

CHUYỂN BIẾN AUSFFERIT TRONG CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO GANG CẦU TÔI ĐĂNG NHIỆT (ADI)

Nguyễn Hữu Dũng

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, Số 1, Đại Cồ Việt, Hà Nội

Đến Tòa soạn: 6/11/2012; Chấp nhận đăng: 5/9/2013

Email: dung.nguyenhuu@hust.edu.vn

TÓM TẮT

Gang cầu truyền thống chỉ có thể đạt được các chỉ tiêu cơ tính như : độ bền kéo 700 - 750 MPa; độ giãn dài: 2 – 5 %. Để đạt được các cơ tính cao hơn, tất nhiên là độ tin cậy của sản phẩm cũng cao hơn, cần phải kiểm soát các thông số như: thành phần hóa học của hợp kim, chất lượng vật đúc, cấu trúc graphit và quá trình nhiệt luyện. Bài báo này giới thiệu một phương pháp chế tạo gang cầu tôi đẳng nhiệt (ADI). Cấu trúc gang cầu ADI bao gồm pherit hình kim và austenit dư còn gọi là tổ chức ausferit. Cấu trúc này thể hiện sự kết hợp tuyệt vời về cơ tính: độ bền kéo 1200 MPa; độ giãn dài 7 – 8 %. Bài báo cũng sử dụng kết quả đo độ giãn nở nhiệt khi chuyển biến để tính toán các hệ số n và k trong phương trình Johnson–Mehl–Avrami và qua đó xây dựng giản đồ chuyển biến- nhiệt độ-thời gian. Cửa sổ quá trình trong trường hợp này được xác định là: tôi đẳng nhiệt ở 380 °C trong thời gian 2 giờ.

Từ khóa: gang ADI, chuyển pha.

1. MỞ ĐẦU

Gang cầu tôi đẳng nhiệt là một cấu trúc bao gồm graphit hình cầu trên nền gồm có hỗn hợp các pha, trong đó ferit hình kim và austenit là những pha mong đợi nhất (ausferit). Trong một số trường hợp, có một lượng nhỏ mactenxit hoặc cacbit cũng có thể có mặt trong cấu trúc [1]. Gang cầu tôi đẳng nhiệt là vật liệu kết hợp tuyệt vời cả về độ bền và độ dai cũng như tính năng sử dụng.

1.1. Quy trình công nghệ chế tạo gang cầu ADI

+ Trước hết phải chế tạo gang cầu chứa một số nguyên tố hợp kim và có mức độ cầu hóa trên 90 %. Các nguyên tố hợp kim có tác dụng làm xuất hiện nhánh phụ của đường cong chữ C, đẩy đường cong chữ C sang bên phải, làm giảm tốc độ tôi tới hạn. Tùy thuộc vào thời gian tôi mà tổ chức thu được có thể là ausferit (ferit hình kim trên nền austenit), hoặc có thêm mactenxit nếu giữ nhiệt trong khoảng thời gian ngắn, hoặc đã hình thành bainit do thời gian giữ nhiệt kéo dài.

+ Giai đoạn austenit hóa. Nung gang cầu lên nhiệt độ từ 900 – 950 °C; giữ nhiệt từ 60 - 90 phút để toàn bộ nền gang chuyển biến hoàn toàn thành austenit.

+ Sau đó, chỉ tiết được làm nguội rất nhanh xuống nhiệt độ trong khoảng từ 250 – 450 °C, (làm nguội nhanh để tránh chạm vào đường cong chữ C tạo thành peclit). Giữ đẳng nhiệt trong khoảng từ 90 - 150 phút để cho hai phản ứng đẳng nhiệt xảy ra..

Phản ứng giai đoạn 1: austenit chuyển thành ferit hình kim (AF) và austenit cacbon cao (γ_{HCA} – high cacbon austenite) hay còn gọi là austenit giả ổn định. Các tinh thể ferrit hình kim (AF) nằm trên nền austenit cacbon cao (γ_{HCA}) được gọi là tổ chức ausferit:



Phản ứng giai đoạn 2: austenit hàm lượng cacbon cao (γ_{HCA}) chuyển thành ferit bainit (FB) và cacbit.



Cửa sổ quá trình được định nghĩa là miền thời gian và nhiệt độ chặt chẽ để tạo ra được gang cầu ADI có tổ chức ausferit. Đó chính là khoảng thời gian kể từ khi kết thúc phản ứng giai đoạn 1 cho đến khi bắt đầu phản ứng giai đoạn 2.

1.2. Phương pháp luận nghiên cứu động học chuyển biến

Chuyển biến ở giai đoạn 1 làm tăng kích của mẫu. Giả thiết, ban đầu mẫu có chiều dài L_0 . Sau một thời gian, do chuyển biến đẳng nhiệt (tiết pha α) mà mẫu sẽ có chiều dài L ($L > L_0$) Thông qua thiết bị đo, xác định được sự thay đổi kích thước (chiều dài) của mẫu theo thời gian. Tại mỗi thời điểm t , chiều dài mẫu sẽ tăng thêm một lượng: $\Delta L = L - L_0$; và độ giãn dài tương đối của mẫu tại thời điểm đó sẽ là: $\varepsilon = (L - L_0)/(L_{max} - L_0)$

Tỉ phần chuyển biến (f) trong phương trình Johnson-Mehl-Avrami được định nghĩa là lượng pha AF đã chuyển biến tính theo phần trăm, so với tổng lượng austenit ban đầu. Rõ ràng là có mối liên quan giữa hệ số giãn dài ε và tỉ phần chuyển biến f . Ban đầu, phản ứng giai đoạn 1 chưa xảy ra, tỉ phần chuyển biến $f = 0$ và theo định nghĩa trên, hệ số giãn nở ε cũng $= 0$. Khi phản ứng kết thúc, tỉ phần chuyển biến $f = 100\% = 1$ và chiều dài L cũng đạt giá trị L_{max} và giá trị độ giãn dài tương đối $\varepsilon = 1$. Như vậy, có thể đồng nhất giá trị độ giãn dài tương đối ε như giá trị của tỉ phần chuyển biến f trong công thức Johnson-Mehl-Avrami nói trên.

Phương trình Johnson-Mehl-Avrami đã được sử dụng để mô tả tiến trình chuyển biến đẳng nhiệt [3]:

$$f = 1 - \exp(-kt^n) \quad (3)$$

trong đó: f là tỉ phần của sản phẩm chuyển biến (%); t - thời gian phản ứng (s); k, n : là hằng số thực nghiệm dưới điều kiện chuyển biến.

Biến đổi: $1 - f = \exp(-kt^n)$

Lấy log hai vế: $\ln(1 - f) = -k \cdot t^n$ hay $\ln 1 - \ln(1 - f) = k \cdot t^n$

$$\ln(1/(1-f)) = k \cdot t^n$$

Lấy log một lần nữa:

$$\ln[\ln(1/(1-f))] = n \cdot \ln(t) + \ln(k). \quad (4)$$

Nếu coi $\ln[\ln(1/(1-f))]$ là hàm số phụ thuộc vào log thời gian $\ln(t)$ - thì đây là mối quan hệ bậc nhất có dạng đường thẳng $y = ax + b$. Trong đó $n = a$ là hệ số góc của đường thẳng.

Từ đồ thị quan hệ giữa nhiệt độ và độ giãn nở nhiệt của vật liệu, tại mỗi nhiệt độ, ta dễ dàng xác định được sự biến đổi của tỉ phần f theo thời gian t , vẽ đồ thị quan hệ $\ln[\ln(1/(1-f))]$ và $\ln(t)$. Từ đồ thị này xác định hệ số góc của đường thẳng, đó chính là hệ số n . Đồ thị (4) cắt trục Oy tại điểm A có giá trị $\ln(k)$, từ đó xác định được hệ số k . Thay các giá trị n và k vào phương trình (3), sẽ nhận được phương trình Johnson-Mehl-Avrami cho mỗi nhiệt độ cụ thể. Rõ ràng, các hệ số n và k đều là hàm số của nhiệt độ. Bằng excel xác định mối quan hệ: $n = f(T)$ và $k = f(T)$.

Kết quả, tại mỗi nhiệt độ ta sẽ thu được một phương trình mô tả mức độ chuyển biến của giai đoạn 1. Từ phương trình thực nghiệm này, dễ dàng tính được các thông số hợp lí, hay còn gọi là cửa sổ quá trình. Tại một nhiệt độ và thời gian nhất định, dễ dàng tìm được tỉ phần chuyển biến f , có nghĩa là, biết được đã có bao nhiêu phần trăm chuyển biến giai đoạn 1 đã xảy ra.

2. THÍ NGHIỆM

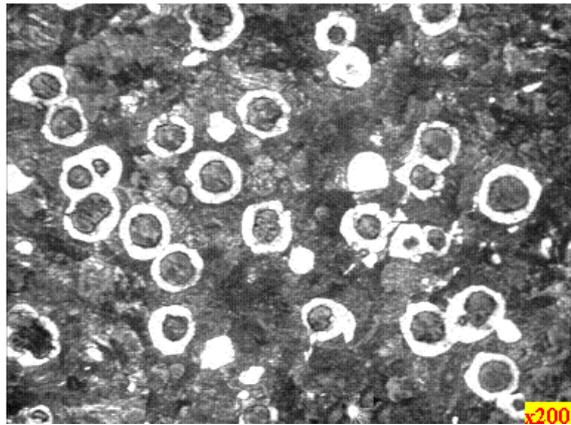
Gang cầu sau biến tính có thành phần như trên bảng 1. Tổ chức trạng thái đúc cho trên hình 1. Quan sát thấy mẫu sau khi đúc có mức độ cầu hóa khoảng 90 %, và tổ chức nền khoảng 80 % peclit còn lại là ferit.

Bảng 1. Thành phần hóa học của vật đúc.

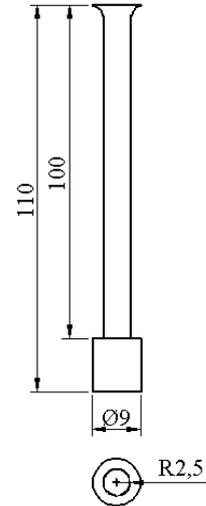
Nguyên tố	C	Si	Mn	Ni	Cu	Cr	Mo	Mg	P	S
%	3,55	2,6	0,52	0,63	0,278	0,16	0,052	0,031	0,044	0,011

Gang cầu có thành phần như bảng 1 được gia công thành mẫu (hình 2) để xác định độ giãn nở đẳng nhiệt.

Thiết bị tôi đẳng nhiệt bao gồm hai lò đặt rất gần nhau. Trước hết, các mẫu được austenit hóa ở 900 °C thời gian 2 giờ trong lò nung thanh điện cực cacborun Trung Quốc (lò số 1), sau đó, chuyển nhanh sang lò tôi đẳng nhiệt (lò số 2). Lò tôi đẳng nhiệt dùng môi trường muối 50 % NaNO₃ + 50 % KNO₃. Lò này có gắn bộ phận đo độ giãn nở của mẫu và thiết bị khống chế nhiệt độ. Thiết bị đo độ giãn nở nhiệt là cảm biến đo khoảng cách do Bộ môn Cơ khí chính xác, ĐHBK HN chế tạo. Độ giãn nở của mẫu được ghi lại với mỗi khoảng thời gian 10 giây.



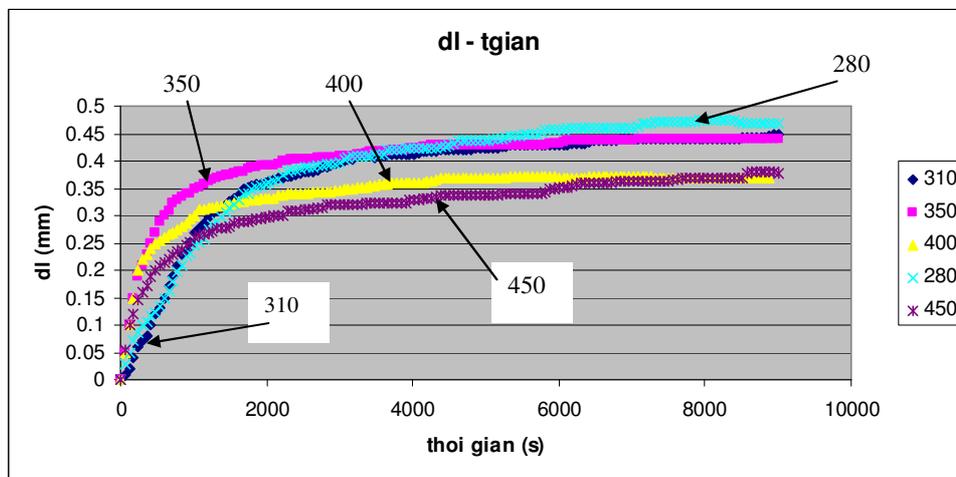
Hình 1. Tổ chức gang cầu trạng thái đúc.



Hình 2. Mẫu xác định độ giãn nở đẳng nhiệt.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

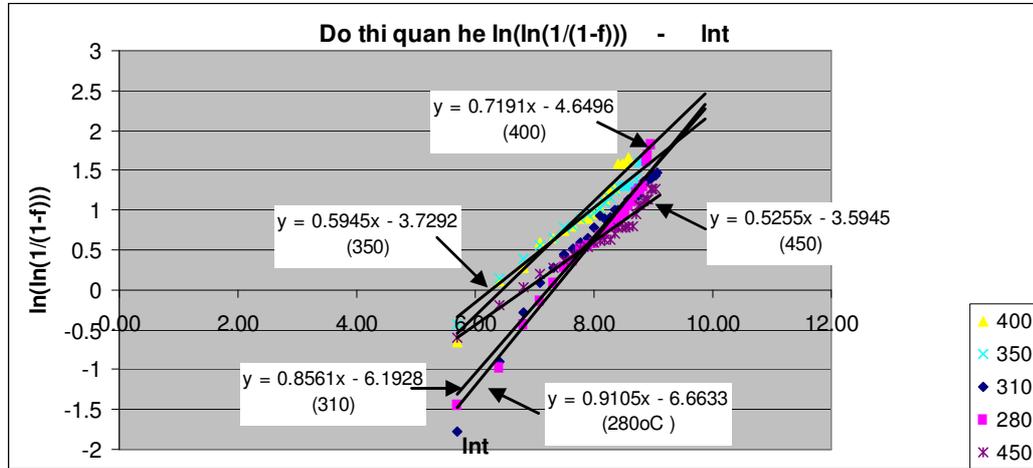
Sau khi nung austenit hóa, các mẫu được tôi đẳng nhiệt ở 5 nhiệt độ: 280; 310; 350; 450 °C. Kết quả sự giãn nở của mẫu được ghi lại theo mỗi chu kỳ 10 giây. Kết quả cho trên hình 4.



Hình 4. Quan hệ độ giãn nở đẳng nhiệt theo thời gian.

Với nhiệt độ tôi thấp (280 – 310 °C), các đường cong có độ dốc nhỏ, tức là, tốc độ giãn nở (hay cũng chính là tốc độ chuyển biến pha) xảy ra chậm hơn, nhưng tổng lượng các pha đã chuyển biến lại lớn hơn, tức là ferit tiết ra nhiều hơn so với tôi ở nhiệt độ cao. Nhiệt độ tôi 450 °C, tốc độ chuyển biến có giá trị trung bình nhưng lượng pha AF đã chuyển biến lại nhỏ, có thể dự đoán là trong tổ chức còn tồn tại austenit dư.

Trên cơ sở độ giãn nở nhiệt trên hình 4, dựa theo Phương pháp luận tính toán tỉ phần chuyển biến f đã giới thiệu ở trên, xây dựng quan hệ $\ln[\ln(1/(1-f))]$ và $\ln(t)$ theo biểu thức (4). Quan hệ đó được mô tả trên hình 5.



Hình 5. Quan hệ $\ln[\ln(1/(1-f))]$ và $\ln(t)$.

Tại mỗi nhiệt độ, xây dựng được một phương trình tuyến tính giữa $\ln(\ln(1/(1-f)))$ với $\ln t$. Trên mỗi đường đồ thị, giá trị của n chính là hệ số góc của đường thẳng, giá trị $\ln k$ là điểm giao nhau giữa đường thẳng và trục tung.

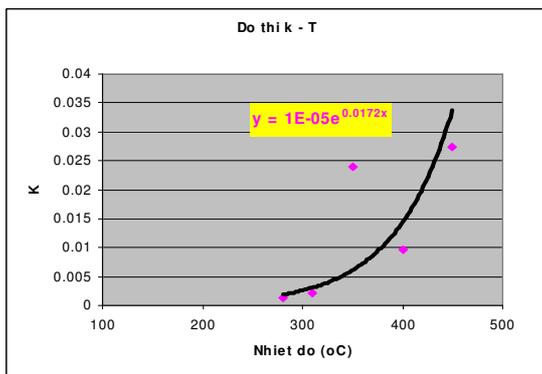
Từ đường cong giãn nở của phản ứng chuyển biến giai đoạn 1, sẽ xác định được hằng số vật liệu n, k thông qua các thí nghiệm ở dải các nhiệt độ khác nhau trong dải nhiệt độ 250 – 450 °C.

Mỗi nhiệt độ sẽ tính được 1 giá trị n và 1 giá trị của k.

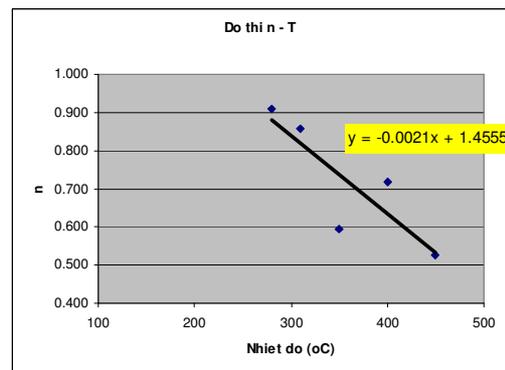
Dùng phần mềm excel xử lí mối quan hệ sự phụ thuộc giữa giữa hệ số n và hệ số k vào nhiệt độ T:

$$n = f(T) \text{ và } k = f(T).$$

Các kết quả cho hình 6 và hình 7.



Hình 6. Quan hệ giữa hệ số k và nhiệt độ.



Hình 7. Quan hệ giữa hệ số n và nhiệt độ.

Xem trên hình 6 dễ dàng nhận thấy rằng, hệ số k tăng cùng với việc tăng nhiệt độ chuyển biến. Hệ số k phụ thuộc vào tốc độ tạo mầm và tốc độ phát triển mầm, bởi vậy nó rất nhạy cảm với nhiệt độ.

Các số liệu của đồ thị hình 6 và hình 7 rất có ý nghĩa trong thực tiễn. Kết quả này cho phép dự đoán tỉ phần chuyển biến và tổ chức của gang cầu tôi đẳng nhiệt ở bất kỳ nhiệt độ nào và bất kỳ thời gian tôi là bao nhiêu.

Thí dụ, tại nhiệt độ 350 °C. Thay giá trị 350 vào phương trình: $y = 6E-19x^{6,2992}$ sẽ thu được giá trị hệ số k; Thay giá trị 350 vào phương trình $y = -0.0021T + 1.4555$ sẽ nhận được giá trị hệ số n. Thay giá trị n và k vào phương trình **Johnson - Mehl – Avrami** sẽ thu được mối quan hệ tỉ phần chuyển biến và thời gian t. Phương trình mô tả tỉ phần chuyển biến tại nhiệt độ T = 350 °C là:

$$f = 1 - \exp(-0.0041 * t^{0.7205})$$

Sự phù hợp của tính toán lí thuyết và thực tế

Từ phương trình thực nghiệm, dễ dàng dự đoán và xác định tỉ phần của AF trong gang sau khi tôi đẳng nhiệt.

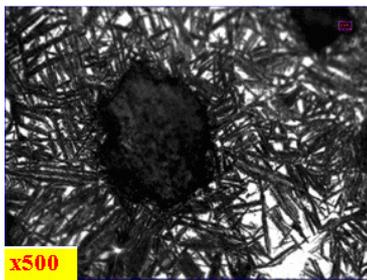
Thí dụ tại nhiệt độ T = 350 °C thay vào phương trình (3) ta được:

t = 45 phút → f = 0,8, tỉ phần chuyển biến là 80 %.

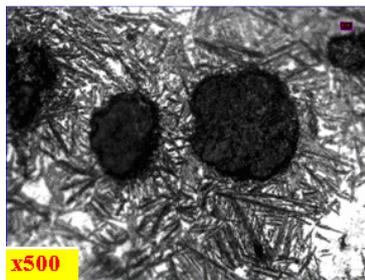
t = 90 phút → f = 0,95 tỉ phần chuyển biến là 95 %.

t = 150 phút → f = 0,99; tỉ phần chuyển biến là 99 %.

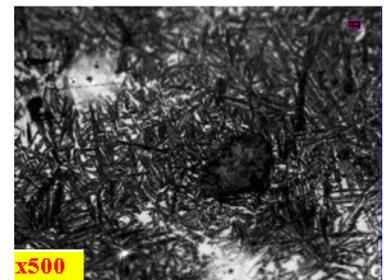
Với các giá trị thời gian và nhiệt độ đã cho, tương ứng với ảnh tổ chức của gang cho trên hình 8. Rõ ràng có sự phù hợp tương đối giữa kết quả tính toán với ảnh tổ chức kim loại. Sự phù hợp ở đây thể hiện ở chỗ, khi tỉ số f càng tăng, mật độ các thanh ferit hình kim càng đậm đặc và diện tích chiếm chỗ của chúng cũng càng lớn.



t = 45' ; f = 0.8



t = 90' ; f = 0.95



t = 120' ; f = 0.99

Hình 8. Sự phù hợp của mô hình thí nghiệm.

4. KẾT LUẬN

Việc đánh giá tốc độ chuyển biến khi tôi đẳng nhiệt gang cầu (thể hiện bằng độ dốc của đường cong giãn nở) và tỉ phần chuyển biến đã chỉ ra rằng, ở nhiệt độ thấp, tốc độ chuyển biến xảy ra nhỏ hơn nhưng lượng pha ausferrit lại được tạo ra nhiều hơn.

Bằng thực nghiệm đã xác định được các hệ số k và n trong công thức **Johnson - Mehl - Avrami** đối với chuyển biến của giai đoạn 1 trong công nghệ chế tạo gang ADI.

Bằng phương pháp nghiên cứu trên, với mỗi một loại gang cầu sẽ tìm được một quy trình nhiệt luyện phù hợp tức là một miền thời gian, nhiệt độ tối ưu mà từ đó có thể dễ dàng chế tạo được gang cầu tôi đẳng nhiệt (ADI) với tính chất tuyệt vời về cả độ bền, độ đàn dài, v.v... Kết quả này dễ dàng áp dụng vào thực tế cho các nhà máy, xí nghiệp nhằm cải thiện và nâng cao chất lượng của sản phẩm sau khi đúc, đáp ứng với nhu cầu thực tiễn hiện nay.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Taran Yu. N., Uzlov K. I., and Kutsov A. Yu. - The Bainite Reaction Kinetics in Austempered Ductile Iron, J. Phys. IV France **7** (1997) thiếu số trang.
2. Pereloma E. V. and Anderson C. S. - Microstructure and properties of austempered ductile iron subjected to single and two step processing, Materials Science and Technology **22** (9) (2006) 327-339.
3. Ta Văn Thất - Công nghệ nhiệt luyện, Đại học Bách khoa Hà Nội, 1980.
4. Kilicli V., and Erdogan M. - Tensile properties of partially austenitised and austempered ductile irons with dual matrix structures, Materials Science and Technology **22** (8) (2006) 213-221.

ABSTRACT

AUSFFERIT TRANSFORMATION IN MAKING THE AUSTEMPERED DUCTILE IRON (ADI)

Nguyen Huu Dung

Hanoi University of Science and Technology

Email: dung.nguyenhuu@hust.edu.vn

For traditional ductile iron, the mechanical properties can exhibit: the ultimate tensile stress UTS = 700 - 750 MPa; elongation $\delta = 2 - 5 \%$. To achieve higher mechanical properties and therefore, the reliability of the product, variables such as chemical composition of the alloy, casting quality, graphite structure and heat treatment process (austenitising and austempering time and temperature) should be controlled. This paper presents a method by which the austempered ductile iron (ADI) was made. For ADI, the obtained microstructure consisting of acicular ferrite (AF) and retained austenite, yields the best combination of mechanical properties, i.e.,: UTS: 1200 MPa; elongation: 7 - 8 %. The dilatometric results were also used to calculate n and k in the Johnson-Mehl-Avrami equation and to derive the time-temperature-transformation diagrams. The processing window is established to be austempering temperature 380 °C for 2 hours.

Keywords: ADI, phase transformation.