt bao gồm độ dẫn điện được cải thiện và khả năng nhận biết đối với composit CNM-vật liệu kết cấu.

Dự tính rằng các vật liệu này có thể tạo ra vật liệu kết cấu cải tiến.

Trong mỗi trường hợp, sản phẩm được tổng hợp với hiệu suất culông cao trên 95%, và trong phần lớn các trường hợp sản phẩm có độ tinh khiết trên 95%.

Đã thấy rằng đặc tính có thể đo được chính liên quan đến độ bền là tỷ lệ khiếm khuyết thấp khi được đo bằng tỷ lệ theo thứ tự (đỉnh G, phản ánh liên kết sp^2 trong mặt phẳng hình trụ giữa các cacbon) so với rối loạn (đỉnh D, phản ánh liên kết tứ diện sp^3 ngoài mặt phẳng giữa các cacbon) trong phổ Raman. Ống nano cacbon nhiều thành mẫu được sản xuất bằng phương pháp C2CNT biểu lộ tỷ lệ G:D (độ bền) cao trong phổ Raman như được thể hiện trên Fig.6.

Phổ Raman tương tự của củ nano cacbon mẫu được sản xuất bằng phương pháp C2CNT được thể hiện trên Fig.6. Phổ Raman của tấm nhỏ nano cacbon mẫu được sản xuất bằng phương pháp C2CNT được thể hiện ở phần trên của Fig.8 và phổ Raman của graphen mẫu thử được sản xuất bằng phương pháp C2CNT ở phần dưới của Fig.8. Sự có mặt của dải D' là chỉ báo các lớp graphen (tấm nhỏ) một lớp và nhiều lớp, và sự di chuyển sang trái của dải 2-D chỉ báo lớp graphen mỏng.

Fig.9 là SEM của giàn nano cacbon, mà được phát triển ở 670°C trong chất điện phân 50% Na_2CO_3 và 50% Li_2CO_3 ở mật độ dòng bằng 0,1 A cm^{-2} với catot đồng thau và anot Inconel. Chất điện phân bao gồm H_3BO_3 với lượng bổ sung 10% trọng lượng mà thúc đẩy hình thái đồng đều. H_3BO_3 , chứ không phải Li_2BO , được bổ sung dưới dạng biện pháp tiết kiệm chi phí. H_3BO_3 khi gia nhiệt giải phóng nước, và góp phần vào cùng một trạng thái hóa trị bo oxit với chất điện phân nóng chảy dưới dạng Li_2BO .

Fig.10 là SEM của ống nano cacbon xoắn sau khi rửa sản phẩm, mà được phát triển ở 750°C trong chất điện phân 100% Li_2CO_3 ở mật độ dòng cao (0,5 A cm^{-2}) trong

2 giờ trên catot đồng thau/Monel sử dụng anot Chromel C (Nichrome).

Composit được nghiên cứu trong các ví dụ này bao gồm CNT-nhôm, CNT-thép, CNT-magie, CNT-titan, và CNT-xi măng.

Nhận xét kết luận

Sẽ cần hiểu rằng một khoảng trị số bất kỳ ở đây được dự định bao gồm cụ thể trị số trung gian hoặc khoảng con bất kỳ trong khoảng đã cho, và tất cả các trị số trung gian và khoảng con như vậy được bộc lộ một cách riêng biệt và cụ thể.

Sẽ cần hiểu rằng từ “một” được dự định nghĩa là “một hoặc nhiều” hoặc “ít nhất một”, và dạng số ít bất kỳ được dự định bao gồm cả dạng số nhiều ở đây.

Sẽ cần hiểu rằng thuật ngữ “bao gồm”, bao gồm cả biến thể bất kỳ của nó, được dự định là kết thúc mở và nghĩa là “bao gồm, nhưng không chỉ giới hạn ở”, trừ khi có quy định khác.

Khi một danh sách các mục được đưa ra ở đây với từ “hoặc” phía trước mục cuối cùng, một mục bất kỳ trong số các mục liệt kê hoặc dạng kết hợp thích hợp bất kỳ của hai hoặc nhiều mục liệt kê có thể được lựa chọn và sử dụng.

Đương nhiên, các phương án mô tả ở trên được dự định chỉ để minh họa và không nhằm giới hạn phạm vi. Các phương án được mô tả này có thể được cải biến về dạng, cách bố trí các bộ phận, các chi tiết và thứ tự hoạt động. Đúng hơn, sáng chế được dự định bao gồm tất cả các cải biến như vậy trong phạm vi của nó, như được xác định bởi yêu cầu bảo hộ.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp tạo ra vật liệu composit bao gồm các bước:

cấp chất có vết cacbon cao;

cấp vật liệu nano cacbon được tạo ra có vết cacbon âm thể hiện mức tiêu thụ cacbon dioxit thực trong quá trình sản xuất vật liệu nano cacbon; và

tạo ra composit bao gồm chất có vết cacbon cao và vật liệu nano cacbon với lượng từ 0,001% trọng lượng đến 25% trọng lượng, trong đó vật liệu nano cacbon này được phân tán trong vật liệu composit để làm giảm mức phát thải cacbon dioxit đối với việc sản xuất vật liệu composit so với chất có vết cacbon cao và để làm tăng tính chất độ bền cơ học của vật liệu composit.

2. Phương pháp theo điểm 1, trong đó vật liệu nano cacbon bao gồm sợi nano cacbon có tỷ lệ kích thước trung bình trong khoảng từ 10 đến 1000 và độ dày trong khoảng từ 3 nm đến 999 nm.

3. Phương pháp theo điểm 2, trong đó sợi nano cacbon bao gồm một hoặc nhiều loại trong số ống nano cacbon, ống nano cacbon xoắn, sợi nano cacbon không rối, củ nano cacbon, giàn nano cacbon, tấm nhỏ nano và graphen.

4. Phương pháp theo điểm 1, trong đó bước tạo ra composit bao gồm việc bổ sung vật liệu nano cacbon vào pha rắn hoặc pha lỏng hoặc pha khí của chất có vết cacbon cao.

5. Phương pháp theo điểm 1, trong đó bước tạo ra composit bao gồm việc phân tán vật liệu nano cacbon trong chất lỏng để tạo ra hỗn hợp thứ nhất, trộn hỗn hợp thứ nhất này với chất có vết cacbon cao để tạo ra hỗn hợp thứ hai, và tạo ra vật liệu composit từ hỗn hợp thứ hai này.

6. Phương pháp theo điểm 1, trong đó vật liệu nano cacbon được tạo ra từ cacbonat nóng chảy bằng cách điện phân.

7. Phương pháp theo điểm 6, trong đó cacbonat nóng chảy được tạo ra bởi phản ứng của cacbon dioxit và kim loại oxit trong chất điện phân nóng chảy.

8. Phương pháp theo điểm 7, trong đó kim loại oxit là lithi oxit.

9. Phương pháp theo điểm 6, trong đó cacbonat nóng chảy bao gồm lithi cacbonat hoặc cacbonat được lithi hóa.

10. Phương pháp theo điểm 1, trong đó chất có vết cacbon cao bao gồm một hoặc nhiều loại trong số xi măng, bê tông, vữa trát, hoặc vữa lỏng.

11. Phương pháp theo điểm 1, trong đó chất có vết cacbon cao bao gồm kim loại.

12. Phương pháp theo điểm 1, trong đó chất có vết cacbon cao bao gồm chất dẻo, nhựa, gốm, thủy tinh, vật liệu cách điện, vật liệu dẫn điện, polyme, gỗ, vật liệu lớp, bìa các tông và vách thạch cao.

1/11

Fig.1C

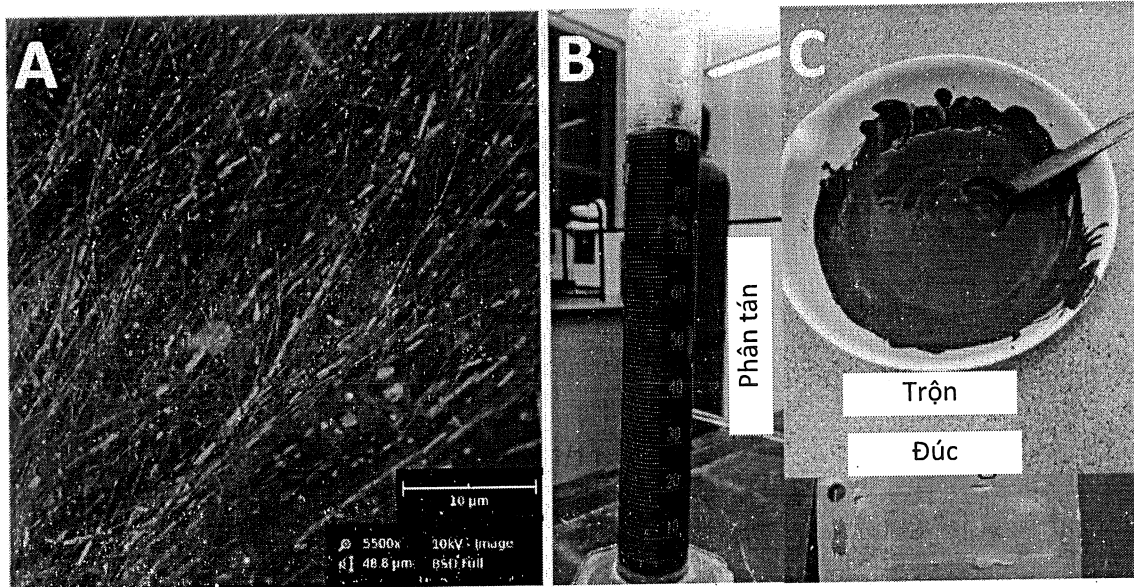


Fig.1A

Fig.1B

2/11

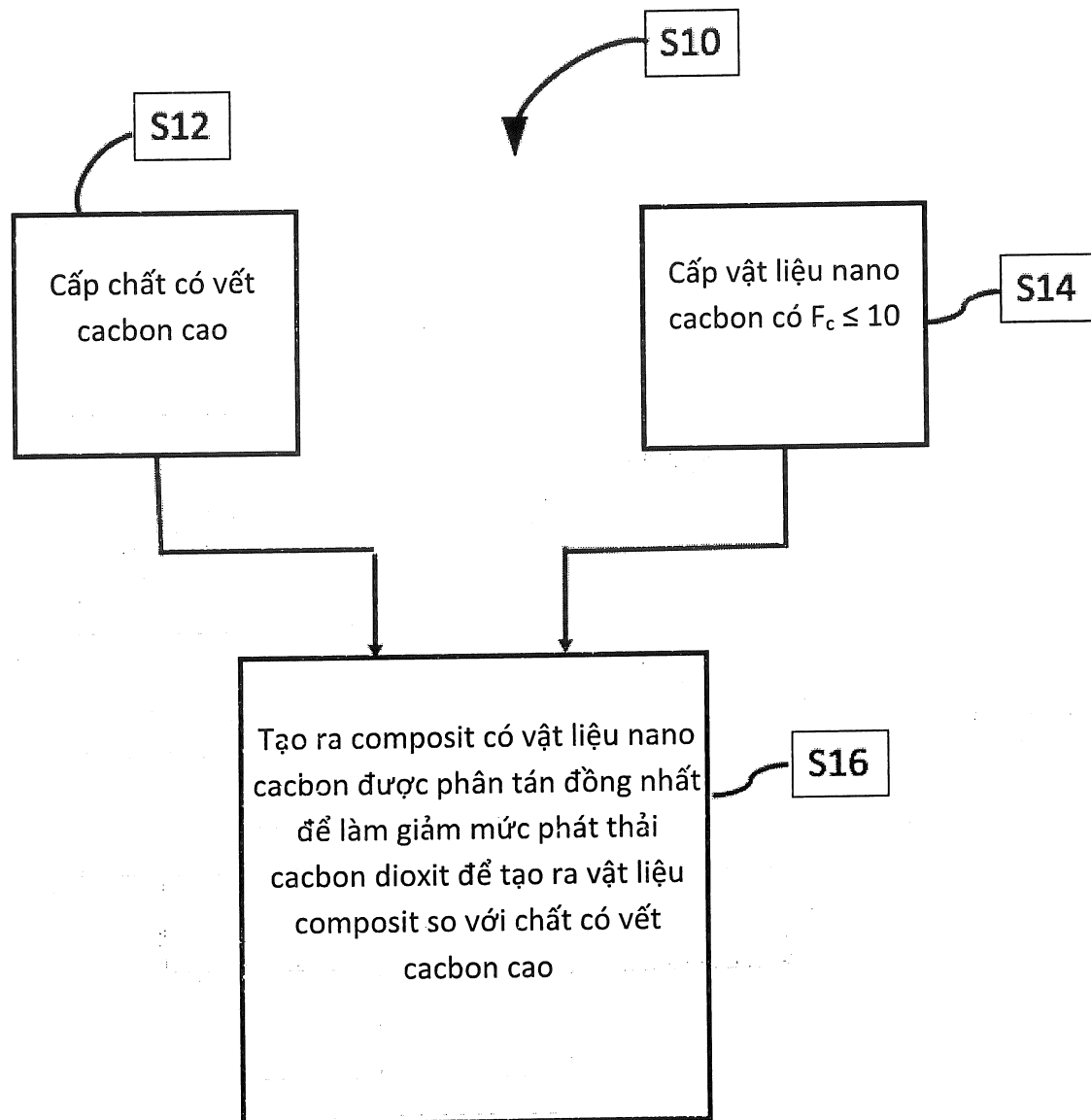


Fig.2

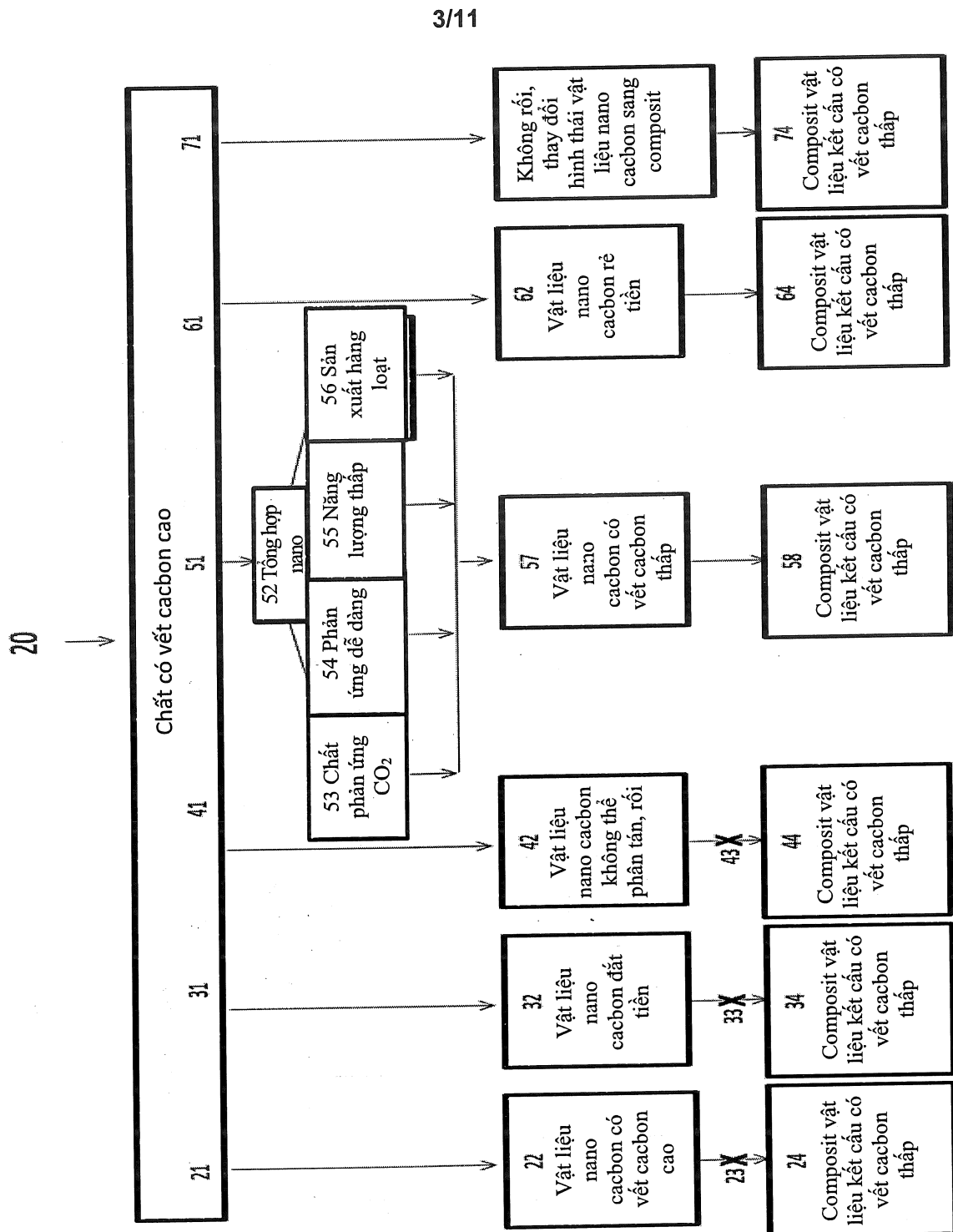


Fig.3

4/11

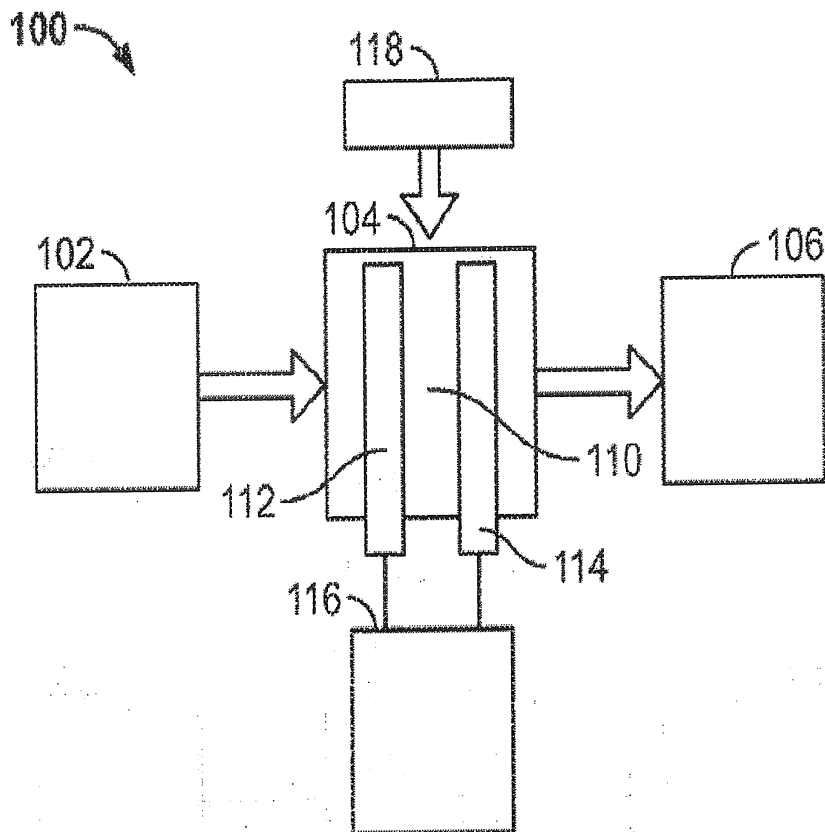


Fig.4

5/11

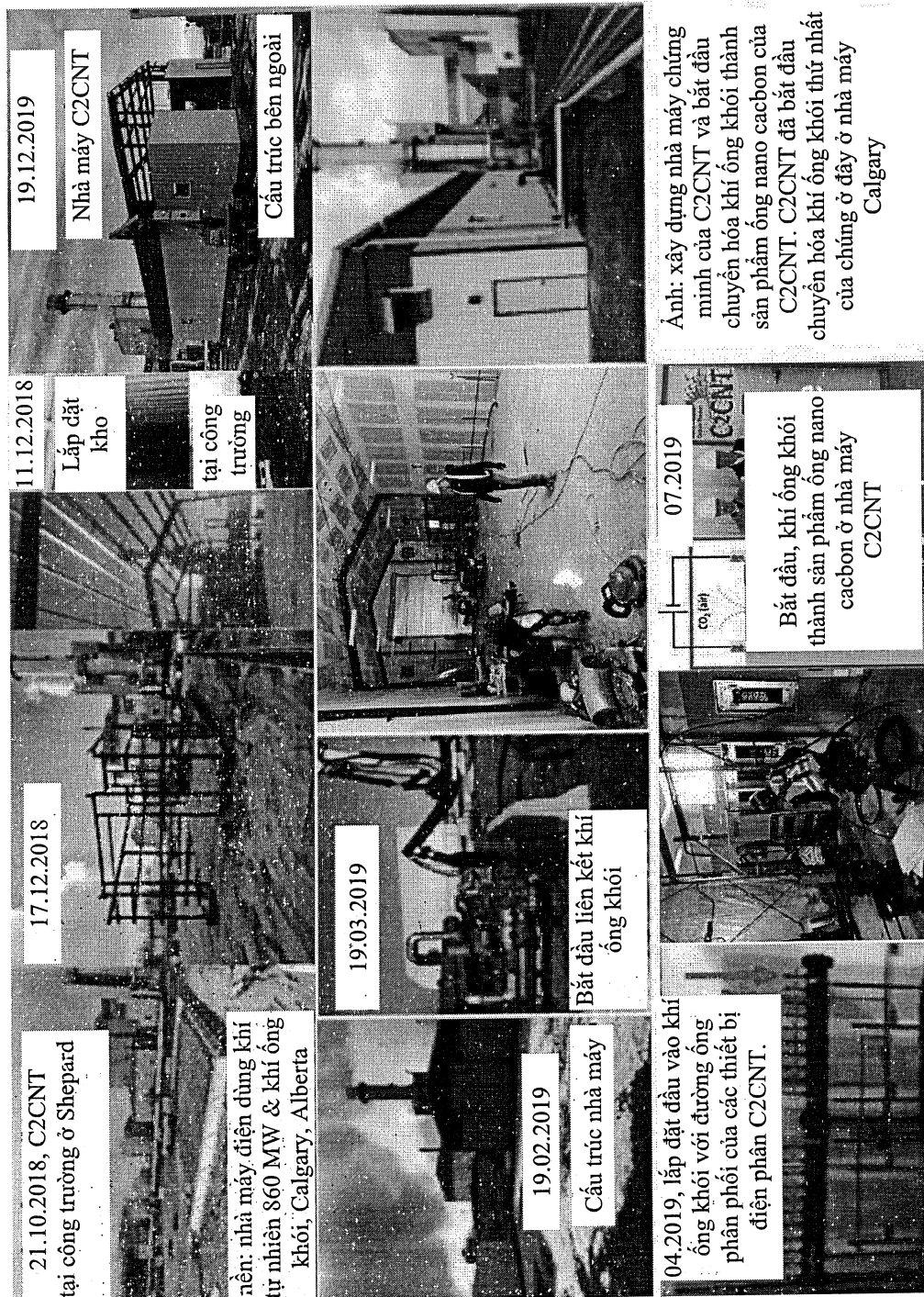


Fig.5

6/11

Ống nano cacbon C2CNT

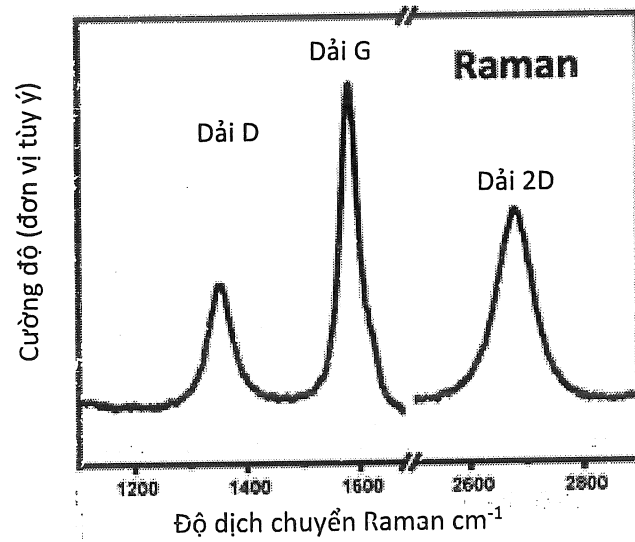


Fig.6

Củ nano cacbon C2CNT

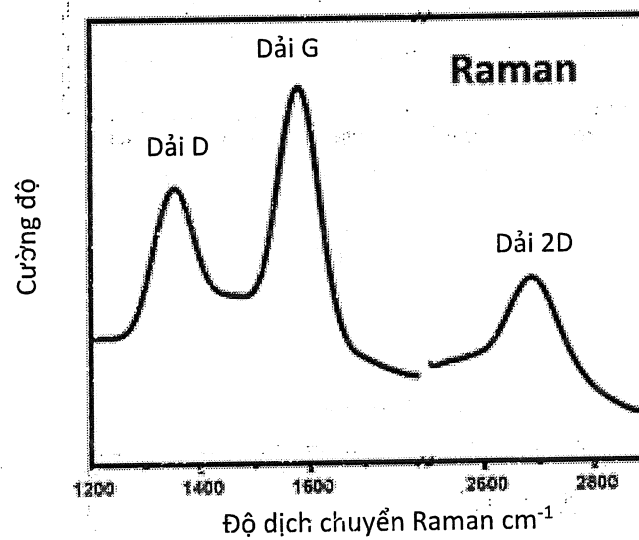


Fig.7

Fig.8

8/11

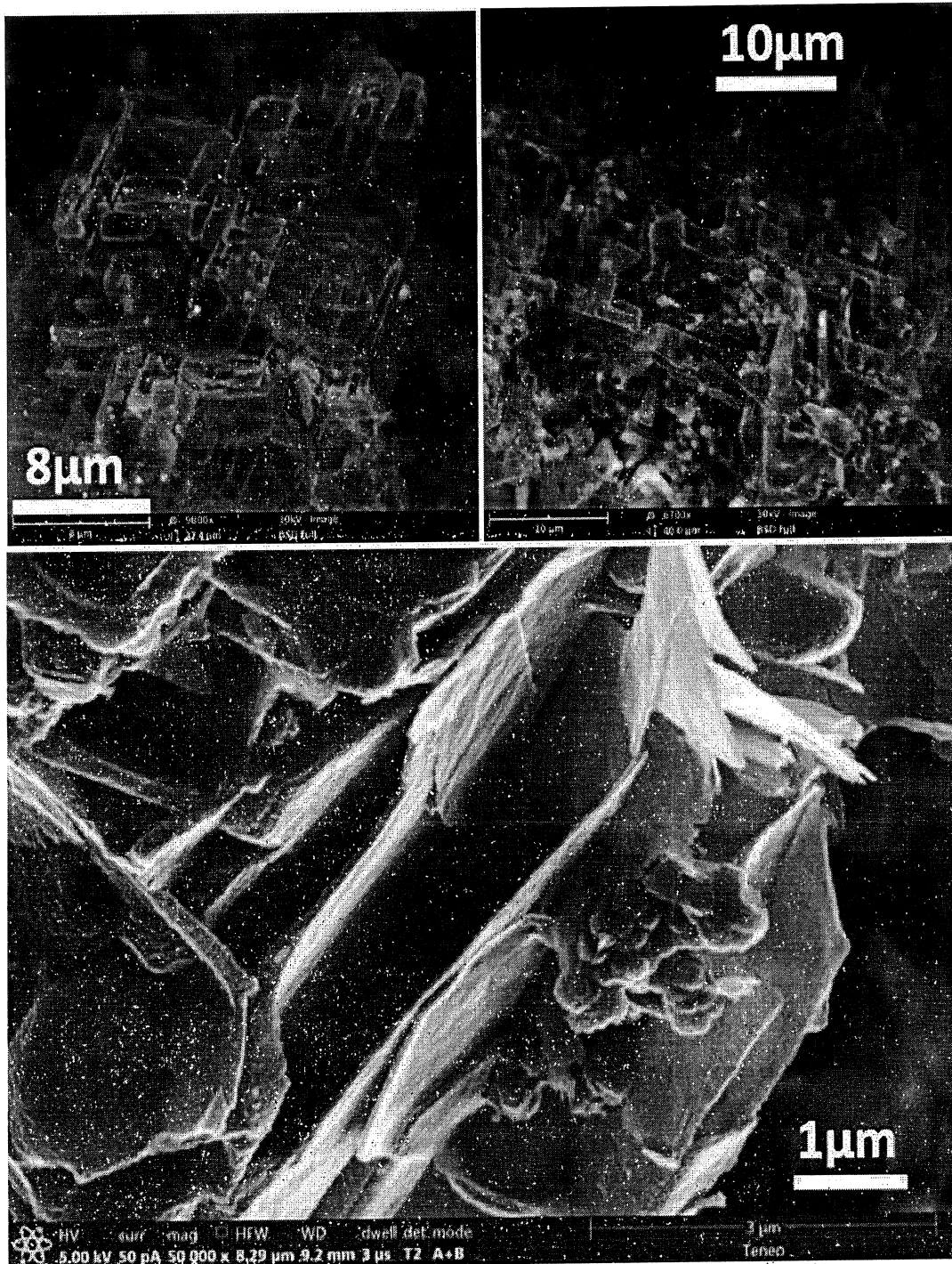


Fig.9

9/11

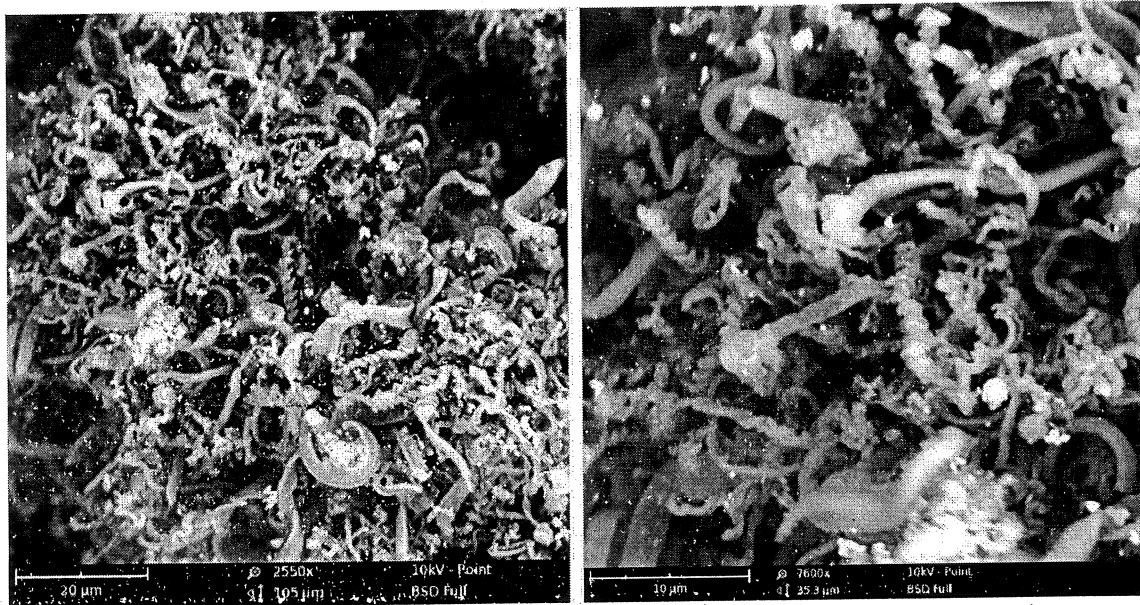


Fig.10

10/11

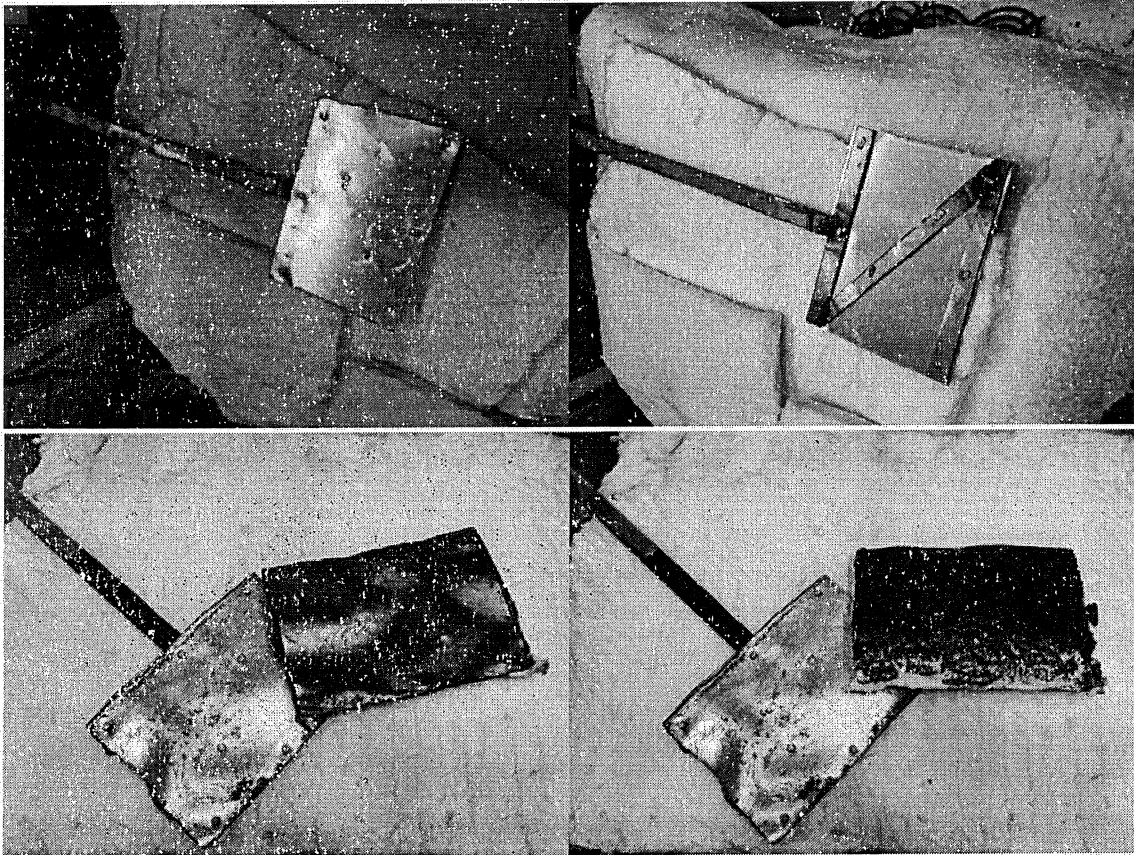


Fig.11

11/11

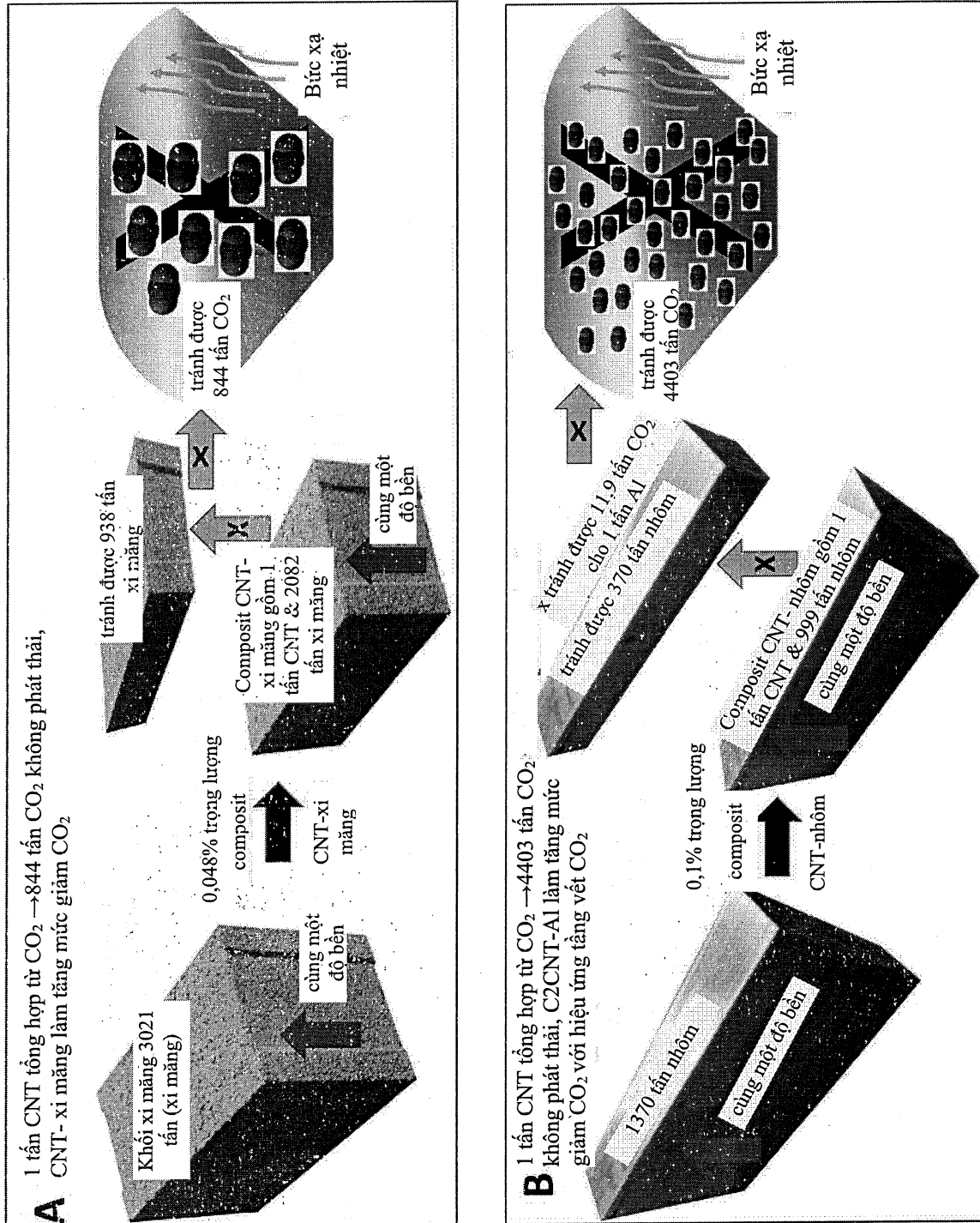


Fig.12