



(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)



1-0028870

(51)⁷ C21D 8/04; C22C 38/12; C22C 38/04; (13) B
C21D 9/48; C22C 38/02

(21) 1-2016-04499

(22) 07/05/2015

(86) PCT/IB2015/000651 07/05/2015

(87) WO2015/177615 26/11/2015

(30) PCT/IB2014/000785 20/05/2014 IB

(45) 25/07/2021 400

(43) 27/02/2017 347A

(73) ARCELORMITTAL (LU)

24-26, Boulevard d'Avranches, L-1160 Luxembourg, LUXEMBOURG

(72) ARLAZAROV, Artem (FR); HELL, Jean-Christophe (FR); KEGEL, Frédéric (FR).

(74) Công ty Luật TNHH Phạm và Liên danh (PHAM & ASSOCIATES)

(54) TẤM THÉP ĐƯỢC Ủ HAI LẦN VÀ PHƯƠNG PHÁP SẢN XUẤT TẤM THÉP NÀY

(57) Sáng chế đề cập tới tấm thép được ủ hai lần, có thành phần tính theo tỷ lệ phần trăm khối lượng: $0,20\% \leq C \leq 0,40\%$, $0,8\% \leq Mn \leq 1,4\%$, $1,60\% \leq Si \leq 3,00\%$, $0,015 \leq Nb \leq 0,150\%$, $Al \leq 0,1\%$, $Cr \leq 1,0\%$, $S \leq 0,006\%$, $P \leq 0,030\%$, $Ti \leq 0,05\%$, $V \leq 0,05\%$, $B \leq 0,003\%$, $N \leq 0,01\%$, phần còn lại là sắt và các tạp chất không tránh khỏi trong quá trình sản xuất, tấm thép này có cấu trúc tế vi cấu thành bởi, tính theo tỷ lệ phần trăm diện tích, từ 10% tới 30% austenit dư, từ 30% tới 60% mactensit ủ, từ 5% tới 30% bainit, từ 10% tới 30% mactensit mới và ít hơn 10% ferit. Sáng chế cũng đề cập đến phương pháp sản xuất tấm thép này.

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến việc sản xuất tấm thép được ủ hai lần độ bền cao có đồng thời cả độ bền cơ học lẫn độ dai thích hợp để có thể tạo hình nguội. Cụ thể hơn, sáng chế đề cập tới tấm thép có độ bền cơ học lớn hơn hoặc bằng 980 MPa, ứng suất đàn hồi lớn hơn hoặc bằng 650 MPa, độ dẫn dài đều lớn hơn hoặc bằng 15% và độ dẫn dài tại điểm đứt lớn hơn hoặc bằng 20%.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Đòi hỏi bức thiết đối với việc giảm phát thải khí nhà kính cùng với các yêu cầu nghiêm ngặt ngày càng cao đối với vấn đề an toàn trong lĩnh vực xe hơi và giá nhiên liệu tăng đã khiến cho các nhà sản xuất xe cộ đường bộ chạy bằng động cơ được khích lệ trong việc sử dụng ngày càng nhiều hơn các loại thép có độ bền cơ học cải thiện làm thân xe sao cho giảm được độ dày của các bộ phận và do đó giảm khối lượng của xe trong khi vẫn duy trì được độ bền cơ học của toàn bộ kết cấu. Nhằm mục đích này, các loại thép kết hợp được cả độ bền cao lẫn khả năng tạo hình đủ để tạo hình mà không làm xuất hiện các vết nứt đang trở nên ngày một quan trọng. Theo tiến trình thời gian và lần lượt, nhiều dòng thép có độ bền cơ học khác nhau đã được đề xuất. Các dòng này gồm có thép DP (thép song pha), thép TRIP (thép được dẻo hóa nhờ chuyển pha), thép đa pha và cả thép tỷ trọng thấp (FeAl).

Để đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng đối với xe cộ có khối lượng nhẹ, cần phải có các loại thép khỏe hơn để bù cho việc giảm độ dày. Tuy nhiên, trong lĩnh vực thép cacbon đã biết rằng việc tăng độ bền cơ học nói chung thường đi kèm với việc làm mất độ dai. Ngoài ra, các nhà sản xuất xe cộ đường bộ có gắn động cơ đang thiết kế các bộ phận ngày càng phức tạp đòi hỏi phải có các loại thép có độ dai cao.

EP1365037A1 bộc lộ thép có thành phần hóa học sau theo tỷ lệ phần trăm khối lượng: C: từ 0,06 tới 0,25%, Si + Al: từ 0,5 tới 3%, Mn: từ 0,5 tới 3%, P: 0,15% hoặc ít hơn, S: 0,02% hoặc ít hơn, và cũng tùy ý còn chứa ít nhất một trong số các thành phần sau theo tỷ lệ phần trăm khối lượng: Mo: 1% hoặc ít hơn, Ni: 0,5% hoặc ít hơn, Cu: 0,5% hoặc ít hơn, Cr: 1% hoặc ít hơn, Ti: 0,1% hoặc ít hơn, Nb: 0,1% hoặc ít hơn, V: ít nhất 0,1%, Ca: 0,003% hoặc ít hơn và/hoặc REM: 0,003% hoặc ít hơn, kết hợp với cấu trúc tế vi bao gồm mactensit ram hoặc bainit ram chiếm 50% hoặc nhiều hơn tính theo tỷ lệ phần trăm diện tích, hoặc mactensit ram hoặc bainit ram chiếm 15% hoặc nhiều hơn về hệ số không gian so với toàn bộ cấu trúc và cũng bao gồm ferit, mactensit ram hoặc bainit ram và cấu trúc pha thứ hai bao gồm austenit ram chiếm từ 3% tới 30% theo tỷ lệ phần trăm diện tích và cũng tùy ý bao gồm bainit và/hoặc mactensit, còn austenit dư có nồng độ C (C gamma R) bằng 0,8% hoặc nhiều hơn. Giải pháp theo đơn đó không thể đạt được độ bền với mức cao cần thiết để có thể giảm đáng kể độ dày và do đó giảm khối lượng của tấm thép dùng trong công nghiệp ô tô.

Tiếp theo, US20110198002A1 cũng bộc lộ thép mạ nhúng nóng có độ bền cao với độ bền cơ học lớn hơn 1200 MPa, độ dẫn dài lớn hơn 13% và tỷ lệ nong rộng lỗ lớn hơn 50% cũng như phương pháp sản xuất thép này, khởi đầu từ nguyên liệu có thành phần hóa học như sau: 0,05-0,5% cacbon, 0,01-2,5% silic, 0,5-3,5% mangan, 0,003-0,100% phospho, tối đa 0,02% lưu huỳnh, và 0,010-0,5% nhôm, phần còn lại là các tạp chất. Cấu trúc tế vi của thép này bao gồm, tính theo tỷ lệ phần trăm diện tích, 0-10% ferit, 0-10% mactensit và 60-95% mactensit ram, và chứa 5-20% austenit dư, theo tỷ lệ xác định được bằng phương pháp nhiễu xạ tia X. Tuy nhiên, độ dai của thép thu được vẫn ở mức thấp, gây bất lợi cho việc định hình các bộ phận làm từ sản phẩm thu được trên cơ sở thông tin chứa trong tài liệu đó.

Sau cùng, bài báo "Fatigue strength of newly developed high-strength low alloy TRIP-aided steels with good hardenability" đã công bố kết quả nghiên cứu thép có thành phần gồm: 0,4% C, 1,5% Si, 1,5% Mn, 0-1,0% Cr, 0-0,2% Mo, 0,05% Nb, 0-18 ppm B để dùng trong công nghiệp ô tô. Thép này có độ bền mỏi tốt hơn nhiều so với các thép thông thường. Đặc tính này còn được cải thiện hơn nữa

bằng cách bổ sung B, Cr và Mo. Cấu trúc tế vi của thép này có tác dụng TRIP nhờ hàm lượng cao của austenit dư chưa ổn định có thể ngăn ngừa sự tạo thành và lan ra của mầm vết nứt do có sự giảm ứng suất dẻo và tạo thành mactensit trong quá trình chuyển pha từ austenit. Bài báo đó bộc lộ phương pháp sản xuất thép có độ cân bằng tuyệt vời giữa độ bền và độ dai, tuy nhiên thành phần hóa học cũng như phương pháp sản xuất được bộc lộ không những không thích hợp với quy mô sản xuất công nghiệp mà còn gây khó khăn cho việc phủ lớp mạ.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế này là giải quyết các vấn đề nêu trên. Sáng chế đề xuất thép cán nguội có độ bền cơ học lớn hơn hoặc bằng 980 MPa, giới hạn đàn hồi lớn hơn hoặc bằng 650 MPa cùng với độ dẫn dài đều lớn hơn hoặc bằng 15%, độ dẫn dài tại điểm đứt lớn hơn hoặc bằng 20%, cũng như phương pháp sản xuất thép này. Giải pháp theo sáng chế có thể sản xuất được thép một cách ổn định.

Nhằm mục đích này, sáng chế đề xuất tấm thép có thành phần, tính theo tỷ lệ phần trăm khối lượng, bao gồm $0,20\% \leq C \leq 0,40\%$, tốt hơn là $0,22\% \leq C \leq 0,332\%$, $0,8\% \leq Mn \leq 1,4\%$, tốt hơn là $1,0\% \leq Mn \leq 1,4\%$, $1,60\% \leq Si \leq 3,00\%$, tốt hơn là $1,8\% \leq Si \leq 2,5\%$, $0,015 \leq Nb \leq 0,150\%$, tốt hơn là $0,020 \leq Nb \leq 0,13\%$, $Al \leq 0,1\%$, $Cr \leq 1,0\%$, tốt hơn là $Cr \leq 0,5\%$, $S \leq 0,006\%$, $P \leq 0,030\%$, $Ti \leq 0,05\%$, $V \leq 0,05\%$, $Mo < 0,03\%$, $B \leq 0,003\%$, $N \leq 0,01\%$, phần còn lại gồm có sắt và các tạp chất không tránh khỏi trong quá trình sản xuất, với cấu trúc tế vi cấu thành bởi, tính theo tỷ lệ phần trăm diện tích, từ 10% tới 30% austenit dư, từ 30% tới 60% mactensit ủ, từ 5% tới 30% bainit, từ 10% tới 30% mactensit mới và ít hơn 10% ferit.

Tốt hơn nếu tấm thép theo sáng chế bao gồm lớp mạ bằng kẽm hoặc hợp kim kẽm hoặc lớp mạ bằng nhôm hoặc hợp kim nhôm. Các lớp mạ này có thể được tạo hợp kim với sắt hoặc không, và tấm này được gọi là tấm thép mạ điện (GI/GA).

Lý tưởng là tấm thép theo sáng chế thể hiện được các đặc tính cơ học như độ bền cơ học lớn hơn hoặc bằng 980 MPa, ứng suất đàn hồi lớn hơn hoặc bằng 650

MPa, độ dẫn dài đều lớn hơn hoặc bằng 15% và độ dẫn dài tại điểm đứt lớn hơn hoặc bằng 20%.

Một mục đích khác của sáng chế là đề xuất phương pháp sản xuất tấm thép cán nguội, ủ hai lần và tùy ý có lớp mạ, bao gồm các bước theo trình tự sau:

- tạo ra thép có thành phần theo sáng chế,
- đúc thép này thành bán thành phẩm, tiếp đó
- nung bán thành phẩm này tới nhiệt độ T_{rech} nằm trong khoảng từ 1100°C tới 1280°C để thu được bán thành phẩm đã được nung nóng lại, tiếp đó
- cán nóng bán thành phẩm đã được nung nóng lại này, trong đó nhiệt độ ở cuối công đoạn cán nóng T_H là lớn hơn hoặc bằng 900°C để thu được tấm thép cán nóng, tiếp đó
- cuộn tấm thép đã được cán nóng này ở nhiệt độ T_{bob} nằm trong khoảng từ 400°C tới 600°C để thu được tấm thép cán nóng dạng cuộn, tiếp đó
- làm nguội tấm thép cán nóng dạng cuộn này tới nhiệt độ môi trường, tiếp đó
- tháo cuộn tấm thép cán nóng dạng cuộn này và tẩy gỉ, tiếp đó
- cán nguội tấm thép cán nóng này với hệ số giảm nằm trong khoảng từ 30 tới 80% để thu được tấm thép cán nguội, tiếp đó
- ủ tấm thép cán nguội này lần thứ nhất bằng cách gia nhiệt nó với tốc độ V_{C1} nằm trong khoảng từ 2 tới 50°C/s tới nhiệt độ $T_{soaking1}$ nằm trong khoảng từ $TS1 = 910,7 - 431,4 \cdot C - 45,6 \cdot Mn + 54,4 \cdot Si - 13,5 \cdot Cr + 52,2 \cdot Nb$, trong đó các hàm lượng được biểu thị bằng tỷ lệ phần trăm khối lượng, tới 950°C, trong khoảng thời gian $t_{soaking1}$ từ 30 tới 200 giây, tiếp đó
- làm nguội tấm thép này tới nhiệt độ môi trường với tốc độ lớn hơn hoặc bằng 30°C/s, tiếp đó

- ủ tấm thép này lần thứ hai bằng cách tái gia nhiệt nó với tốc độ V_{C2} nằm trong khoảng từ 2 tới 50°C tới nhiệt độ T_{soaking2} nằm trong khoảng từ A_{c1} tới $TS=906,5 - 440,6 \cdot C - 44,5 \cdot Mn + 49,2 \cdot Si - 12,4 \cdot Cr + 55,9 \cdot Nb$, trong khoảng thời gian t_{soaking2} từ 30 tới 200 giây, tiếp đó
- làm nguội tấm thép này với tốc độ lớn hơn hoặc bằng 30°C/s tới nhiệt độ cuối của công đoạn làm nguội T_{OA} nằm trong khoảng từ 420°C tới 480°C , tiếp đó
- duy trì nhiệt độ tấm thép này trong khoảng từ 420 tới 480°C trong khoảng thời gian t_{OA} từ 5 tới 120 giây, tiếp đó
- tùy ý, tạo lớp mạ trên tấm thép này trước khi làm nguội nó tới nhiệt độ môi trường.

Theo một phương án ưu tiên, phương pháp theo sáng chế còn bao gồm bước ủ cơ bản tấm thép cán nóng dạng cuộn được thực hiện trước bước cán nguội sao cho tấm thép này được gia nhiệt, tiếp đó được giữ ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 400°C tới 700°C trong khoảng thời gian từ 5 tới 24 giờ.

Tốt hơn nếu tấm thép này được giữ ở nhiệt độ cuối của công đoạn làm nguội T_{OA} theo cách đẳng nhiệt ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 420 tới 480°C trong thời gian từ 5 tới 120 giây.

Tốt hơn nếu tấm thép cán nguội đã ủ hai lần sau đó được cán nguội với hệ số cán nguội nằm trong khoảng từ 0,1 tới 3% trước khi tạo lớp mạ.

Theo một phương án ưu tiên, tấm thép được ủ hai lần được gia nhiệt lần cuối tới nhiệt độ duy trì T_{base} nằm trong khoảng từ 150°C tới 190°C trong khoảng thời gian duy trì t_{base} từ 10 giờ tới 48 giờ.

Tốt hơn nếu ở cuối giai đoạn duy trì ở nhiệt độ T_{OA} , tấm thép được mạ bằng cách nhúng nóng vào bể chứa một trong số các kim loại sau ở thể lỏng: Al, Zn, hợp kim Al hoặc hợp kim Zn.

Tấm thép cán nguội ủ hai lần và có lớp mạ theo sáng chế hoặc được sản xuất bằng phương pháp theo sáng chế được sử dụng để sản xuất các bộ phận của xe cộ đường bộ có gắn động cơ.

Mô tả chi tiết sáng chế

Các đặc trưng và ưu điểm khác của sáng chế sẽ được làm rõ trong phần mô tả dưới đây.

Theo sáng chế, hàm lượng cacbon tính theo khối lượng nằm trong khoảng từ 0,20 và 0,40%. Nếu hàm lượng cacbon của thép theo sáng chế thấp hơn 0,20% tính theo khối lượng, thì độ bền cơ học sẽ không đủ mức, còn austenit dư cũng không đủ lượng và không đủ ổn định để đạt được độ dẫn dài đều lớn hơn 15%. Nếu hàm lượng cacbon của thép theo sáng chế lớn hơn 0,40%, thì khả năng chịu hàn bị giảm đáng kể do có các cấu trúc tế vi kém cứng chắc được tạo thành trong vùng bị ảnh hưởng nhiệt (HAZ) hoặc trong vùng nóng chảy đối với trường hợp hàn điện trở. Theo một phương án ưu tiên, hàm lượng cacbon nằm trong khoảng từ 0,22 tới 0,32%. Trong khoảng này, khả năng chịu hàn ở mức thỏa đáng, độ ổn định của austenit là tối ưu và lượng mactensit mới nằm trong khoảng được xác định theo sáng chế.

Theo sáng chế, hàm lượng mangan nằm trong khoảng từ 0,8 tới 1,4%. Mangan là nguyên tố làm tăng độ cứng bằng cách tạo thành dung dịch rắn thay thế. Nó làm ổn định austenit và làm giảm nhiệt độ chuyển pha Ac3. Mangan do đó góp phần làm tăng độ bền cơ học. Theo sáng chế, hàm lượng tối thiểu bằng 0,8% tính theo khối lượng là cần thiết để thu được các đặc tính cơ học mong muốn. Tuy nhiên, ở hàm lượng lớn hơn 1,4%, thì đặc tính tạo pha gamma của nó sẽ làm chậm động học quá trình chuyển pha bainit xảy ra trong giai đoạn duy trì ở nhiệt độ cuối của công đoạn làm nguội T_{OA} và lượng bainit vẫn chưa đủ để đạt được độ bền đàn hồi lớn hơn 650 MPa. Tốt hơn nếu hàm lượng mangan được chọn nằm trong khoảng từ 1,0% tới 1,4%, là khoảng kết hợp được độ bền cơ học thỏa đáng mà không tăng nguy cơ làm giảm lượng bainit và do đó làm giảm ứng suất đàn hồi,

hoặc làm tăng khả năng cứng hóa của các hợp kim hàn, là các yếu tố gây tác dụng bất lợi tới khả năng chịu hàn của tấm thép theo sáng chế.

Hàm lượng silic cần phải nằm trong khoảng từ 1,6 tới 3,0%. Trong khoảng này, việc bổ sung silic có thể làm ổn định austenit dư, làm chậm đáng kể sự kết tụ carbua trong chu trình ủ và cụ thể hơn trong quá trình chuyển pha bainit. Đó là do khả năng hòa tan của silic trong xementit là rất thấp và do nguyên tố này thường làm tăng hoạt tính của cacbon trong austenit. Mọi sự tạo thành xementit do đó sẽ xảy ra sau khi Si thoát ra ở mặt phân giới. Sự tăng hàm lượng cacbon trong austenit do đó sẽ tạo tính ổn định ở nhiệt độ môi trường cho tấm thép được ủ hai lần và có lớp mạ. Sau đó, việc tác động bằng một ứng suất từ bên ngoài, trong công đoạn định hình chẳng hạn, sẽ làm cho austenit này chuyển pha thành martensit. Kết quả của quá trình chuyển pha này cũng cải thiện khả năng chống phá hủy. Silic cũng là nguyên tố rất mạnh trong việc tạo độ cứng cho dung dịch rắn và do đó làm cho chúng có thể đạt được độ đàn hồi và độ bền cơ học như được xác định theo sáng chế. Đối với các đặc tính được xác định theo sáng chế, việc bổ sung silic với lượng lớn hơn 3,0% sẽ đẩy mạnh đáng kể sự tạo thành ferit và do vậy sẽ không thể đạt được độ bền cơ học cần thiết. Ngoài ra, các oxit có tính bám dính mạnh hình thành sẽ tạo ra các khuyết tật bề mặt và làm mất độ bám dính của lớp mạ bằng kẽm hoặc hợp kim kẽm. Do đó, hàm lượng tối thiểu của nguyên tố này cần phải ở mức 1,6% tính theo khối lượng để thu được tác dụng ổn định đối với austenit. Hàm lượng silic tốt hơn là nằm trong khoảng từ 1,8 tới 2,5% để tối ưu hóa các tác dụng nêu trên.

Hàm lượng crom cần phải được hạn chế ở mức 1,0%. Nguyên tố này có thể kiểm soát sự tạo thành ferit trước cùng tích khi làm nguội trong công đoạn ủ từ nhiệt độ duy trì T_{soaking1} hoặc T_{soaking2} nêu trên, vì với lượng lớn thì ferit này sẽ làm giảm độ bền cơ học cần thiết cho tấm thép theo sáng chế. Nguyên tố này cũng có thể làm tăng độ cứng và làm mịn cấu trúc tế vi bainit. Tuy nhiên, nguyên tố này làm chậm đáng kể động học quá trình chuyển pha bainit. Tuy nhiên, ở mức lớn hơn 1,0% thì bainit vẫn chưa đủ để đạt được ứng suất đàn hồi lớn hơn 650 MPa.

Niken và đồng có tác dụng về cơ bản tương tự như mangan. Hai nguyên tố này chỉ được có mặt với lượng vết, cụ thể là 0,05% cho mỗi nguyên tố, nhưng chỉ là vì giá thành của chúng đắt hơn nhiều so với mangan.

Hàm lượng nhôm được hạn chế ở mức 0,1% tính theo khối lượng. Nhôm là nguyên tố tạo pha alpha mạnh, thúc đẩy sự tạo thành ferit. Hàm lượng nhôm cao sẽ làm tăng điểm Ac_3 và do vậy làm cho quy trình công nghiệp trở nên đắt đỏ hơn dưới khía cạnh năng lượng cần dùng để ủ. Người ta cũng cho rằng hàm lượng nhôm cao sẽ làm tăng độ bào mòn vật liệu chịu lửa và nguy cơ gây tắc vòi phun trong quá trình đúc thép trước khi cán. Nhôm cũng tạo thiên tích có tác dụng tiêu cực và có thể dẫn tới thiên tích vĩ mô. Với lượng dư, nhôm làm giảm độ dai nóng và làm tăng nguy cơ xuất hiện khuyết tật trong quá trình đúc liên tục. Nếu không kiểm soát chặt chẽ các điều kiện đúc, thì cuối cùng các khuyết tật thiên tích vi mô và thiên tích vĩ mô sẽ tạo thành thiên tích ở vùng trung tâm của tấm thép sau khi ủ. Dải trung tâm này sẽ cứng hơn nền xung quanh và sẽ gây tác dụng bất lợi tới khả năng tạo hình của vật liệu.

Hàm lượng lưu huỳnh cần phải thấp hơn 0,006%. Nếu hàm lượng cao hơn giá trị này, thì độ dai bị giảm do sự có mặt với lượng dư của các sulfua như MnS , còn được gọi là mangan sulfua, do đó làm giảm độ thích hợp để biến dạng.

Hàm lượng phospho cần phải thấp hơn 0,030%. Phospho là nguyên tố làm tăng độ cứng trong dung dịch rắn nhưng cũng làm giảm đáng kể độ thích hợp để hàn điểm và độ dai nóng, đặc biệt là do nó có xu hướng tạo thiên tích ở ranh giới hạt hoặc tạo đồng thiên tích với mangan. Vì các lý do này, hàm lượng của nó cần phải được hạn chế ở mức 0,030% để đạt được độ thích hợp hàn điểm phù hợp.

Hàm lượng niobi cần phải nằm trong khoảng từ 0,015 tới 0,150%. Niobi là nguyên tố vi hợp kim có tính chất đặc biệt là tạo thành các kết tủa với cacbon và/hoặc nitơ để làm tăng độ cứng. Các kết tủa này, đã có mặt trong thời gian thực hiện công đoạn cán nóng, làm trễ sự tái kết tinh trong công đoạn ủ và do đó làm mịn cấu trúc tế vi, cho phép nó góp phần vào việc làm tăng độ cứng của vật liệu. Nó cũng có thể cải thiện đặc tính dẫn dài bằng cách làm cho sản phẩm có khả năng được ủ ở nhiệt độ cao mà không giảm độ dẫn dài nhờ tác dụng làm mịn cấu trúc.

Tuy nhiên, hàm lượng niobi cần phải được hạn chế ở mức 0,150% để tránh phải dùng lực cán nóng quá cao. Ngoài ra, ở hàm lượng cao hơn 0,150%, tác dụng tích cực của niobi đạt mức bão hòa, đặc biệt là tác dụng làm tăng độ cứng bằng cách làm mịn cấu trúc tế vi. Mặt khác, hàm lượng niobi cần phải lớn hơn hoặc bằng 0,015%, là hàm lượng khiến nó có thể có tác dụng làm tăng độ cứng của ferit khi có mặt và việc làm tăng độ cứng như vậy là được mong muốn, cũng như tác dụng làm mịn ở mức đủ để ổn định nhiều hơn austenit dư, và cũng để đảm bảo cho độ dẫn dài đều như được xác định theo sáng chế. Hàm lượng Nb này tốt hơn là nằm trong khoảng từ 0,020 tới 0,13 để tối ưu hóa các tác dụng nêu trên.

Các nguyên tố vi hợp kim khác như titan và vanadi được hạn chế ở mức tối đa là 0,05% vì các nguyên tố này có cùng tác dụng có lợi như niobi mặc dù chúng có đặc điểm là làm giảm mạnh hơn độ dai của sản phẩm.

Hàm lượng nitơ được hạn chế ở mức 0,01% để ngăn ngừa hiện tượng hóa già của vật liệu và giảm thiểu sự kết tụ của nhôm nitrua (AlN) trong quá trình hóa rắn và do đó sự hóa giòn của bán thành phẩm.

Bo và molybden có mặt ở mức tạp chất, tức là mức thấp hơn 0,003 cho bo và 0,03 cho molybden.

Phần còn lại của thành phần tấm thép cấu thành bởi sắt và các tạp chất không tránh khỏi trong quá trình sản xuất.

Theo sáng chế, cấu trúc tế vi của thép sau công đoạn ủ thứ nhất cần phải chứa, tính theo tỷ lệ phần trăm diện tích, ít hơn 10% ferit đa cạnh, với phần còn lại của cấu trúc tế vi có thành phần là mactensit mới hoặc mactensit ram. Nếu hàm lượng ferit đa cạnh lớn hơn 10%, thì độ bền cơ học và ứng suất đàn hồi của thép này sau công đoạn ủ thứ hai sẽ thấp hơn lần lượt 980 MPa và 650 MPa. Ngoài ra, hàm lượng ferit đa cạnh lớn hơn 10% tại điểm kết thúc công đoạn ủ thứ nhất sẽ dẫn đến hàm lượng ferit đa cạnh tại điểm kết thúc công đoạn ủ thứ hai lớn hơn 10%, điều này sẽ làm cho ứng suất đàn hồi và độ bền cơ học trở nên quá thấp so với yêu cầu của sáng chế.

Cấu trúc tế vi của thép sau công đoạn ủ thứ hai cần phải chứa, tính theo tỷ lệ phần trăm diện tích, từ 10% tới 30% austenit dư. Nếu hàm lượng austenit dư ít hơn 10%, thì độ dẫn dài đều sẽ thấp hơn 15% vì austenit dư này sẽ quá ổn định và không thể chuyển pha thành mactensit dưới ứng suất cơ học để làm tăng đáng kể độ cứng làm việc của thép này, trì hoãn trên thực tế sự xuất hiện điểm thắt và làm tăng độ dẫn dài đều. Nếu hàm lượng austenit dư lớn hơn 30%, thì austenit dư này sẽ không ổn định vì nó không có đủ lượng cacbon cần thiết trong công đoạn ủ thứ hai và khi duy trì ở nhiệt độ cuối của công đoạn làm nguội T_{OA} , và độ dai của thép này sau công đoạn ủ thứ hai sẽ bị giảm, dẫn đến độ dẫn dài đều thấp hơn 15% và/hoặc độ dẫn dài tổng thấp hơn 20%.

Ngoài ra, sau công đoạn ủ thứ hai, thép theo sáng chế cần phải chứa, tính theo tỷ lệ phần trăm diện tích, từ 30% tới 60% mactensit ủ, tức là mactensit tạo thành từ công đoạn ủ thứ nhất, được ủ trong công đoạn ủ thứ hai và khác biệt với mactensit mới ở chỗ có ít hơn khuyết tật mạng tinh thể, và khác biệt với mactensit ram ở chỗ không có các carbua trong mạng của nó. Nếu hàm lượng mactensit ủ thấp hơn 30%, thì độ dai của thép này sẽ là quá thấp vì hàm lượng austenit dư là quá nhỏ do nó không có đủ lượng cacbon cần thiết và lượng mactensit mới sẽ quá cao, dẫn đến độ dẫn dài đều thấp hơn 15%. Nếu hàm lượng mactensit ủ lớn hơn 60%, thì độ dai của thép này sẽ quá thấp do austenit dư quá ổn định và không thể chuyển pha thành mactensit dưới tác dụng của ứng suất cơ học, mà kết quả là làm giảm độ dai của thép theo sáng chế và làm cho độ dẫn dài đều thấp hơn 15% và/hoặc độ dẫn dài tổng thấp hơn 20%.

Cũng theo sáng chế, cấu trúc tế vi của thép sau công đoạn ủ thứ hai cần phải chứa, tính theo tỷ lệ phần trăm diện tích, từ 5% tới 30% bainit. Sự có mặt của bainit trong cấu trúc tế vi là hợp lý do vai trò của nó trong việc làm tăng hàm lượng cacbon trong austenit dư. Trong quá trình chuyển pha bainit và nhờ sự có mặt của lượng lớn silic, cacbon được tái phân bố từ bainit sang austenit, mà kết quả là làm ổn định austenit ở nhiệt độ môi trường. Nếu hàm lượng bainit thấp hơn 5%, thì austenit dư này sẽ không có đủ lượng cacbon cần thiết và sẽ không được ổn định đủ mức, điều này sẽ làm tăng sự có mặt của mactensit mới, và sẽ dẫn đến làm giảm

đáng kể độ dai. Độ dẫn dài đều khi đó sẽ thấp hơn 15%. Nếu hàm lượng bainit lớn hơn 30%, thì nó sẽ dẫn tới austenit dư ổn định quá mức, không thể chuyển pha thành mactensit dưới tác dụng của ứng suất cơ học, kết quả là làm cho độ dẫn dài đều thấp hơn 15% và/hoặc độ dẫn dài tổng thấp hơn 20%.

Sau cùng, thép theo sáng chế và sau công đoạn ủ thứ hai cần phải chứa, tính theo tỷ lệ phần trăm diện tích, từ 10% tới 30% mactensit mới. Nếu hàm lượng của mactensit mới nhỏ hơn 10%, thì độ bền cơ học của thép này sẽ thấp hơn 980 MPa. Nếu hàm lượng này lớn hơn 30%, thì hàm lượng austenit dư sẽ quá thấp, thép tạo thành sẽ không đủ độ dẻo và độ dẫn dài đều sẽ thấp hơn 15%.

Tấm thép theo sáng chế có thể được sản xuất bằng phương pháp thích hợp bất kỳ.

Bước thứ nhất là thu được thép có thành phần theo sáng chế. Tiếp đó thép này được đúc thành bán thành phẩm. Thép có thể được đúc thành dạng thỏi hoặc đúc liên tục thành dạng phôi dẹt.

Nhiệt độ nung nóng lại cần phải nằm trong khoảng từ 1100 tới 1280°C. Các bán thành phẩm dạng đúc cần phải được nung nóng tới nhiệt độ T_{rech} lớn hơn 1100°C sao cho mọi điểm của bán thành phẩm đã được nung nóng lại có được nhiệt độ thích hợp với các biến dạng cao mà tấm thép sẽ chịu trong công đoạn cán. Khoảng nhiệt độ này cũng làm cho thép có thể nằm trong vùng austenit và đảm bảo phân rã hoàn toàn các kết tụ tạo thành từ công đoạn đúc. Tuy nhiên, nếu nhiệt độ T_{rech} lớn hơn 1280°C, thì các hạt austenit sẽ phát triển không mong muốn, làm cho cấu trúc cuối bị thô hơn và làm tăng nguy cơ xuất hiện khuyết tật bề mặt do sự có mặt của oxit lỏng. Tất nhiên cũng có thể cán nóng tấm thép này ngay sau công đoạn đúc mà không cần nung nóng lại phôi dẹt.

Tiếp đó, bán thành phẩm thu được được cán nóng ở khoảng nhiệt độ trong đó cấu trúc của thép này hoàn toàn là austenit. Nếu nhiệt độ ở cuối công đoạn cán nóng T_f thấp hơn 900°C, thì lực cán rất cao và có thể phải cần rất nhiều năng lượng hoặc thậm chí có thể làm hỏng trục cán. Tốt hơn nếu nhiệt độ ở cuối công đoạn cán nóng này được giữ ở mức cao hơn 950°C để đảm bảo cho công đoạn cán được thực hiện trong vùng austenit và do đó hạn chế được lực cán.

Tiếp đó, sản phẩm cán nóng thu được sẽ được cuộn ở nhiệt độ T_{bob} nằm trong khoảng từ 400 tới 600°C. Ở khoảng nhiệt độ này có thể xảy ra các quá trình chuyển pha ferit, bainit hoặc peclit khi duy trì nhiệt độ giả đẳng nhiệt ở công đoạn cuộn và công đoạn làm nguội chậm sau đó, làm giảm tới mức tối thiểu tỷ lệ mactensit sau công đoạn làm nguội. Nhiệt độ công đoạn cuộn lớn hơn 600°C dẫn tới sự tạo thành các oxit không mong muốn trên bề mặt. Khi nhiệt độ công đoạn cuộn này quá thấp, dưới 400°C, thì độ cứng của sản phẩm sau công đoạn làm nguội sẽ tăng, dẫn tới làm tăng lực cần dùng trong công đoạn cán nguội tiếp theo.

Tiếp đó, sản phẩm cán nóng thu được được tẩy gỉ, nếu cần, bằng các phương pháp đã biết.

Tùy ý, phương pháp theo sáng chế còn có thể có công đoạn trung gian là công đoạn ủ theo mẻ các tấm thép cán nóng dạng cuộn được thực hiện trong khoảng nhiệt độ từ T_{RB1} tới T_{RB2} trong đó $T_{RB1} = 400^{\circ}\text{C}$ và $T_{RB2} = 700^{\circ}\text{C}$ trong khoảng thời gian từ 5 tới 24 giờ. Việc nhiệt luyện này làm cho độ bền cơ học có thể hạ xuống thấp hơn 1000 MPa tại mỗi điểm trong tấm thép cán nóng, nhờ đó giảm thiểu được sự chênh lệch độ cứng giữa phần trung tâm và phần mép ngoài của tấm thép. Điều này sẽ tạo nhiều thuận lợi cho công đoạn cán nguội tiếp theo bằng cách làm mềm cấu trúc tạo thành.

Tiếp đó, công đoạn cán nguội được tiến hành với hệ số giảm tốt hơn là nằm trong khoảng từ 30 tới 80%.

Tiếp đó, sản phẩm cán nguội thu được được ủ lần thứ nhất, tốt hơn là trên dây chuyền ủ liên tục, với tốc độ gia nhiệt trung bình V_C nằm trong khoảng từ 2 tới 50°C trên giây. Đối với nhiệt độ ủ $T_{soaking1}$, khoảng tốc độ gia nhiệt này cho phép xảy ra tái kết tinh và làm cho cấu trúc đủ mịn. Với tốc độ thấp hơn 2°C trên giây, nguy cơ xảy ra hiện tượng khử cacbon bề mặt sẽ tăng đáng kể. Với tốc độ cao hơn 50°C trên giây, sẽ xuất hiện vết các carbua không tái kết tinh và không tan trong quá trình ủ, kết quả là sẽ làm giảm lượng austenit dư và gây tác dụng tiêu cực đến độ dai.

Việc gia nhiệt được thực hiện cho đến khi đạt nhiệt độ ủ $T_{soaking1}$ nằm trong khoảng từ nhiệt độ $TS1$ tới 950°C, trong đó $TS1 = 910,7 - 431,4 \cdot C - 45,6 \cdot Mn +$

$54,4 \cdot \text{Si} - 13,5 \cdot \text{Cr} + 52,2 \cdot \text{Nb}$, với nhiệt độ được tính theo $^{\circ}\text{C}$ và thành phần hóa học được tính theo tỷ lệ phần trăm khối lượng. Khi T_{soaking1} thấp hơn $TS1$, ferit đa cạnh sẽ có mặt với lượng lớn hơn 10% và do đó nằm ngoài khoảng nhiệt độ được xác định theo sáng chế này. Ngược lại, nếu T_{soaking1} cao hơn 950°C , kích thước hạt austenit sẽ tăng đáng kể, gây tác dụng tiêu cực đến việc làm mịn cấu trúc tế vi cuối và do đó làm cho giới hạn đàn hồi thấp hơn 650 MPa.

Thời gian duy trì t_{soaking1} trong khoảng từ 30 tới 200 giây ở nhiệt độ T_{soaking1} có thể làm phân rã các carbua tạo ra trước đó, và đặc biệt là chuyển chúng thành austenit. Nếu thời gian duy trì ít hơn 30 giây, các carbua sẽ phân rã không đủ mức. Ngoài ra, thời gian duy trì lâu hơn 200 giây sẽ khó đáp ứng được yêu cầu về năng suất của dây chuyền ủ liên tục, đặc biệt là về tốc độ dịch chuyển cuộn thép. Ngoài ra, cũng xuất hiện nguy cơ làm thô các hạt austenit như trong trường hợp nhiệt độ T_{soaking1} cao hơn 950°C , với cùng hậu quả là làm cho giới hạn đàn hồi thấp hơn 650 MPa. Do đó, thời gian duy trì t_{soaking1} cần phải nằm trong khoảng từ 30 tới 200 giây.

Ở cuối giai đoạn duy trì nhiệt độ trong công đoạn ủ thứ nhất, tấm thép được làm nguội tới nhiệt độ môi trường, trong đó tốc độ làm nguội V_{ref1} cần đủ nhanh để ngăn ngừa sự tạo thành ferit. Nhằm mục đích này, tốc độ làm nguội phải lớn hơn 30°C trên giây để có thể thu được cấu trúc tế vi với ít hơn 10% ferit và phần còn lại là mactensit. Tốt hơn nếu thu được cấu trúc tế vi toàn mactensit tại điểm kết thúc công đoạn ủ thứ nhất.

Sản phẩm cán nguội đã được ủ một lần tiếp đó được ủ lần thứ hai, tốt hơn là trên dây chuyền ủ-mạ điện liên tục, với tốc độ gia nhiệt trung bình V_C lớn hơn 2°C trên giây để tránh nguy cơ xảy ra hiện tượng khử cacbon bề mặt. Tốt hơn là tốc độ gia nhiệt trung bình phải thấp hơn 50°C trên giây để ngăn ngừa sự có mặt của các carbua không tan trong giai đoạn duy trì nhiệt độ, khiến cho lượng austenit dư bị giảm.

Tiếp đó, tấm thép được gia nhiệt tới nhiệt độ ủ T_{soaking2} nằm trong khoảng từ nhiệt độ $Ac1 = 728 - 23,3 \cdot \text{C} - 40,5 \cdot \text{Mn} + 26,9 \cdot \text{Si} + 3,3 \cdot \text{Cr} + 13,8 \cdot \text{Nb}$ tới $TS2 = 906,5 - 440,6 \cdot \text{C} - 44,5 \cdot \text{Mn} + 49,2 \cdot \text{Si} - 12,4 \cdot \text{Cr} + 55,9 \cdot \text{Nb}$, với nhiệt độ được tính theo $^{\circ}\text{C}$ và thành phần hóa học được tính theo tỷ lệ phần trăm khối lượng. Khi

T_{soaking2} thấp hơn $Ac1$, thì không thể thu được cấu trúc tế vi như được xác định theo sáng chế mactensit tạo thành từ công đoạn ủ thứ nhất sẽ chỉ được ram. Khi T_{soaking2} lớn hơn $TS2$, thì hàm lượng mactensit ủ sẽ thấp hơn 30%, dẫn tới làm tăng sự có mặt của lượng lớn mactensit mới, làm giảm mạnh độ dai của sản phẩm.

Thời gian duy trì t_{soaking2} trong khoảng từ 30 tới 200 giây ở nhiệt độ T_{soaking2} có thể làm phân rã các carbua tạo ra trước đó, và đặc biệt là chuyển chúng thành austenit. Nếu thời gian duy trì ít hơn 30 giây, các carbua sẽ phân rã không đủ mức. Ngoài ra, thời gian duy trì lớn hơn 200 giây sẽ khó đáp ứng được yêu cầu về năng suất của dây chuyền ủ liên tục, đặc biệt là về tốc độ dịch chuyển cuộn thép. Ngoài ra, cũng xuất hiện nguy cơ làm thô các hạt austenit như trong trường hợp t_{soaking1} lâu hơn 200 giây, với cùng hậu quả là làm cho giới hạn đàn hồi thấp hơn 650 MPa. Do đó, thời gian duy trì t_{soaking2} cần phải nằm trong khoảng từ 30 tới 200 giây.

Ở cuối giai đoạn duy trì nhiệt độ trong công đoạn ủ thứ hai, tấm thép được làm nguội cho đến khi tới được nhiệt độ cuối của công đoạn làm nguội T_{OA} nằm trong khoảng từ $T_{OA1}=420^{\circ}\text{C}$ tới $T_{OA2}=480^{\circ}\text{C}$, trong đó tốc độ làm nguội V_{ref2} cần đủ nhanh để ngăn ngừa sự tạo thành nhiều ferit, tức là với hàm lượng lớn hơn 10%. Nhằm mục đích này, tốc độ làm nguội phải lớn hơn 20°C trên giây.

Nhiệt độ cuối của công đoạn làm nguội cần phải nằm trong khoảng từ $T_{OA1} = 420^{\circ}\text{C}$ tới $T_{OA2} = 480^{\circ}\text{C}$. Nếu nhiệt độ cuối thấp hơn 420°C , thì bainit tạo thành sẽ rất cứng, với nguy cơ tác dụng bất lợi tới độ dai, có thể làm giảm độ dẫn dài đều hơn 15%. Ngoài ra, nhiệt độ này là quá thấp nếu tấm thép cần phải chạy qua bể kẽm, vì bể này thường có nhiệt độ khoảng 460°C và do vậy sẽ bị làm nguội liên tục. Nếu nhiệt độ T_{OA} cao hơn 480°C , thì sẽ có nguy cơ tạo ra kết tụ xementit, là pha chứa nhiều cacbon, làm giảm lượng cacbon dùng để ổn định austenit. Ngoài ra, trong trường hợp mạ điện nhúng nóng, có nguy cơ làm bay hơi Zn lỏng và mất kiểm soát phản ứng giữa bể kẽm và tấm thép nếu nhiệt độ này quá cao, tức là trên 480°C .

Thời gian duy trì nhiệt độ t_{OA} trong khoảng từ T_{OA1} ($^{\circ}\text{C}$) tới T_{OA2} ($^{\circ}\text{C}$) cần phải nằm trong khoảng từ 5 tới 120 giây để cho phép xảy ra sự chuyển pha bainit và do vậy làm ổn định austenit nhờ có sự tăng hàm lượng cacbon trong austenit

này. Thời gian này cũng phải lớn hơn 5 giây để đảm bảo có được hàm lượng bainit theo sáng chế, nếu không thì giới hạn đàn hồi sẽ rơi xuống mức dưới 650 MPa. Thời gian này cũng phải ngắn hơn 120 giây để hạn chế hàm lượng bainit ở mức 30% theo sáng chế, nếu không thì hàm lượng austenit dư sẽ ít hơn 10% và độ dai của thép này sẽ là quá thấp, thể hiện ở độ dẫn dài đều thấp hơn 15% và/hoặc độ dẫn dài tổng thấp hơn 20%.

Ở cuối giai đoạn duy trì nhiệt độ trong khoảng từ T_{OA1} (°C) tới T_{OA2} (°C) này, tấm thép được ủ hai lần thu được mạ với lớp kẽm hoặc hợp kim kẽm (trong đó Zn là nguyên tố chính tính theo tỷ lệ phần trăm khối lượng) bằng phương pháp mạ nhúng nóng trước khi làm nguội tới nhiệt độ môi trường. Tốt hơn nếu lớp mạ kẽm hoặc hợp kim kẽm này có thể được tạo ra trên bề mặt tấm thép trần bằng phương pháp điện phân hoặc hóa-lý bất kỳ đã biết. Lớp mạ trên cơ sở nhôm hoặc hợp kim nhôm (trong đó Al là nguyên tố chính tính theo tỷ lệ phần trăm khối lượng) cũng có thể được tạo ra bằng cách mạ nhúng nóng.

Tốt hơn nếu phương pháp theo sáng chế còn có bước nhiệt luyện tấm thép cán nguội, ủ hai lần và có lớp mạ thu được trong công đoạn ủ theo mẻ bổ sung được tiến hành tiếp đó ở nhiệt độ duy trì T_{base} nằm trong khoảng từ 150°C tới 190°C trong thời gian duy trì t_{base} nằm trong khoảng từ 10 tới 48 giờ để cải thiện ứng suất đàn hồi và độ uốn. Bước này được gọi là công đoạn ủ theo mẻ bổ sung.

Sáng chế được minh họa dưới đây bằng các ví dụ không mang tính giới hạn.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Chuẩn bị thép có thành phần, biểu thị theo phần trăm khối lượng, như nêu trong bảng dưới đây. Bảng 1 biểu thị thành phần hóa học của thép được sử dụng để sản xuất các tấm thép dùng trong các ví dụ.

Bảng 1: Thành phần hóa học (tính theo tỷ lệ phần trăm khối lượng)
và các nhiệt độ tới hạn Ae1, TS1 và TS2 (theo °C)

Thép	C	Mn	Si	Al	Cr	Mo	Cu	Ni	V	Nb	S	P	B	Ti	N	Ae1	TS1	TS2
A	0,26	1,3	2,12	0,027	0,002	0,002	0,005	0,006	0,002	0,124	0,0027	0,019	0,0005	0,004	0,002	728	862	846
B	0,28	1,17	1,99	0,03	0,003	0,003	0,007	0,008	0,003	0,017	0,0036	0,014	0,00042	0,007	0,0014	727	844	829
C	0,29	1,17	1,98	0,029	0,003	0,003	0,007	0,008	0,003	0,068	0,0036	0,014	0,0004	0,006	0,0016	728	845	830
D	0,21	1,25	3,04	0,023	0,004	0,005	0,005	0,004	0,002	0,00	0,0033	0,018	0,0006	0,004	0,0015	754	927	907
E	0,19	1,68	1,55	0,053	0,024	0,006	0,007	0,017	0,004	0,001	0,002	0,009	0,0007	0,003	0,004	697	836	824

Các ký hiệu D và E trong bảng 1 chỉ các loại thép có thành phần khác với thành phần được xác định theo sáng chế. Các hàm lượng không thuộc phạm vi của sáng chế được gạch chân.

Cần đặc biệt lưu ý rằng các loại thép có ký hiệu D và E không thuộc phạm vi của sáng chế bởi vì thành phần của chúng không chứa niobi, nên ứng suất đàn hồi và độ bền cơ học của tấm thép cuối bị hạn chế do không có kết tụ làm tăng độ cứng.

Cũng cần lưu ý rằng các loại thép có ký hiệu D và E không thuộc phạm vi của sáng chế bởi vì hàm lượng silic của chúng nằm ngoài khoảng giá trị theo sáng chế. Hàm lượng silic cao hơn 3,00% sẽ làm tăng lượng ferit dư nên thép sẽ không đạt được độ bền cơ học cần thiết. Với hàm lượng silic thấp hơn 1,60% tính theo khối lượng, độ ổn định của austenit dư sẽ không đủ để thu được độ dai mong muốn.

Tiếp theo, cần lưu ý rằng loại thép có ký hiệu D không thuộc phạm vi của sáng chế bởi vì hàm lượng cacbon của nó thấp hơn giá trị theo sáng chế, điều này sẽ hạn chế độ bền cuối và độ dai của tấm thép. Ngoài ra, hàm lượng mangan quá cao, điều này sẽ hạn chế lượng bainit cuối trong tấm thép, kết quả là làm hạn chế độ dai của tấm thép do sự có mặt của lượng dư mactensit mới.

Các tấm thép có thành phần như trên được chế tạo theo các điều kiện như được nêu trong bảng 2.

Các tấm thép với thành phần như trên được đưa vào các điều kiện ủ khác nhau. Các điều kiện trước khi cán nóng là giống nhau, bao gồm nhiệt độ nung nóng lại nằm trong khoảng từ 1200°C tới 1250°C, nhiệt độ ở cuối công đoạn cán nóng nằm trong khoảng từ 930°C tới 990°C và nhiệt độ công đoạn cuộn nằm trong

khoảng từ 540°C tới 560°C. Tất cả các sản phẩm cán nóng được tẩy gỉ và sau đó được cán nguội ngay lập tức với hệ số giảm nằm trong khoảng từ 50 tới 70%.

Bảng 2 cũng thể hiện điều kiện chế tạo các tấm thép ủ sau công đoạn cán nguội, với các ký hiệu sau:

- nhiệt độ nung nóng lại: T_{rech}
- nhiệt độ ở cuối công đoạn cán nóng: T_n
- nhiệt độ công đoạn cuộn: T_{BOB}
- hệ số giảm trong cán nguội
- tốc độ gia nhiệt trong công đoạn ủ thứ nhất: V_{C1}
- nhiệt độ duy trì trong công đoạn ủ thứ nhất: $T_{soaking1}$
- thời gian duy trì trong công đoạn ủ thứ nhất ở $T_{soaking1}$: $t_{soaking1}$
- tốc độ làm nguội trong công đoạn ủ thứ nhất: V_{ref1}
- tốc độ làm nguội trong công đoạn ủ thứ hai: V_{C2}
- nhiệt độ duy trì trong công đoạn ủ thứ hai: $T_{soaking2}$
- thời gian duy trì trong công đoạn ủ thứ hai ở $T_{soaking1}$: $t_{soaking2}$
- tốc độ làm nguội trong công đoạn ủ thứ hai: V_{ref2}
- nhiệt độ cuối của công đoạn làm nguội T_{OA}
- thời gian duy trì ở nhiệt độ T_{OA} : t_{OA}
- các nhiệt độ $Ac1$, $TS1$ và $TS2$ (°C) theo tính toán.

Bảng 2: Điều kiện ủ của các tấm thép theo sáng chế và các tấm thép so sánh

Thép	ID	T _{resh} (°C)	T _{ff} (°C)	T _{oob} (°C)	Hệ số giảm (%)	V _{C1} (°C/s)	T _{soaking1} (s)	V _{ref1} (°C/s)	V _{C2} (°C/s)	T _{soaking2} (s)	V _{ref2} (°C/s)	T _{0A} (°C)	t _{0A} (s)	Ac1	TS1	TS2
A	A_1	1240	963	551	62	15	900	120	800	15	770	460	15	728	862	847
A	A_2	1240	963	551	62	15	900	120	800	15	770	460	20	728	862	847
A	A_3	1240	963	551	62	15	900	120	800	15	770	450	25	728	862	847
A	A_4	1240	963	551	62	15	900	120	800	15	770	450	30	728	862	847
A	A_5	1240	963	551	62	15	800	120	800	15	770	460	15	728	862	847
A	A_6	1240	963	551	62	15	800	120	800	15	770	460	20	728	862	847
B	B_1	1245	951	546	59	15	900	120	800	15	750	400	15	728	845	829
B	B_2	1245	951	546	59	15	840	120	800	15	750	450	30	728	845	829
B	B_3	1245	951	546	59	15	840	120	800	15	770	450	30	728	845	829
B	B_4	1245	951	546	59	15	840	120	800	15	790	450	30	728	845	829
C	C_1	1245	951	546	59	15	900	120	800	15	750	450	15	728	846	830
C	C_2	1245	951	546	59	15	840	120	800	15	750	450	30	728	846	830
C	C_3	1245	951	546	59	15	840	120	800	15	770	450	30	728	846	830
C	C_4	1245	951	546	59	15	840	120	800	15	790	450	30	728	846	830
C	C_5	1245	951	546	59	-	-	-	-	15	770	450	30	728	846	830
D	D_1	1243	965	553	61.5	15	850	120	800	15	800	460	30	754	927	907
D	D_2	1243	965	553	61.5	15	850	120	800	15	800	460	30	754	927	907
E	E_1	1210	952	541	52	15	870	120	800	5	820	450	25	697	837	825
E	E_2	1210	952	541	52	15	870	120	800	5	840	450	25	697	837	825
E	E_3	1210	952	541	52	15	870	120	800	5	850	450	25	697	837	825
E	E_4	1210	952	541	52	15	870	120	800	5	860	450	25	697	837	825
E	E_5	1210	952	541	52	15	870	120	800	3	800	450	38	697	837	825
E	E_6	1210	952	541	52	15	870	120	800	3	820	450	38	697	837	825

Các thép có ký hiệu từ A5 tới A6, từ B1 tới B4, từ C2 tới C5, từ D1 và D2, từ E1 tới E6 trong bảng 2 là các loại thép được sản xuất theo các điều kiện không thuộc phạm vi của sáng chế và có thành phần như được nêu trong bảng 1. Các thông số không thuộc phạm vi của sáng chế được gạch chân.

Cần lưu ý rằng các thép có ký hiệu A5, A6, từ B2 tới B4, từ C2 tới C4, D1 và D2 không thuộc phạm vi của sáng chế bởi vì nhiệt độ duy trì trong công đoạn ủ thứ nhất T_{soaking1} thấp hơn nhiệt độ $TS1$ theo tính toán, dẫn tới làm tăng ferit trong công đoạn ủ thứ nhất với lượng lớn, do đó hạn chế độ bền cơ học của tấm thép sau công đoạn ủ thứ hai.

Cũng lưu ý rằng các thép có ký hiệu E2, E3 và E4 không thuộc phạm vi của sáng chế do thành phần hóa học của chúng và việc nhiệt độ duy trì trong công đoạn ủ thứ hai T_{soaking2} lớn hơn nhiệt độ $TS2$ theo tính toán, dẫn tới làm giảm lượng mactensit ủ sau công đoạn ủ thứ hai, làm hạn chế độ dai cuối của tấm thép do có lượng dư mactensit mới.

Cũng cần lưu ý rằng thép có ký hiệu B1 không thuộc phạm vi của sáng chế bởi vì nhiệt độ T_{OA} nằm ngoài khoảng $420^{\circ}\text{C} - 480^{\circ}\text{C}$, làm hạn chế lượng austenit dư sau công đoạn ủ thứ hai và do đó sẽ hạn chế độ dai của tấm thép.

Cũng cần lưu ý rằng thép có ký hiệu C5 không thuộc phạm vi của sáng chế bởi vì chỉ có một công đoạn ủ, cụ thể là chỉ công đoạn ủ thứ hai, được thực hiện theo sáng chế. Do không có công đoạn ủ thứ nhất nên cũng không có mactensit ủ trong cấu trúc tế vi, làm hạn chế nghiêm trọng ứng suất đàn hồi cuối và độ bền cơ học của tấm thép.

Sau cùng, cần lưu ý rằng hai loại thép có ký hiệu E5 và E6 không thuộc phạm vi của sáng chế, bởi vì tốc độ làm nguội trong công đoạn ủ thứ hai V_{Ref2} thấp hơn 30°C trên giây, do đó làm tăng sự tạo thành ferit trong công đoạn làm nguội, dẫn tới làm giảm giới hạn đàn hồi và độ bền cơ học của tấm thép.

Thép theo các ví dụ từ A1 tới A4 và C1 là các thép theo sáng chế.

Các đặc tính cơ học được xác định theo ISO trên các mẫu thử có kích thước $12,5 \times 50$ và hàm lượng của từng pha có mặt trong cấu trúc tế vi được xác định trên

mặt cắt ngang của vật liệu có thành phần hóa học như được nêu trong bảng 1 và được tạo ra bằng phương pháp như được nêu trong bảng 2. Các thử nghiệm kéo đồng trục được thực hiện để xác định các đặc tính cơ học theo hướng song song với hướng cán nguội.

Tỷ lệ của từng pha sau mỗi công đoạn ủ và các đặc tính độ bền kéo cơ học thu được được trình bày trong bảng 3 dưới đây, trong đó các từ viết tắt có nghĩa như sau:

- %M1: tỷ lệ phần trăm diện tích của mactensit sau công đoạn ủ thứ nhất;
- %F1: tỷ lệ phần trăm diện tích của ferit sau công đoạn ủ thứ nhất;
- %M2: tỷ lệ phần trăm diện tích của mactensit sau công đoạn ủ thứ hai;
- %F2: tỷ lệ phần trăm diện tích của ferit sau công đoạn ủ thứ hai;
- %RA: tỷ lệ phần trăm diện tích của austenit dư sau công đoạn ủ thứ hai;
- %AM: tỷ lệ phần trăm diện tích của mactensit ủ sau công đoạn ủ thứ hai;
- %B: tỷ lệ phần trăm diện tích của bainit sau công đoạn ủ thứ hai;
- ứng suất đàn hồi: R_e ;
- độ bền cơ học: R_m ;
- độ dẫn dài đều: Al. Unif.;
- độ dẫn dài tổng: Al. Total.

Bảng 3: Tỷ lệ phần trăm diện tích của từng pha trong cấu trúc tế vi và các đặc tính cơ học của thép theo sáng chế và thép so sánh

Thép	ID	%M1	%F1	%M2	%F2	%RA	%AM	%B	Re (MPa)	Rm (MPa)	Al. Unif. (%)	Al. Total. (%)	Re/Rm
A	A_1	97	3	22	3	17	48	10	667	1000	20,6	24,1	0,67
A	A_2	96	4	21	4	18	45	12	723	992	17,3	24,3	0,73
A	A_3	97	3	17	3	19	46	15	671	984	22,3	28,3	0,68
A	A_4	98	2	15	2	21	45	17	684	986	21,5	26,7	0,69
A	A_5	59	41	22	41	17	11	9	496	1018	20,1	21,7	0,49
A	A_6	60	40	20	40	19	10	11	511	1007	21,5	23,3	0,51
B	B_1	98	2	6	2	14	56	22	634	881	16,8	20,5	0,72
B	B_2	86	14	8	14	16	48	14	682	925	24,7	30,7	0,74
B	B_3	85	15	13	15	19	41	12	662	926	23,8	29,4	0,71
B	B_4	84	16	18	16	19	36	11	679	917	25,8	31,3	0,74
C	C_1	97	3	14	3	18	53	12	694	981	23,2	29,0	0,71
C	C_2	83	17	6	17	17	45	15	714	905	13,7	16,6	0,79
C	C_3	81	19	10	19	19	38	14	703	928	24,0	29,4	0,76
C	C_4	81	19	19	19	16	33	13	692	916	21,4	26,5	0,76
C	C_5	-	-	25	48	15	-	12	469	850	17,4	22,2	0,55
D	D_1	64	36	17	36	15	26	6	488	999	16,6	22,0	0,49
D	D_2	63	37	18	37	14	22	9	500	1039	17,3	19,9	0,48
E	E_1	98	2	8	14	21	31	26	600	893	16	20,6	0,67
E	E_2	97	3	17	16	18	15	34	550	899	18,8	23,5	0,61
E	E_3	98	2	19	17	16	8	40	551	904	18,9	23,6	0,61
E	E_4	96	4	15	19	15	3	48	483	872	19,7	25	0,55
E	E_5	98	2	13	21	14	43	9	472	925	16,9	20,5	0,51
E	E_6	99	1	19	19	16	32	14	545	897	16,3	20,1	0,61

Các loại thép có ký hiệu A5 và A6, từ B1 tới B4, từ C2 tới C5, D1 và D2, từ E1 tới E6 trong bảng 3 là các loại thép được sản xuất theo các điều kiện được mô tả trong bảng 2 từ thép có thành phần như được nêu trong bảng 1. Các đặc tính cơ học và tỷ lệ các pha không thuộc phạm vi của sáng chế được gạch chân.

Các ví dụ từ A1 tới A4 và C1 là các thép theo sáng chế.

Cần lưu ý rằng các thép có ký hiệu A5, A6, D1 và D2 không thuộc phạm vi của sáng chế bởi vì ứng suất đàn hồi của chúng thấp hơn 650 MPa, được giải thích là do sự có mặt của lượng lớn ferit tại điểm kết thúc công đoạn ủ thứ nhất và một tỷ lệ nhỏ mactensit ủ tại điểm kết thúc công đoạn ủ thứ hai, tạo thành bởi nhiệt độ duy trì T_{soaking1} thấp hơn nhiệt độ $TS1$ theo tính toán.

Cũng cần lưu ý rằng các thép có ký hiệu từ B2 tới B4 và từ C2 tới C4 không thuộc phạm vi của sáng chế bởi vì độ bền cơ học của chúng thấp hơn 980 MPa, được giải thích là bởi lượng ferit lớn hơn 10% sau công đoạn ủ thứ nhất, làm hạn

chế lượng mactensit mới tại điểm kết thúc công đoạn ủ thứ hai, tạo thành do nhiệt độ duy trì T_{soaking1} thấp hơn nhiệt độ $TS1$ theo tính toán.

Cũng cần lưu ý rằng thép có ký hiệu B1 không thuộc phạm vi của sáng chế do nó có ứng suất đàn hồi thấp hơn 650 MPa và độ bền cơ học thấp hơn 980 MPa, được giải thích là bởi lượng mactensit mới quá thấp tại điểm kết thúc công đoạn ủ thứ hai, tạo thành do nhiệt độ ở cuối công đoạn cán nóng T_{OA} thấp hơn 420°C.

Cũng cần lưu ý rằng các thép có ký hiệu từ E1 tới E6 không thuộc phạm vi của sáng chế bởi vì chúng có ứng suất đàn hồi thấp hơn 650 MPa và độ bền cơ học thấp hơn 980 MPa. Đặc tính không đáp ứng yêu cầu của thép theo các ví dụ này là kết quả của việc thành phần hóa học không thích hợp, đặc biệt là do hàm lượng quá thấp của các nguyên tố làm tăng độ cứng (cacbon, silic) và sự thiếu vắng các kết tụ làm tăng độ cứng do không có niobi. Điều này còn thể hiện rõ hơn ở các thép có ký hiệu từ E2 tới E6 do phương pháp theo sáng chế không được tuân thủ và lượng các pha tạo thành nằm ngoài khoảng giá trị theo sáng chế.

Sau cùng, cần lưu ý rằng thép có ký hiệu C5 không thuộc phạm vi của sáng chế bởi vì chỉ có một công đoạn ủ duy nhất là công đoạn ủ thứ hai trong phương pháp của sáng chế được thực hiện, điều này dẫn tới sự vắng mặt của mactensit ủ cần thiết để đạt được ứng suất đàn hồi và độ bền cơ học theo sáng chế.

Sáng chế cũng đề xuất tấm thép thích hợp để phủ lớp mạ kẽm hoặc hợp kim kẽm, đặc biệt là bằng cách sử dụng phương pháp mạ nhúng nóng trong bể kẽm lỏng và tiếp đó là nhiệt luyện hợp kim hóa.

Sau cùng, sáng chế đề xuất thép có khả năng chịu hàn tốt trong các phương pháp lắp ráp thông thường, mà hàn điểm điện trở là một ví dụ không mang tính giới hạn.

Các tấm thép theo sáng chế có thể được sử dụng một cách có lợi để chế tạo các bộ phận kết cấu, các cấu kiện gia cố và an toàn, các chi tiết chống mài mòn hoặc đĩa truyền chuyển động của xe cộ đường bộ có gắn động cơ.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Tấm thép, có thành phần được biểu thị theo tỷ lệ phần trăm khối lượng như sau:

$$0,20\% \leq C \leq 0,40\%$$

$$0,8\% \leq Mn \leq 1,4\%$$

$$1,60\% \leq Si \leq 3,00\%$$

$$0,015 \leq Nb \leq 0,150\%$$

$$Al \leq 0,1 \%$$

$$Cr \leq 1,0 \%$$

$$S \leq 0,006\%$$

$$P \leq 0,030\%$$

$$Ti \leq 0,05\%$$

$$V \leq 0,05\%$$

$$Mo < 0,03\%$$

$$B \leq 0,003\%$$

$$N \leq 0,01\%$$

phần còn lại của thành phần tấm thép này cấu thành bởi sắt và các tạp chất không tránh khỏi trong quá trình sản xuất, cấu trúc tế vi của tấm thép này cấu thành bởi, tính theo tỷ lệ phần trăm diện tích, từ 10% tới 30% austenit dư, từ 30% tới 60% mactensit ủ, từ 5% tới 30% bainit, từ 10% tới 30% mactensit mới và ít hơn 10% ferit.

2. Tấm thép theo điểm 1, trong đó thành phần được biểu thị theo phần trăm khối lượng của nó có:

$$0,22\% \leq C \leq 0,32\%.$$

3. Tấm thép theo điểm 1 hoặc 2, trong đó thành phần biểu thị theo phần trăm khối lượng của nó có:

$$1,0\% \leq \text{Mn} \leq 1,4\%.$$

4. Tấm thép theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3, trong đó thành phần biểu thị theo phần trăm khối lượng của nó có:

$$1,8\% \leq \text{Si} \leq 2,5\%.$$

5. Tấm thép theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 4, trong đó thành phần biểu thị theo phần trăm khối lượng của nó có:

$$\text{Cr} \leq 0,5\%.$$

6. Tấm thép theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 5, trong đó thành phần biểu thị theo phần trăm khối lượng của nó có:

$$0,020\% \leq \text{Nb} \leq 0,13\%.$$

7. Tấm thép theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 6, còn bao gồm lớp mạ kẽm hoặc hợp kim kẽm.

8. Tấm thép theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 6, còn bao gồm lớp mạ nhôm hoặc hợp kim nhôm.

9. Tấm thép theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 8, trong đó tấm thép này có độ bền cơ học lớn hơn hoặc bằng 980 MPa, ứng suất đàn hồi lớn hơn

hoặc bằng 650 MPa, độ dẫn dài đều lớn hơn hoặc bằng 15% và độ dẫn dài khi đứt lớn hơn hoặc bằng 20%.

10. Phương pháp sản xuất tấm thép được ủ hai lần cán nguội, bao gồm các bước theo trình tự sau:

- tạo ra thép có thành phần theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 6, tiếp đó
- đúc thép này thành bán thành phẩm, tiếp đó
- nung bán thành phẩm này tới nhiệt độ T_{rech} nằm trong khoảng từ 1100°C tới 1280°C để thu được bán thành phẩm đã được nung nóng lại, tiếp đó
- cán nóng bán thành phẩm đã được nung nóng lại này, nhiệt độ ở cuối công đoạn cán nóng T_H là lớn hơn hoặc bằng 900°C để thu được tấm thép cán nóng, tiếp đó
- cuộn tấm thép đã được cán nóng này ở nhiệt độ T_{bob} nằm trong khoảng từ 400 tới 600°C để thu được tấm thép cán nóng dạng cuộn, tiếp đó
- làm nguội tấm thép cán nóng dạng cuộn này tới nhiệt độ môi trường, tiếp đó
- tháo cuộn tấm thép cán nóng dạng cuộn này và tẩy gỉ, tiếp đó
- cán nguội tấm thép cán nóng này với hệ số giảm nằm trong khoảng từ 30 tới 80% để thu được tấm thép cán nguội, tiếp đó
- ủ tấm thép cán nguội này lần thứ nhất bằng cách gia nhiệt nó với tốc độ V_{C1} nằm trong khoảng từ 2 tới 50°C/s tới nhiệt độ $T_{soaking1}$ nằm trong khoảng từ $TS1 = 910,7 - 431,4 \cdot C - 45,6 \cdot Mn + 54,4 \cdot Si - 13,5 \cdot Cr + 52,2 \cdot Nb$, trong đó các hàm lượng được biểu thị bằng tỷ lệ phần trăm khối lượng, tới 950°C, trong khoảng thời gian $t_{soaking1}$ từ 30 tới 200 giây, tiếp đó

- làm nguội tấm thép này tới nhiệt độ môi trường với tốc độ lớn hơn hoặc bằng 30°C/s , tiếp đó,
 - ủ tấm thép này lần thứ hai bằng cách tái gia nhiệt nó với tốc độ V_{C2} nằm trong khoảng từ 2 tới 50°C/s tới nhiệt độ $T_{\text{soaking}2}$ nằm trong khoảng từ A_{c1} tới $TS2=906,5 - 440,6^{\circ}\text{C} - 44,5^{\circ}\text{C}\cdot\text{Mn} + 49,2^{\circ}\text{C}\cdot\text{Si} - 12,4^{\circ}\text{C}\cdot\text{Cr} + 55,9^{\circ}\text{C}\cdot\text{Nb}$, trong đó các hàm lượng được biểu thị bằng tỷ lệ phần trăm khối lượng, trong khoảng thời gian $t_{\text{soaking}2}$ từ 30 tới 200 giây, tiếp đó
 - làm nguội tấm thép này với tốc độ lớn hơn hoặc bằng 30°C/s tới nhiệt độ cuối của công đoạn làm nguội T_{OA} nằm trong khoảng từ 420°C tới 480°C , tiếp đó
 - duy trì nhiệt độ tấm thép này trong khoảng từ 420°C tới 480°C trong khoảng thời gian t_{OA} từ 5 tới 120 giây, tiếp đó
 - tùy ý, tạo lớp mạ trên tấm thép đã cán nguội và ủ này,
 - làm nguội tấm thép thu được tới nhiệt độ môi trường.
11. Phương pháp sản xuất tấm thép theo điểm 10, trong đó còn có công đoạn ủ theo mẻ các tấm thép cán nóng dạng cuộn được thực hiện trước bước cán nguội, sao cho tấm thép này được gia nhiệt và sau đó được duy trì ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 400°C tới 700°C trong khoảng thời gian từ 5 tới 24 giờ.
12. Phương pháp sản xuất tấm thép theo điểm bất kỳ trong số các điểm 10 hoặc 11, trong đó tấm thép này được giữ ở nhiệt độ cuối của công đoạn làm nguội T_{OA} theo cách đẳng nhiệt ở nhiệt độ trong khoảng từ 420 tới 480°C trong thời gian từ 5 tới 120 giây.

13. Phương pháp sản xuất tấm thép theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 10 đến 12, trong đó tấm thép cán nguội đã ủ hai lần sau đó được cán nguội với tỷ lệ cán nguội nằm trong khoảng từ 0,1 tới 3% trước khi tạo lớp mạ.
14. Phương pháp sản xuất tấm thép theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 10 đến 13, trong đó tấm thép này được gia nhiệt lần cuối tới nhiệt độ duy trì T_{base} nằm trong khoảng từ 150°C tới 190°C trong khoảng thời gian duy trì t_{base} nằm trong khoảng từ 10 giờ tới và 48 giờ.
15. Phương pháp sản xuất tấm thép theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 10 đến 12, trong đó tại điểm kết thúc công đoạn duy trì nhiệt độ ở T_{OA} , tấm thép được mạ nhúng nóng trong bể chứa một trong các kim loại sau ở thể lỏng: nhôm, kẽm, hợp kim nhôm hoặc hợp kim kẽm.