



# Über den Einfluss des Kohlenstoffgehalts der Stahlproben auf die Bildung der porenfreien Ferrosiliziumschichten

メタデータ	言語: English 出版者: 公開日: 2010-04-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Mitani, Hiroyasu, Onishi, Masami メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24729/00008952">https://doi.org/10.24729/00008952</a>

# Über den Einfluss des Kohlenstoffgehalts der Stahlproben auf die Bildung der porenfreien Ferrosiliziumschichten

Hiroyasu MITANI\* und Masami ONISHI\*

(Angenommen am 30 November, 1963)

In Gebrauch von verschiedenen Stahlproben, deren Kohlenstoffgehalt von 0.14% bis 1.1% steht, versuchten die Autoren den Einfluß des Kohlenstoffgehalts auf die Bildung der porenfreien Ferrosiliziumschichten. Es läßt sich erfolgen, daß die porenfreie Schutzschicht leichter mit Zunahme des Kohlenstoffgehalts gewonnen wird, denn der Kohlenstoff hindert die ungleiche Diffusion zwischen Si und Fe, und die Lochbildung, welche aus ungleicher Diffusion (Kirkendallscher Diffusion) erfolgt, vermag nur schwierig entstehen.

## I. Einleitung

Bei der Silizierung des Stahls ist die porige Ferrosiliziumschutzschicht leicht zu bilden, was beruht auf der Folgeerscheinung der ungleichen Diffusion zwischen Fe und Si, wie bereits im vorigen Bericht<sup>1)</sup> erwähnt, indem nur einartige 0.41% Kohlenstoff gehaltige Stahlproben angewandt wurden, dann ist es nötig, die Stahlproben mit verschiedenem Kohlenstoffgehalt zu versuchen.

Von diesem Standpunkt aus, wird der Einfluß des Kohlenstoffgehalts der Stahlproben auf der Lochbildung durch Silizierung versucht, daher bestimmten die Autoren auch die Bedingungen um die porenfreie Ferrosiliziumschutzschicht in Abhängigkeit vom Kohlenstoffgehalt des Stahls zu bilden.

## II. Versuchsdurchführung

Tafel 1 zeigt die chemische Zusammensetzung der Kohlenstoffstahlproben. Form und Größe der Prüflinge sowie Silizierungsvorrichtung waren ganz identisch wie bereits im vorigen Bericht<sup>1)</sup> erwähnt. Alle Prüflinge wurden im 10 Vol-% SiCl<sub>4</sub> gemischten Stickstoffstrom von 1100°C bis 1200°C gesiliziert, und bald danach in Stickstoffstrom allein zur Raumtemperatur gekühlt und zur Messung und mikroskopischen Beobachtung angewandt.

Tafel 1. Die chemische Zusammensetzung der Proben

C %	Mn %	Si %	P %	S %
0.14	0.49	0.23	0.007	0.014
0.41	0.36	0.28	0.024	0.015
0.66	0.45	0.30	0.023	0.022
0.82	0.46	0.22	0.017	0.006
1.12	0.54	0.30	0.008	0.005

\* Department der Metallurgie, Fakultät der Ingenieurkunst.

### III. Versuchsergebnisse

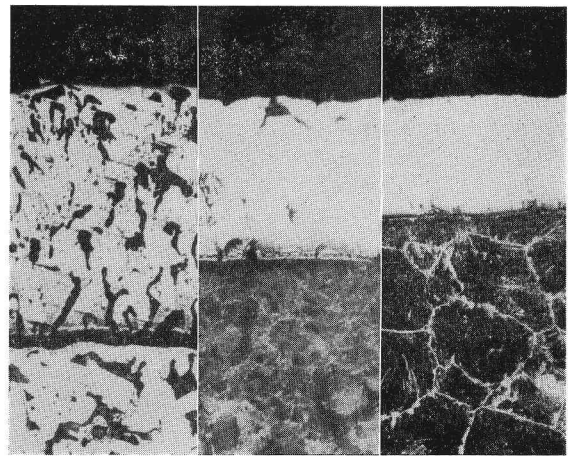
#### (1) Mikroskopische Beobachtung

Die fünfartige Kohlenstoffstahlproben wurden einzeln in Abständen von  $20^{\circ}\text{C}$  zwischen  $1100^{\circ}\text{C}$  und  $1200^{\circ}\text{C}$  für bestimmte Behandlungsdauer von 20 Minuten gesiliziert, und mikroskopisch beobachtet danach. Mit Rücksicht auf den beschränkten Raum lassen nicht alle Gefügebildern sich zeigen, daher werden nur zwei Reihe von denselben, welche die bei  $1100^{\circ}\text{C}$  und  $1160^{\circ}\text{C}$  gesinterten mikroskopischen Gefügen darstellen, nacheinander erklärt.

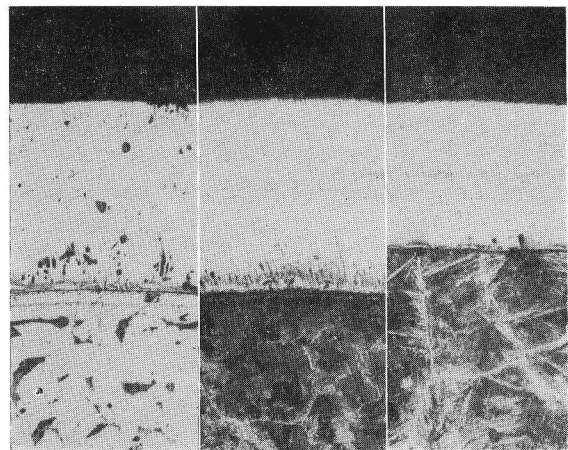
Bilder 1a~c zeigen die Gefügebildern der bei  $1100^{\circ}\text{C}$  gesinterten Ferrosiliziumschichten. Zunächst in Bild 1a, welche das Gefüge der 0.14% Kohlenstoff gehaltigen Stahlprobe erhält, befindet sich viele große Löcher. In Bild 1b (0.66% C) finden man ferner eine Neigung der Porenbefreiung mit steigendem Kohlenstoffgehalt der Stahlprobe, z. B., in Bild 1c (1.1% C) lassen sich keine Löcher mehr überall finden.

Weil der Sinterereffekt in der Ferrosiliziumschicht mit steigender Silizierungstemperatur zunimmt, sollen die während der Silizierung auftretenden Löcher zusammensintern. Bilder 2a~c zeigen auch die Gefügebildern der bei  $1160^{\circ}\text{C}$  gesilizierten Ferrosiliziumschichten. Wie in Bild 2a dargestellt, selbst für die pöriigste Ferrosiliziumschicht der 0.14% Kohlenstoff gehaltigen Stahlprobe verringern sich die Löcher im Vergleich von Bild 1a, ferner stellen Bild 2b (0.66% C) und Bild 2c (1.1% C) zugleich die vollständigen porenfreien Ferrosiliziumschichten dar.

Mit Silizierung bei  $1200^{\circ}\text{C}$  wurden die vollständigen porenfreien Ferrosiliziumschichten auf alle Stahlproben unabhängig von Kohlenstoffgehalt gebildet, z. B., in Bilder 3a und 3b stellen nacheinander die porenfreien Ferrosiliziumschichten für die den niedrigsten Kohlenstoff von 0.14% gehaltige Stahlprobe sowie den höchsten Kohlenstoff von 1.1% gehaltige Stahlprobe dar. Jedoch schmolzen teilweise die Oberflächen



a. 0.14% C      b. 0.66% C      c. 1.1% C  
Bilder 1a~c.  $1100^{\circ}\text{C}$ , 20 Min. Silizierung.  $\times 100$

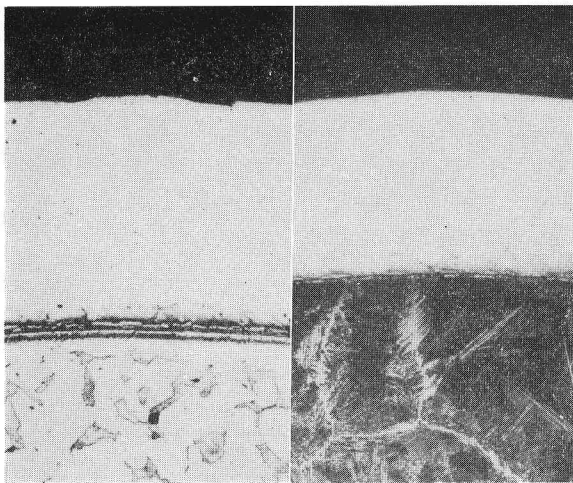


a. 0.14% C      b. 0.66% C      c. 1.1% C  
Bilder 2a~c.  $1160^{\circ}\text{C}$ , 20 Min. Silizierung.  $\times 100$

der Stahlproben mit Kohlenstoffgehalte von 0.41 % bis 1.1 % während der Silizierung bei 1200°C, indem keine Schmelzung dagegen für die 0.14 % C Stahlprobe entstand, ferner mit Silizierung bei 1220°C aber befand sich wieder teilweise Schmelzung darauf. Später werden die Autoren diskutieren darüber.

Mit Silizierungstemperatur unter 1100°C konnte die porenfreie Ferrosiliziumschicht für die den höchsten Kohlenstoff von 1.1 % gehaltige Stahlprobe gewonnen werden. Bild 4 weist dieses Gefüge auf, welches mit 20-minütiger Silizierung bei der niedrigsten Temperatur von 1060°C entstanden hat.

Illustriert eine Beziehung zwischen der Silizierungs-temperatur für die bestimmte Behandlungsdauer von 20 Minuten und dem Kohlenstoffgehalt der Stahlprobe in Bild 5,



a. 0.14% C                      b. 1.1% C

Bilder 3a~b. 1200°C, 20 Min. Silizierung. ×100

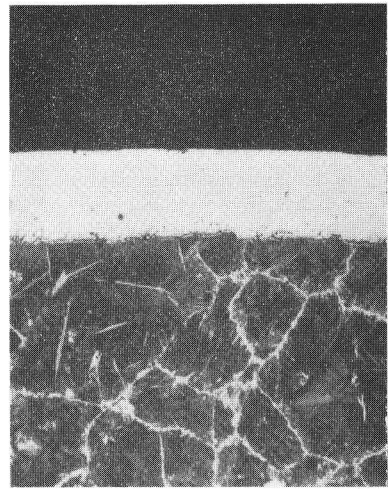


Bild 4. 1.1% C, 1060°C, 20 Min. Silizierung. ×100

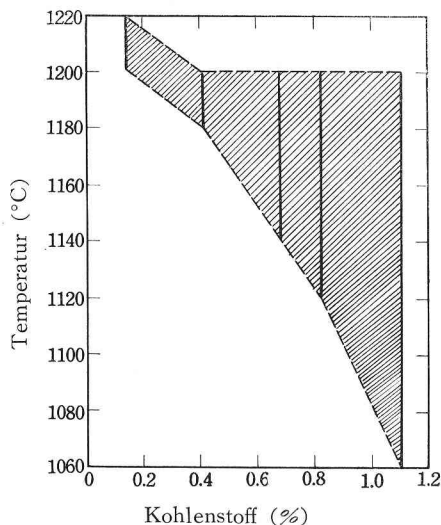


Bild 5. Temperaturbereich der porenfreien Schichtbildung in abhängig von Kohlenstoffgehalt.

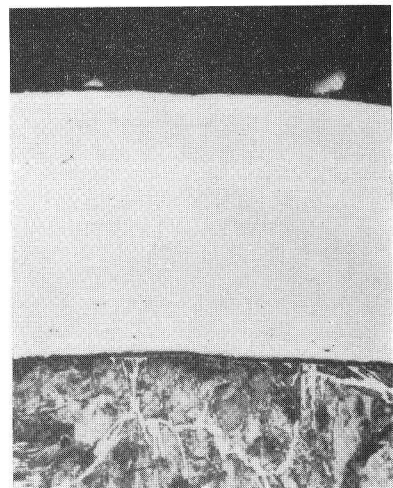


Bild 6. 1.1% C, 1120°C, 40 Min. Silizierung. ×100

darin ein durch die schrägen Linien gezeichnetes Gebiet eine Bedingung für Porenbefreiung aufweist.

Bisher wurden alle Silizierungen mit einer bestimmten Behandlungsdauer von 20 Minuten ausgeführt, deshalb ist es dann notwendig mit der längeren Silizierungsdauer auszuführen.

Wurde eine Stahlprobe mit einem Kohlenstoffgehalt von 1.1 % bei 1120°C gesiliziert, konnte man eine porenfreie Ferrosiliziumschicht mit 40-minütiger Behandlung erhalten, wie in Bild 6 aufweist. In diesem Falle war die Schichtdicke etwa 0.3 mm, darüber hinaus wurde eine Schutzschicht porig.

Übereinstimmend mit den oben dargestellten Gefügebildern, werden auch die Schichtdicken der Stahlproben mit Silizierungen von 1100°C bis 1200°C für 20 Minuten in abhängig von Kohlenstoffgehalte in Bild 7 gezeichnet. Überhaupt nehmen die Schichtdicken einer bestimmten Stahlprobe mit steigender Silizierungstemperatur zu. Wenn sich zahlreiche Löcher in der Ferrosiliziumschicht befinden, nehmen die Schichtdicken dagegen mit steigender Temperatur ab, wie in der Kurve für die 0.14 % Kohlenstoff gehaltige Stahlprobe von 1100°C bis 1160°C dargestellt.

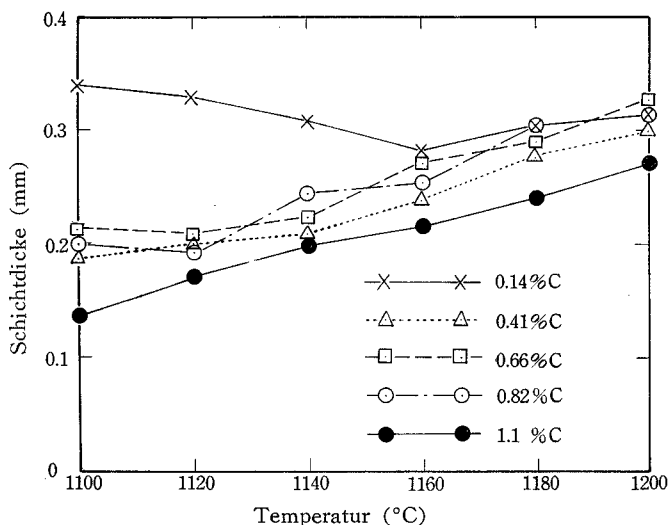


Bild 7. Abhängigkeit der Schichtdicke von der Behandlungstemperatur für 20-minütige Silizierung.

## (2) Nachglühexperiment

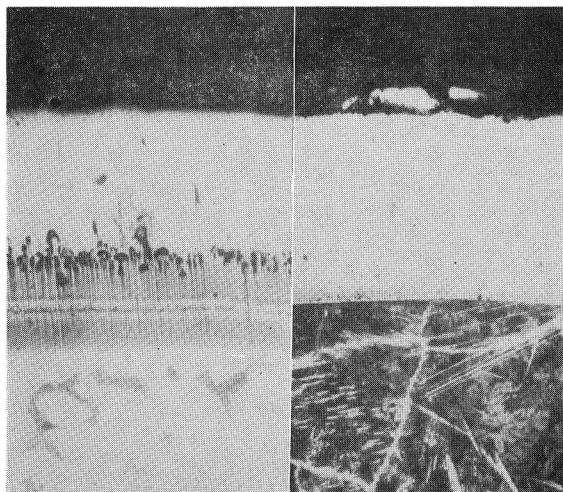
Im Vergleich von Bild 3 a mit Bild 2 b, bemerkt man zunächst in Bild 3 a eine Zwischenschicht nahe an der Grenzfläche der Ferrosiliziumschicht, trotzdem aber keine in Bild 3 b. Dieser Unterschied beruhe vermutlich auf dem Kohlenstoffgehalt der Stahlprobe. Um es aufzuklären, brachten die Autoren den Diffusionsversuch zur Ausführung.

Alle fünfartige Stahlproben wurden einzeln im Stickstoffstrom allein bei 1150°C für 20 Minuten nach der porenfreien Silizierung bei 1200°C für 20 Minuten erhalten, indem es 35 Sekunden von 1200°C bis 1150°C zu erniedrigen bedurfte. Abgesehen von dem 1.1 % Kohlenstoff gehaltige Stahlprobe, wiesen sonstige vierartige Stahlproben die Zwischenschichten

und Lochbildung nach dem Diffusionsglühen auf. Die Folgeerscheinungen des Nachglühens traten dabei stärker mit weniger Kohlenstoffgehalt der Stahlprobe auf. Bild 8a stellt das Gefügebild der Stahlprobe mit dem niedrigsten Kohlenstoffgehalt von 0.14 %, dagegen befand sich doch keine Zwischenschicht und Lochbildung im Gefügebild der Stahlprobe mit dem höchsten Kohlenstoffgehalt von 1.1 %, wie in Bild 8 b aufweist.

### (3) Zusammensetzung der Ferrosiliziumschicht

Um den in der Ferrosiliziumschicht enthaltenen Kohlenstoffgehalt zu versuchen, wurden die fünfereihen Stahlproben bei 1200°C für 20 Minuten gesiliziert, und danach wurde jede Ferrosiliziumschicht abgeschält und chemisch geanalysiert, daher ließen sich die Kohlenstoffgehalte der Ferrosiliziumschichten für alle Stahlproben etwa 0.20 ~ 0.25 % bestimmen, mit Ausnahme von der 0.14 % Kohlenstoff gehaltenen Stahlprobe. Ferner ergaben die Versuche für alle Ferrosiliziumschichten einen bestimmten Siliziumgehalt von 14.2 %, unabhängig vom Kohlenstoffgehalt der Stahlprobe.



a. 0.14% C

b. 1.1% C

Bilder 8a~b. 1200°C, 20 Min. Silizierung.  
1150°C, 30 Min. Nachglühen. ×100

## IV. Erörterung

Zunächst ist es aufzuklären, woraus sich die Porenbefreiung der Ferrosiliziumschicht vom Kohlenstoffgehalt der Stahlprobe abhängt. Da die Ferrosiliziumschichten den bestimmten Kohlenstoffgehalt von etwa 0.2 % stets erhalten, wie oben erwähnt, so diffundiert der überschüssige Kohlenstoff während der Silizierung hinein, indem der ursprüngliche Kohlenstoffgehalt der Stahlprobe über 0.2 % ist. Als diese Ausscheidungsdiffusion des Kohlenstoffs zunächst die Bewegung des Siliziums hindert, so nimmt die Differenz des partiellen Diffusionskoeffizients<sup>2)</sup> zwischen Si und Fe während der Silizierung ab, zugleich vermindert sich die Lochbildung als die Folgeerscheinung der ungleichen Diffusion.<sup>3)</sup> Aus diesem Grund kann die porenfreie Ferrosiliziumschicht mit steigendem Kohlenstoffgehalt der Stahlprobe leichter erhalten werden.

Bild 9 zeigt das von Berichten<sup>4)5)</sup> angeführte Zustandsschaubild für 14 %-Si-Schnitt des Fe-Si-C Systems. Übereinstimmend mit dem bestimmten Kohlenstoffgehalt der Ferrosiliziumschicht von etwa 0.2 %, kann man die Temperatur des höchsten Kohlenstoffgehalt im  $\alpha$  Mischkristall bei 1160°C finden. Darüber hinaus beginnt dieselbe teilweise zu schmelzen, und schmilzt bei 1200°C aus. Das identifiziert sich mit den Silizierungseigenschaften der über 0.41 % Kohlenstoff gehaltenen Stahlproben.

Für die Stahlprobe mit einem Kohlenstoffgehalt von 0.14% stellt sich ihre Ferrosiliziumschicht auch den gleichen Kohlenstoffgehalt zu enthalten vor. In diesem Falle, wie in Bild 9 gefunden, tritt keine Schmelze unter 1190°C auf, jedoch von 1200°C bis 1225°C nimmt die Schmelze allmählich mit steigender Silizierungstemperatur zu, und dann schmilzt die Ferrosiliziumschicht schließlich über 1225°C aus. Dieser Vorgang macht eine Andeutung auf den von der Schmelze erfordernden Sintervorgang<sup>6)</sup> von 1200°C bis 1220°C, übereinstimmend mit der Bedingung der Porenbefreiung für die 0.14% Kohlenstoff gehaltige Stahlprobe in Bild 5.

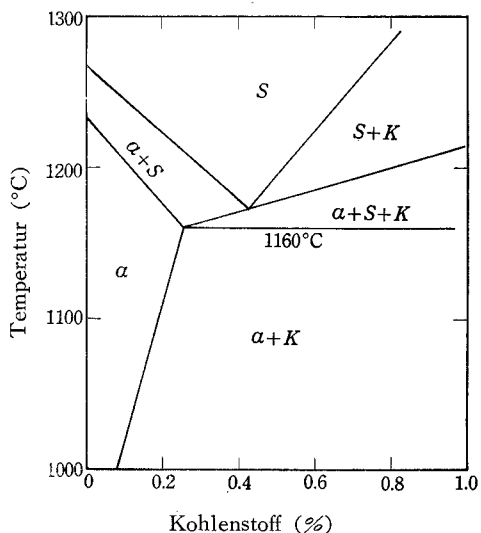


Bild 9. Etwa 14% Si Schnitte für Fe-C-Si System.  
S: Schmelze K: Karbid

## V. Zusammenfassung

Die Porenbefreiung der Ferrosiliziumschicht während der Silizierung ist stark von Kohlenstoffgehalt beeinflußt, je höher der Kohlenstoffgehalt in der Stahlprobe ist, desto niedriger fällt die porenfreie Silizierungstemperatur.

Wenn der niedriggekohlte Stahl, darauf die porenfreie Ferrosiliziumschicht schwierig bilden ist, durch Einsatzhärtung aufgekohlt wird, kann die porenfreie Ferrosiliziumschicht auf ihm leichter gebildet werden.

## Literaturverzeichnis

- 1) H. Mitani u. M. Onishi: Bull. Univ. of Osaka Pref., **Ser. A**, **8-1**, 127, (1959).
- 2) L. S. Darken: Trans. AIME, **147**, 184, (1948).
- 3) H. Fara and W. Balluffi: J. Appl. Phys., **30**, 325, (1959).
- 4) E. S. Greiner, J. S. Marsh and B. Stoughton: "The Alloys of Iron and Silicon", McGraw-Hill, 146, (1933).
- 5) M. Hansen: "Constitution of Binary Alloys", **2nd Ed.**, McGraw-Hill, 711, (1958).
- 6) E. Fitzner: Arch. Eisenhüttenw., **25**, 601, (1954).