



CH 679402 A5



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 679402 A5

⑤① Int. Cl.⁵: C 22 C 37/04
C 21 D 1/78

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTSCHRIFT** A5

⑳ Gesuchsnummer: 70/90

⑦③ Inhaber:
Hitachi Metals, Inc., Chiyoda-ku/Tokyo (JP)

㉒ Anmeldungsdatum: 10.01.1990

③① Priorität(en): 09.02.1989 JP 1-30167

⑦② Erfinder:
Obata, Fumio, Kitakyusyu-shi/Fukuoka-ken (JP)
Nagayoshi, Hideaki, Kitakyusyu-shi/Fukuoka-ken (JP)
Nakano, Eiji, Miyako-gun/Fukuoka-ken (JP)

㉔ Patent erteilt: 14.02.1992

④⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 14.02.1992

⑦④ Vertreter:
Dr. Troesch AG Patentanwaltsbüro, Zürich

⑤④ **Dünnwandiges Erzeugnis mit hoher Festigkeit aus kugelartigem Graphit-Eisenguss und Verfahren zu dessen Herstellung.**

⑤⑦ Ein hochfestes Erzeugnis aus kugeligem Graphit-Eisenguss, das Graphitteilchen dispergiert in einer Ferritmatrix, beinhaltend 10 % oder weniger an Austenit, enthält, ist dadurch gekennzeichnet, dass im wesentlichen keine feinen Spalten oder Zwischenräume zwischen den Graphitteilchen und der Ferritmatrix vorhanden sind. Dieses Erzeugnis resp. Gussteil wird durch Giessen einer Schmelze mit einer kugeligen Graphit-Eisengusszusammensetzung in eine Giessform erzeugt. Die Giessform wird mittels Schütteln entfernt, währenddem im wesentlichen der Gesamtbereich des resultierenden Gussteiles immer noch auf einer Temperatur seines A₃ Umwandlungspunktes oder höher ist. Das Gussteil wird in eine gleichmässige Temperaturzone eines kontinuierlichen Ofens eingeführt, der auf einer Temperatur des A₃ Transformationspunktes des Gussteilmaterials oder höher gehalten wird, wo das Gusseisenteil während 30 Minuten oder weniger gehalten wird, damit in der Matrix enthaltenes Zementit zersetzt wird. Anschliessend wird das Gussteil in eine Abkühlzone des kontinuierlichen Ofens transferiert, um das Gussteil mit einer derartigen Abkühlgeschwindigkeit abzukühlen, damit Ferritisierung der Matrix erzielt wird.

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein dünnwandiges Erzeugnis mit hoher Festigkeit aus kugeligem Graphit-Eisenguss mit Graphitteilchen in einer Ferritmatrix verteilt, beinhaltend 10% oder weniger an Austenit und auf ein Verfahren zur Herstellung eines dünnwandigen Erzeugnisses.

In der Herstellung von kugeligem Graphit-Eisenguss mit einer Ferritmatrix werden die Eisenguss-Produkte normalerweise nach deren Entfernen aus der Gussform an der Luft stehen gelassen, so dass diese auf tiefe Temperaturen, wie beispielsweise Raumtemperatur, abgekühlt werden, worauf diese wieder auf Temperaturen höher als deren A₃ Umwandlungspunkte, im speziellen auf 850–950°C, erhitzt werden, um die Ferritisierung von Austenit, das in deren Matrizen vorhanden ist, durchzuführen. Wenn diese Hitzebehandlung an dünnen kugeligen Graphit-Eisenguss-Produkten durchgeführt wird, werden primär ausgeschiedene Graphitpartikel, die nachfolgend als «primäre Graphitpartikel» bezeichnet werden, in den Matrizen verteilt, wodurch feine Spalten und Ritzen um die entsprechenden Graphitpartikel übrigbleiben. Als Resultat haben diese dünnen kugeligen Graphit-Eisenguss-Produkte zwangsläufig reduzierte mechanische Eigenschaften, wie im speziellen Ermüdungsfestigkeit resp. Dauerfestigkeit.

Im weiteren benötigt dieser Vorgang eine grosse Menge von thermischer Energie, da die kugeligen Graphit-Eisenguss-Erzeugnisse erneut auf eine hohe Temperatur erhitzt werden, nachdem sie auf Raumtemperatur abgekühlt worden sind. Dies führt dazu, dass dieses Verfahren ökonomisch nicht sehr vorteilhaft ist.

Das japanische Patent, offengelegt unter der Nr. 57-28 669 beschreibt ein Verfahren zur Herstellung von einem dünnen roh-guss, kugeligen Graphit-Eisenguss-Produkt. In diesem Verfahren wird ein kugelartiges Graphit-Eisenguss-Erzeugnis beschrieben mit Abschnitten von unterschiedlicher Dicke das derart abgekühlt wird, dass jeder Abschnitt bei einer Abkühlgeschwindigkeit von 13°C pro Minute oder mehr abgekühlt wird, so dass eine Matrixstruktur, beinhaltend 50–90% von Austenit, in einem roh-gussähnlichen Status stabil erhalten bleibt. Allerdings misslingt dieses Verfahren für die Herstellung von hochfesten kugeligen Graphit-Eisenguss-Produkten mit Matrizen im wesentlichen bestehend aus Ferrit und frei von feinen Spalten um die Graphitteilchen herum, die gleichzeitig exzellente mechanische Eigenschaften aufweisen.

Entsprechend ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung dünnwandige Erzeugnisse mit hoher Festigkeit aus kugeligem Graphit-Eisenguss herzustellen, mit guten mechanischen Eigenschaften, wie im speziellen verbesserter Ermüdungsfestigkeit resp. Dauerfestigkeit.

Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht im Schaffen eines Verfahrens zur Herstellung eines derartigen dünnwandigen Erzeugnisses mit hoher Festigkeit, bestehend aus kugeligem Graphit-Eisenguss, unter Verwendung von wenig thermischer Energie.

Unter Berücksichtigung der oben angeführten Aufgaben wurde in der vorliegenden Erfindung gefunden, dass durch Wärmebehandlung eines dünnwandigen Erzeugnisses aus kugeligem Graphit-Eisenguss, ohne Abkühlen auf Raumtemperatur nach dessen Entfernen aus der Gussform, bei einer Temperatur beim A₃ Umwandlungspunkt oder höher für eine kurze Zeitperiode und anschliessendem Abkühlen mit einer gesteuerten Abkühlgeschwindigkeit, die Diffusion der Graphit-Partikel in die umgebende Ferritmatrix des kugeligen Graphit-Eisengusses effizient verhindert werden kann, währenddem die Ferritisierung der Matrix erreicht wird, wodurch kugelige Graphit-Eisenguss-Produkte im wesentlichen frei von feinen Spalten oder Ritzen um die Graphitteilchen in der Matrix herum erhalten werden, und dass dadurch die kugeligen Graphit-Eisenguss-Produkte wesentlich verbesserte mechanische Eigenschaften aufweisen wie im speziellen Ermüdungsfestigkeit resp. Dauerfestigkeit. Die vorliegende Erfindung basiert auf diesen Erkenntnissen.

Entsprechend schafft die vorliegende Erfindung ein dünnwandiges Erzeugnis mit hoher Festigkeit aus kugeligem Graphit-Eisenguss gemäss dem Wortlaut nach Anspruch 1 und ein Verfahren zu dessen Herstellung gemäss dem Wortlaut nach Anspruch 6.

Das dünnwandige Erzeugnis mit hoher Festigkeit aus kugeligem Graphit-Eisenguss gemäss der vorliegenden Erfindung weist Graphitteilchen auf, die in einer Ferritmatrix verteilt sind, beinhaltend 10% oder weniger an Austenit, das im übrigen dadurch gekennzeichnet ist, dass im wesentlichen keine feinen Spalten, z.B. Ritzen, zwischen den Graphitteilchen und der Ferritmatrix vorhanden sind.

Die oben angeführte Prozentangabe an Austenit bezieht sich auf eine Flächenprozentangabe, welche auf Flächenbasis in einem Photomikrograph bestimmt wird. Die Mikrostruktur der Legierung wird mittels einem Scanner-Elektronmikrograph aufgenommen und die Prozentangabe von Austenit in der Matrix wird vom Elektronenphoto-Mikrograph bestimmt. Da der Elektronenphoto-Mikrograph auf einer einzigen Ebene aufgenommen wird, erhalten durch das x-beliebige Schneiden eines Legierungsmusters, entspricht die Flächenprozentangabe an Austenit derjenigen, die auf der Ebene gemessen wird und die der Prozentangabe des gesamten Austenites in der Matrix entspricht.

Das Verfahren zur Herstellung dieser dünnwandigen Erzeugnisse mit hoher Festigkeit aus kugeligem Graphit-Eisenguss gemäss der vorliegenden Erfindung umfasst die Schritte des Giessens einer Schmelze mit kugeligem Graphit-Eisenguss-Zusammensetzung in eine Giessform; das Entfernen der besagten Giessform durch Ablösen nach der Beendigung des Erstarrens der Schmelze, währenddem im wesentlichen der ganze Teil des resultierenden Eisenguss-Erzeugnisses immer noch auf einer Temperatur

von dessen A_3 Umwandlungspunkt oder höher verbleibt; das unmittelbare Einführen des Eisengusserzeugnisses in eine uniforme Temperaturzone eines kontinuierlichen Beheizungs-Ofens, die bei einer Temperatur gleich dem A_3 Umwandlungspunkt oder höher gehalten wird, wo das Eisengusserzeugnis während 30 Minuten oder weniger gehalten wird, damit das Zementit, enthalten in der Matrix, abgebaut wird; und das Überführen des Eisengusserzeugnisses in eine Abkühlzone des kontinuierlichen Ofens um das Eisengusserzeugnis bei einer solchen Abkühlgeschwindigkeit abzukühlen, um die Ferritisierung der Matrix durchzuführen.

Die Erfindung wird nun nachfolgend beispielsweise und unter Bezug auf die beigefügten Figuren näher erläutert. Dabei zeigen:

Fig. 1 eine seitliche Ansicht eines Probekörpers mit schrittweiser Erhöhung der Dicke;

Fig. 2 eine abtastartige Elektronenphotomikrographie ($\times 100$) der Metallstruktur eines Probekörpers erzeugt im Beispiel 1;

Fig. 3 eine abtastartige Elektronenphotomikrographie ($\times 100$) der Metallstruktur eines roh-gegossenen Probeteils mit derselben Zusammensetzung wie diejenige von Fig. 2;

Fig. 4 eine abtastartige Elektronenphotomikrographie ($\times 100$) der Metallstruktur des Probeteils, hergestellt im Beispiel 2;

Fig. 5 eine abtastartige Elektronenphotomikrographie ($\times 100$) der Metallstruktur von einem roh-gegossenen Probeteil mit derselben Zusammensetzung wie diejenige von Fig. 4;

Fig. 6 eine abtastartige Elektronenphotomikrographie ($\times 960$) von einem Graphitteilchen in einem Probeteil, wärmebehandelt im Beispiel 3;

Fig. 7 eine abtastartige Elektronenphotomikrographie ($\times 960$) von einem Graphitteilchen in einem Probeteil wärmebehandelt durch die konventionelle Methode;

Fig. 8 eine abtastartige Elektronenphotomikrographie ($\times 1500$) von einem Graphitteilchen in einem Probeteil wärmebehandelt im Beispiel 4;

Fig. 9 eine abtastartige Elektronenphotomikrographie ($\times 1500$) von einem Graphitteilchen in einem Probeteil wärmebehandelt durch die konventionelle Methode;

Fig. 10 eine Obenansicht, darstellend einen Steuerarm; und

Fig. 11 einen vergrösserten Querschnittsbereich entlang der Linie A-A in Fig. 10.

Die Metallstruktur des dünnwandigen hochfesten kugelartigen Graphit-Eisenguss-Erzeugnisses gemäss der vorliegenden Erfindung weist im wesentlichen keine feinen Spalten, z.B. Ritzen, zwischen Graphitteilchen und einer Ferritmatrix auf. Die Graphitteilchen haben eine mittlere Teilchengrösse von $20 \mu\text{m}$ oder weniger und eine maximale Teilchengrösse von $60 \mu\text{m}$ oder weniger.

Um die dünnwandigen, hochfesten, kugeligen Graphit-Eisenguss-Partikel mit einer derartigen Struktur herzustellen, wird das Eisengusserzeugnis mit einer kugelartigen Graphit-Eisenguss-Zusammensetzung von einer Gussform entfernt, währenddem das ganze Eisenguss-Erzeugnis nach dessen Verfestigung immer noch eine Temperatur von seinem A_3 Umwandlungspunkt (ungefähr 850°C) oder höher aufweist, und in einen kontinuierlichen Ofen eingeführt, der auf einer Temperatur von dessen A_3 Umwandlungspunkt oder höher gehalten wird, und dann einer Ferritisierungs-Behandlung ausgesetzt, währenddem die Bildung einer Austenit-Phase in der Matrix durch gesteuerte Abkühlgeschwindigkeit verhindert wird.

Im kontinuierlichen Ofen wird das Eisengussprodukt in einer gleichmässigen Temperaturzone auf einer Temperatur von dessen A_3 Umwandlungspunkt oder höher während 30 Minuten oder weniger gehalten, vorzugsweise während 1–25 Minuten und bevorzugter während 5–20 Minuten. Die Temperatur in der gleichmässigen Temperaturzone des kontinuierlichen Ofens beträgt vorzugsweise 850 – 950°C .

Überraschenderweise wurde gefunden, dass im wesentlichen alles Zementit abgebaut oder entfernt werden kann, durch eine Wärmebehandlung bei einer Temperatur beim A_3 Umwandlungspunkt oder höher während einer derartig kurzen Periode, wie beispielsweise 30 Minuten oder weniger, falls diese Wärmebehandlung unmittelbar nach dem Entfernen aus der Form durchgeführt wird, währenddem das Eisengusserzeugnis immer noch in einem Status ist, bei welchem die A_3 Umwandlung in der Matrix noch nicht aufgetreten ist. Auf der anderen Seite benötigt der Abbau der Zementitphase wesentlich mehr Zeit, im Normalfall nahezu 2 oder 3 Stunden, falls die Wärmebehandlung durchgeführt wird, nachdem sich das Erzeugnis auf eine tiefere Temperatur, wie beispielsweise Raumtemperatur abgekühlt hat. Der Grund warum der Abbau von Zementit in einer derartig kurzen Zeitperiode in der Wärmebehandlung gemäss der vorliegenden Erfindung erreicht werden kann, ist nicht zwangsläufig klar, man kann jedoch davon ausgehen, dass die Zementitphase zu einem grossen Teil nicht gebildet wird, wenn das dünnwandige Eisengusserzeugnis nicht auf eine tiefe Temperatur abgekühlt wird. Da dünne Eisengusserzeugnisse normalerweise dazu tendieren rasch abzukühlen, bildet sich normalerweise ein grosser Teil des Zementits beim Abkühlvorgang. Entsprechend kann die Bildung eines grossen Teiles des Zementits verhindert werden, wenn die Wärmebehandlung unmittelbar nach Entfernen aus der Form durchgeführt wird.

Wenn die Zeit, währenddem das Eisengusserzeugnis in der gleichmässigen Temperaturzone des konti-

nuierlichen Ofens gehalten wird, 30 Minuten überschreitet, weist das Eisengusserzeugnis erhöhte Materialspannung auf, und ein derart langes Verweilen des Erzeugnisses ist ökonomisch unvorteilhaft.

Das Eisengussprodukt wird anschliessend von der gleichmässigen Temperaturzone in eine Abkühlzone im Ofen überführt und in der Abkühlzone mit einer Kühlgeschwindigkeit von 40°C pro Minute oder weniger, vorzugsweise 5–25°C pro Minute abgekühlt. Wenn die Abkühlgeschwindigkeit 40°C pro Minute übersteigt, tendiert das Austenit dazu in der resultierenden Matrix zu verbleiben, wodurch der kugelige Graphit-Eisenguss gehärtet wird, und dadurch seine Zähigkeit und Kerbfestigkeit verringert wird.

Das Gussteil wird dann aus dem kontinuierlichen Ofen bei einer Temperatur bei dessen A_1 Umwandlungspunkt (ungefähr 700°C oder weniger) oder einer tieferen Temperatur, im speziellen 650°C oder weniger, herausgenommen.

Das so hergestellte Eisengusserzeugnis umfasst Graphitteilchen mit einer mittleren Teilchengrösse von 20 μm oder weniger und einer maximalen Teilchengrösse von 60 μm oder weniger. Wenn die mittlere Teilchengrösse der Graphitteilchen 20 μm übersteigt, weist das dünnwandige Eisengussteil eine tiefe Ermüdungsfestigkeit auf. Die bevorzugte mittlere Teilchengrösse der Graphitteilchen ist 15 μm oder weniger. Das Eisengussteil weist ebenfalls eine Ferritmatrix auf mit einem reduzierten Anteil an Austenit. Der Austenitgehalt in der Matrix ist gering und beträgt 10% oder weniger, im speziellen 5% oder weniger.

Im übrigen weist ein kugelariger Graphit-Eisenguss mit einer derartigen Struktur normalerweise eine Zusammensetzung auf, bestehend im wesentlichen aus 3,5–3,9 Gew.-% an C, 2,0–3,0 Gew.-% an Si, 0,35 Gew.-% oder weniger an Mn, 0,1 Gew.-% oder weniger an P, 0,02 Gew.-% oder weniger an S, 0,025–0,06 Gew.-% an Mg und der Rest im wesentlichen Fe und zwangsläufigen Verunreinigungen.

Der Ausdruck «dünnwandige, kugelarige Graphit-Eisengussteile» der in dieser Schrift verwendet wird, steht für kugelige Graphit-Eisengussteile die einen wesentlichen Abschnitt umfassen, der insbesondere so dünn ist wie 12 mm oder weniger, vorzugsweise 8 mm oder weniger, d.h. im speziellen 2–5 mm.

Wenn das kugelige Graphit-Eisengussteil so dünn ist wie 12 mm oder weniger, hat es die Tendenz, rasch abzukühlen, wodurch ein grosser Anteil an Zementit in der Matrix gebildet wird. Wenn das rasch abgekühlte kugelige Graphit-Eisengussteil erneut auf 850–950°C erhitzt wird, tendieren die primär abgelagerten Graphitteile in der umgebenden Ferritmatrix verteilt zu werden, was im Erzeugen von feinen Spalten, z.B. Ritzen, zwischen den Graphitteilchen und der Ferritmatrix resultiert.

Dadurch weist konventioneller, kugelig Graphit-Eisenguss relativ schlechte mechanische Eigenschaften auf, wenn der Eisenguss dünn resp. dünnwandig ist. Dieses Problem wurde gemäss der vorliegenden Erfindung gelöst. Das heisst, das Verfahren gemäss der vorliegenden Erfindung verhindert die Bildung von feinen Zwischenräumen oder Spalten zwischen den Graphitteilchen und der Ferritmatrix, da der kugelige Graphit-Eisenguss wärmebehandelt wird bei einer Temperatur bei dessen A_3 Umwandlungspunkt oder höher während einer kurzen Zeitperiode von 30 Minuten oder weniger, unmittelbar nach der Verfestigung des Gusseisens. Zu bemerken wäre, dass eine Wandstärke von 2 mm oder weniger eine untere Grenze in der Dicke in praktischen Anwendungen darstellt.

Ein kugeliges Graphit-Eisengussteil gemäss der vorliegenden Erfindung eignet sich für dünnes Giesen, wie z.B. bei der Herstellung von Aufhänge- oder Halterungsteilen für Automobile, sowie selbstverständlich für alle weiteren Anwendungen wo dünnwandige Eisengussteile zu verwenden sind.

Die vorliegende Erfindung wird nun unter Bezug auf die nachfolgenden Beispiele näher erläutert.

Beispiel 1

(1.) Zusammensetzung:

Ein Eisengussmaterial, umfassend eine Zusammensetzung bestehend aus Eisen, zwangsläufigen Verunreinigungen und den nachfolgenden Komponenten wurde verwendet, um ein Testprüfstück mit einer stufenweise zunehmenden Wandstärke, wie in Fig. 1 gezeigt, herzustellen:

C (Kohlenstoff): 3,65 Gew.-%
 Si (Silizium): 2,15 Gew.-%
 Mn (Mangan): 0,20 Gew.-%
 P (Phosphor): 0,025 Gew.-%
 S (Schwefel): 0,009 Gew.-%
 Mg (Magnesium): 0,037 Gew.-%

(2.) Wärmebehandlung:

Eine kugelige Eisengusschmelze mit der obigen Zusammensetzung wurde in eine Gussform bei 1410°C gegossen und die Gussform wurde durch Schüttelbewegungen entfernt, als die Oberflächentemperatur des Eisengussteiles 870°C in einem 3 mm dicken Abschnitt betrug. Das Gussteil wurde unmittelbar anschliessend in eine gleichmässige Temperaturzone eines kontinuierlichen Ofens, der auf 850°C gehalten wurde, eingeführt und darin während 5 Minuten gehalten. Danach wurde das Gussteil in eine Abkühlzone transferiert, wo es über eine Zeitdauer von 10 Minuten auf eine Temperatur von 650°C abgekühlt wurde, worauf das Gussteil aus dem Ofen entfernt wurde.

Unter Verwendung des Prüfstückes, das gemäss der obigen Wärmebehandlung erhalten worden ist, wurden abtastartige Elektronenmikrographie-Messungen durchgeführt. Die abtastartige Elektronenphotomikrographie vom 3 mm dicken Abschnitt des Prüfkörpers ist in Fig. 2 dargestellt.

5 Gleichzeitig wurde das kugelige Graphit-Eisengussmaterial mit derselben Zusammensetzung wie oben beschrieben, zur Herstellung eines Rohgussprobekörpers mit derselben Form verwendet. Die abtastartige Elektronenphotomikrographie von dessen 3 mm dickem Abschnitt ist in Fig. 3 dargestellt.

Beispiel 2

10 (1) Zusammensetzung:

Ein Eisenguss-Material umfassend eine Zusammensetzung, bestehend aus Eisen, zwangsläufigen Verunreinigungen und der folgenden Komponenten wurde verwendet um ein Teststück mit einer stufenweise ansteigenden Dicke, wie in Fig. 1 gezeigt, herzustellen:

15 C: 3,67 Gew.-%
Si: 2,13 Gew.-%
Mn: 0,21 Gew.-%
P: 0,027 Gew.-%
20 S: 0,01 Gew.-%
Mg: 0,038 Gew.-%

(2) Wärmebehandlung:

25 Die kugelige Graphit-Eisenguss-Schmelze mit der oben erwähnten Zusammensetzung wurde in eine Giessform bei 1420°C gegossen und anschliessend wurde die Form mittels Schütteln entfernt, als die Oberflächentemperatur des Eisengussteiles 850°C in einem 2 mm dicken Abschnitt betrug. Das Gussteil wurde unmittelbar in eine gleichmässige Temperaturzone von einem kontinuierlichen Ofen, der bei 850°C gehalten wurde, eingeführt, und darin während 10 Minuten gehalten. Danach wurde das Gussteil in eine
30 Abkühlzone transferiert, wo es während 18 Minuten auf eine Temperatur von 650°C abgekühlt wurde, worauf es aus dem Ofen entfernt wurde.

Unter Verwendung des Prüfkörpers, erhalten gemäss der obigen Wärmebehandlung, wurden abtastartige Elektronenmikrographie-Messungen durchgeführt. Die abtastartige Elektronenmikrographie von dessen 2 mm dickem Abschnitt ist in Fig. 4 dargestellt.

35 Gleichzeitig wurde das kugelige Graphit-Eisengussmaterial, mit derselben Zusammensetzung wie oben beschrieben, verwendet, um ein Rohgussprüfkörper derselben Form herzustellen. Die abtastartige Elektronenphotomikrographie von dessen 2 mm dickem Abschnitt ist in Fig. 5 dargestellt.

Beispiel 3

40 (1) Zusammensetzung:

Ein Eisengussmaterial, umfassend eine Zusammensetzung, bestehend aus Eisen, zwangsläufigen Verunreinigungen und den folgenden Komponenten wurde verwendet um einen runden Stab mit einem
45 Durchmesser von 17 mm herzustellen:

C: 3,65 Gew.-%
Si: 2,14 Gew.-%
Mn: 0,25 Gew.-%
50 P: 0,026 Gew.-%
S: 0,008 Gew.-%
Mg: 0,039 Gew.-%

55 Eine kugelige Graphit-Eisenguss-Schmelze mit der obigen Zusammensetzung wurde in eine Gussform bei 1420°C eingegossen.

(2) Wärmebehandlung:

60 a) Wärmebehandlung gemäss der vorliegenden Erfindung: Die Hälfte der Eisengussteile wurde der Wärmebehandlung gemäss der vorliegenden Erfindung ausgesetzt. Die Gussform wurde mittels Schütteln entfernt, als die Oberflächentemperatur von jedem Eisengussteil 850°C betrug, und diese wurden unmittelbar in eine gleichmässige Temperaturzone von einem kontinuierlichen Ofen, gehalten bei 850°C, eingeführt und darin für 10 Minuten gehalten. Danach wurden die Gussteile in eine Abkühlzone transferiert, wo sie über 20 Minuten auf 650°C abgekühlt wurden, worauf sie aus dem Ofen entfernt wurden.

65

b) Konventionelle Wärmebehandlung:

Die andere Hälfte der Eisengussteile wurde einer konventionellen Wärmebehandlung ausgesetzt. Das heisst, die Form wurde durch Schütteln entfernt, und jedes Eisengussteil wurde in der Luft stehen gelassen, so dass es auf Raumtemperatur abkühlte. Anschliessend wurde das Eisengussteil in einen Ferritisierungs-ofen eingeführt, wo es über 2 Stunden auf 850°C erhitzt wurde. Das Eisengussteil wurde während 3 Stunden bei 850°C gehalten und dann über 10 Stunden auf 650°C abgekühlt. Danach wurde es aus dem Ofen entfernt.

(3.) Messungen

Zugteststücke (Nr. 4 gemäss JIS Z 2201) wurden aus den 17 mm Rundstäben, welche, wie oben beschrieben, wärmebehandelt wurden, hergestellt und in bezug auf Zugfestigkeit, Streckgrenze, Dehnung, Härte und Längselastizitäts-Modul gemessen.

Weiter wurden Rotationsbiegeermüdungs-Teststücke, jedes mit einem Durchmesser von 12 mm (Nr. 1 gemäss JIS Z 2274) aus den übrigen 17 mm Rundstäben hergestellt, um Ermüdungsfestigkeitsmessungen durchzuführen.

Im weiteren wurden Prüfkörper mit 12 mm Durchmesser und 50 mm Länge hergestellt, um Schallgeschwindigkeits- und Dichtemessungen durchzuführen.

Abtastartige Elektronenmikrographie-Messungen wurden an beiden Prüfkörperarten durchgeführt, sowohl an denjenigen, die Wärmebehandlung gemäss der vorliegenden Erfindung, wie auch an solchen, die konventioneller Wärmebehandlung ausgesetzt worden sind. Fig. 6 zeigt eine abtastartige Elektronenmikrographie ($\times 960$) vom Prüfkörper, der Wärmebehandlung gemäss der vorliegenden Erfindung ausgesetzt wurde, und Fig. 7 zeigt eine abtastartige Elektronenmikrographie ($\times 960$) vom Prüfkörper, welcher konventioneller Wärmebehandlung ausgesetzt worden ist.

Die oben erwähnten mechanischen und physikalischen Eigenschaften sind in den Tabellen 1 und 2 dargestellt.

Tabelle 1

Probe Nr.*	Zugfestigkeit (kp/mm ²)	Streckgrenze (kp/mm ²)	Bruchdehnung (%)	Härte HB
1	44,8	30,3	29,2	137
2	44,2	31,8	27,4	143
3	43,9	31,3	28,3	140
4	41,0	28,3	27,0	137
5	43,2	29,8	24,9	140
6	42,2	29,3	26,5	137

Bemerkung*:

Proben Nr. 1–3 gemäss vorliegender Erfindung

Proben Nr. 4–6: konventionelle Wärmebehandlung

Tabelle 2

Probe Nr.*	Längselastizitätsmodul (kp/mm ²)	Schallgeschwindigkeit (m/sec)	Dichte (gr/cm ³)	Biegefestigkeit resp. Ermüdungsfestigkeit (kp/mm ²)
1	$1,65 \times 10^4$	5,56–5,57 $\times 10^3$	7,02– 7,04	19,0
2	$1,61 \times 10^4$	5,40–5,44 $\times 10^3$	7,01– 7,03	16,5

Bemerkung*:

Probe Nr. 1: Gemäss vorliegender Erfindung

Probe Nr. 2: Konventionelle Wärmebehandlung

Aus den Tabellen 1 und 2 wird klar, dass die Probe-Körper behandelt gemäss der vorliegenden Erfindung, denjenigen gemäss konventioneller Behandlung überlegen sind, sowohl in bezug auf die mechanischen Eigenschaften als auch auf die physikalischen Eigenschaften. Speziell in bezug auf die Biegefestigkeit resp. Ermüdungsfestigkeit sind erstere Proben um 15% oder mehr besser als die letzteren.

5 Weiter wird aus den Fig. 6 und 7 klar, dass die Probe-Körper welche konventioneller Wärmebehandlung ausgesetzt worden sind, feine Spalten oder Ritzen um die Graphit-Partikel aufweisen, welche in der Matrix verteilt sind. Es ist anzunehmen, dass diese feinen Spalten durch die Diffusion von primär aus-

10 geschiedenem Graphit in die Matrix vom einen einmal abgekühlten Probe-Körper während der Wärmebehandlung auf 850°C während einer längeren Zeit erzeugt werden. Auf der anderen Seite sind im wesentlichen keine feinen Spalten um die Graphitteilchen in den Prüfkörpern festzustellen, welche gemäss der vorliegenden Erfindung wärmebehandelt worden sind. Das Fehlen dieser Spalten ist darauf zurückzuführen, dass die Prüfkörper während einer sehr kurzen Zeitperiode (10 Minuten), verglichen mit derjenigen in der konventionellen Wärmebehandlung (3 Std.) auf 850°C gehalten worden sind. Bei dieser Wärmebehandlung findet Diffusion von Graphit in die Matrix im wesentlichen nicht statt.

15 Im weiteren wurde die Wärmebehandlung in der vorliegenden Erfindung in nur 30 Minuten von Einführung in den Ofen bis zum Entfernen aus diesem durchgeführt, währenddem die konventionelle Wärmebehandlung 15 Std. von der Einführung in den Ofen bis zum Entfernen daraus dauert. Aus diesem Grund ist in der Wärmebehandlung gemäss der vorliegenden Erfindung Wärmeenergie in grossem Umfange eingespart worden.

Beispiel 4

(1) Zusammensetzung:

25 Ein Eisengussmaterial, umfassend eine Zusammensetzung bestehend aus Eisen, zwangsläufigen Verunreinigungen und den folgenden Komponenten wurde verwendet, um ein Teststück mit stufenweise ansteigender Dicke, wie in Fig. 1 gezeigt, herzustellen:

30 C: 3,65 Gew.-%
Si: 2,15 Gew.-%
Mn: 0,20 Gew.-%
P: 0,025 Gew.-%
S: 0,009 Gew.-%
35 Mg: 0,037 Gew.-%

(2) Wärmebehandlung:

40 Eine kugelige Graphit-Eisengusschmelze umfassend die obige Zusammensetzung wurde in eine Giessform bei 1410°C eingegossen, und die Form wurde mittels Schütteln entfernt, als die Oberflächentemperatur des Gusseisenteils in einem 10 mm dicken Abschnitt 870°C betrug. Das Gussteil wurde unmittelbar in eine uniforme Temperaturzone von einem kontinuierlichen Ofen, gehalten bei 850°C, eingeführt und darin für 5 Minuten gehalten. Danach wurde das Gussteil in eine Abkühlzone transferiert, wo es über 10 Minuten auf 650°C abgekühlt wurde, worauf es aus dem Ofen entfernt wurde.

45 Mittels den Prüfkörpern, erhalten gemäss der obigen Wärmebehandlung, wurden abtastartige Elektronenmikrographie-Messungen durchgeführt. Die abtastartige Elektronenphotomikrographie ($\times 1500$) vom 10 mm dicken Abschnitt des Gussteiles ist in Fig. 8 dargestellt.

50 Gleichzeitig wurde kugeliges Graphit-Eisengussmaterial, mit derselben Zusammensetzung wie oben beschrieben, verwendet, um Prüfkörper derselben Form herzustellen. Der Prüfkörper wurde zunächst auf Raumtemperatur abgekühlt und danach erneut über 2 Std. auf 850°C erwärmt und bei dieser Temperatur während 3 Std. gehalten. Danach wurde der Prüfkörper über 10 Std. auf 650°C abgekühlt. Die abtastartige Elektronenphotomikrographie von dessen 10 mm dickem Abschnitt ist in Fig. 9 dargestellt.

Beispiel 5

(1) Zusammensetzung:

60 Ein Gusseisenmaterial, umfassend eine Zusammensetzung bestehend aus Eisen, zwangsläufigen Verunreinigungen und den folgenden Komponenten wurde verwendet, um einen Steuerarm, dargestellt in den Fig. 10 und 11, herzustellen:

65 C: 3,66 Gew.-%
Si: 2,14 Gew.-%
Mn: 0,23 Gew.-%
P: 0,026 Gew.-%

S: 0,006 Gew.-%
Mg: 0,037 Gew.-%

In Fig. 10 wird mit der Bezugszahl 1 eine Achswelle bezeichnet, mit 2 ein Paar von Bohrungen, mit 3 eine Achswelle, mit 4 ein Paar von Bohrungen, mit 5 eine Gelenksteuerung, wie beispielsweise eine Kardandrehzapfensteuerung, mit 6 eine zentrale Achswelle für die Hinterräder, und mit 7 eine Feder. Die Dicke von diesem Steuerungsarm bewegt sich zwischen 3,5 mm und 8 mm.

(2) Wärmebehandlung:

Die kugelige Graphit-Eisengusschmelze mit der obigen Zusammensetzung wurde in eine Giessform bei 1410°C eingegossen.

(a) Wärmebehandlung gemäss der vorliegenden Erfindung:

Die Form wurde durch Schütteln entfernt, als die Oberflächentemperatur des Gussteiles 850°C aufwies. Das Gussteil wurde unmittelbar in eine gleichmässige Temperaturzone von einem kontinuierlichen Ofen, gehalten bei 850°C, eingeführt, und darin für 10 Minuten gehalten. Danach wurde das Gussteil in eine Abkühlzone transferiert, wo es über 20 Minuten auf 650°C abgekühlt wurde, worauf es aus dem Ofen entfernt wurde.

(b) Konventionelle Wärmebehandlung:

Die Form wurde durch Schütteln entfernt und das Gussteil an der Luft stehen gelassen, so dass es sich auf Raumtemperatur abkühlte. Danach wurde es in einen Ferritisierungs-ofen eingeführt, wo es über 2 Std. auf 850°C erwärmt wurde. Danach wurde es für 3 Std. bei 850°C gehalten, und anschliessend über 10 Std. auf 650°C abgekühlt. Danach wurde es aus dem Ofen entfernt.

(3) Messungen:

Eine Achswelle 1 wurde in ein Paar von Bohrungen 2,2 eingeführt, und eine Gelenksteuerung 5 wurde drehbar zum Steuerungsarm mittels einer Achswelle 3 befestigt, welche durch ein Paar von Bohrungen 4 eingeführt ist. Eine zentrale Achswelle 6, eingeführt in die Gelenksteuerung 5, und die Achswelle 1 wurden eingespannt und eine Belastung von 2800 Pfund (lbs) (ca. 1270 kg) wurde an die Feder 7 angelegt.

Unter diesen Bedingungen wurde Biegefestigkeit und Ermüdungsfestigkeit an beiden Prüfkörpern gemessen. Die Resultate sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3

Eigenschaften	Konventionelle Wärmebehandlung	Wärmebehandlung gem. vorl. Erfindung	Verhältnis ⁽¹⁾
Biegefestigkeit resp. Steifheit [lbs/Grad][kg/Grad]	527 (239)	543 (246,3)	1,03
Ermüdungsfestigkeit ⁽²⁾	42 × 10 ⁴	100 × 10 ⁴⁽³⁾	mehr als 2,38

Bemerkungen

(1): Das Verhältnis der Werte gemäss der vorliegenden Erfindung zu denjenigen gemäss konventioneller Wärmebehandlung.

(2): Angegeben in Anzahl Zyklen bis der Prüfkörper gebrochen ist.

(3): Nicht gebrochen bis 100 × 10⁴ Zyklen.

Aus Tabelle 3 wird klar, dass der Steuerarm gemäss der vorliegenden Erfindung etwas verbesserte Steifheit aufweist, und wesentlich widerstandsfähiger ist in bezug auf Ermüdungsbruch im Vergleich zum konventionellen Steuerarm.

Es kann angenommen werden, dass diese verbesserte Ermüdungsfestigkeit durch die Struktur gemäss der vorliegenden Erfindung erzeugt wird, in welcher im wesentlichen keine feinen Spalten um die Graphitteilchen vorhanden sind.

Da die dünnwandigen kugeligen Graphit-Eisengussteile mit hoher Festigkeit im wesentlichen keine feinen Spalten aufweisende Graphitteilchen beinhalten, zeigen diese wie oben im Detail beschrieben, exzellente mechanische Eigenschaften, wie auch gute physikalische Eigenschaften.

Da Zementit durch Erwärmen bei einer Temperatur des A₃ Umwandlungspunktes oder höher in einer derart kurzen Zeitperiode wie 30 Minuten oder weniger mittels Wärmebehandlung gemäss der vorliegenden Erfindung zersetzt werden kann, ist dies ein weiterer extremer Vorteil in bezug auf Energieverbrauch.

Patentansprüche

1. Dünnwandiges Erzeugnis mit hoher Festigkeit aus kugelartigem Graphit-Eisenguss mit Graphitteilchen in einer Ferritmatrix verteilt, beinhaltend 10% oder weniger an Austenit, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den besagten Graphitteilchen und besagter Ferritmatrix im wesentlichen keine feinen Spalten vorhanden sind.
2. Dünnwandiges Erzeugnis nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass besagter kugelartiger Graphit-Eisenguss eine Zusammensetzung von im wesentlichen 3,5–3,9 Gew.-% an C, 2,0–3,0 Gew.-% an Si, 0,35 Gew.-% oder weniger an Mn, 0,1 Gew.-% oder weniger an P, 0,02 Gew.-% oder weniger an S, 0,025–0,06 Gew.-% an Mg und der Rest im wesentlichen Fe und zwangsläufige Verunreinigungen aufweist.
3. Dünnwandiges Erzeugnis nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die besagten Graphit-Partikel eine mittlere Partikelgrösse von 20 μm oder weniger und eine maximale Partikelgrösse von 60 μm oder weniger umfassen.
4. Dünnwandiges Erzeugnis nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass wesentliche Teile des besagten Erzeugnisses 12 mm dünn oder weniger sind.
5. Dünnwandiges Erzeugnis nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass dieses ein Aufhänge- oder Halterungsteil für Automobile ist.
6. Verfahren zur Herstellung eines dünnwandigen Erzeugnisses nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch die Schritte des Giessens einer Schmelze mit kugelartiger Graphit-Eisenguss-Zusammensetzung in eine Giessform; des Entfernens der besagten Giessform durch Ablösen nach der Beendigung des Erstarrens der besagten Schmelze, währenddem im wesentlichen der ganze Teil des resultierenden Eisenguss-Produktes immer noch auf einer Temperatur von seinem A_3 Umwandlungspunkt oder höher ist; des unmittelbaren Einführens des besagten Eisenguss-Produktes in eine gleichmässige Temperaturzone von einem kontinuierlichen Beheizungsofen, die auf einer Temperatur des A_3 Umwandlungspunktes oder höher gehalten wird, wo das besagte Eisenguss-Produkt während 30 Minuten oder weniger gehalten wird, um in der Matrix enthaltendes Zementit abzubauen; und des Überführens des besagten Eisenguss-Produktes in eine Kühlzone von besagtem kontinuierlichen Ofen um das besagte Eisenguss-Produkt mit einer derartigen Abkühlgeschwindigkeit abzukühlen, um die Ferritisierung der besagten Matrix zu bewirken.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Abkühlgeschwindigkeit des besagten Eisenguss-Produktes in besagter Kühlzone von besagtem kontinuierlichen Ofen 40°C pro Minute oder weniger beträgt und besagtes Eisenguss-Produkt aus dem besagten kontinuierlichen Ofen bei einer Temperatur niedriger als der A_1 Umwandlungspunkt von besagtem kugelartigem Graphit-Eisenguss entfernt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur der besagten gleichmässigen Temperaturzone des besagten kontinuierlichen Ofens 850–950°C beträgt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das besagte Eisenguss-Produkt in der uniformen Temperaturzone von besagtem kontinuierlichen Ofen, geheizt auf eine Temperatur von 850–950°C, während 5–25 Minuten verweilt, und in der Abkühlzone von besagtem kontinuierlichen Ofen mit einer Abkühlgeschwindigkeit von 5–25°C pro Minute abgekühlt wird und dann aus dem besagten kontinuierlichen Ofen bei einer Temperatur von 650°C oder tiefer entfernt wird.

45

50

55

60

65

FIG. 1

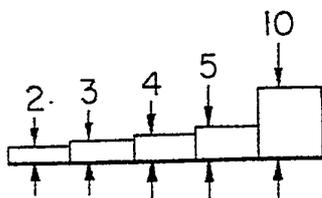
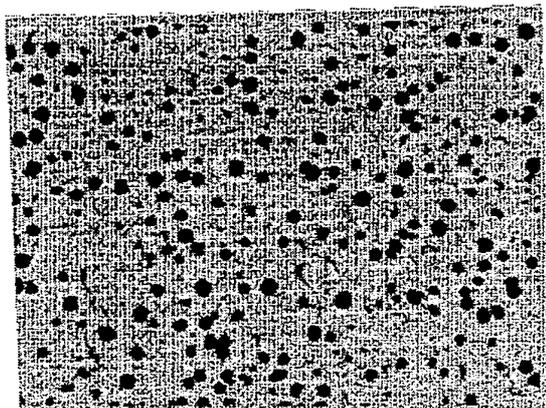
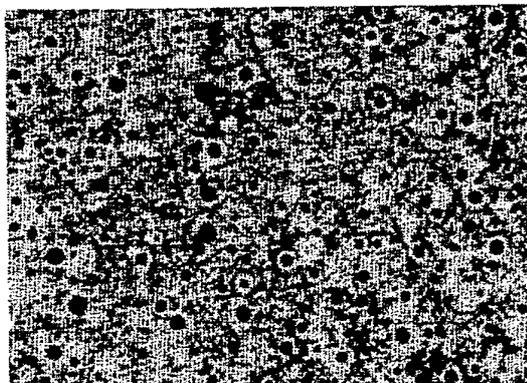


FIG. 2



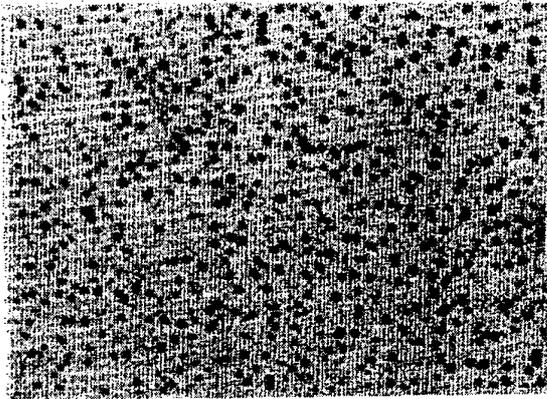
x 100

FIG. 3



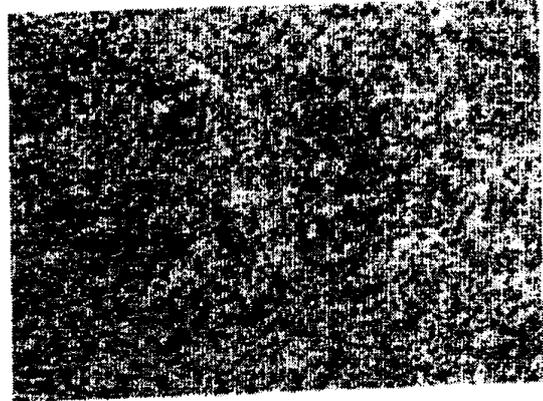
x 100

FIG. 4



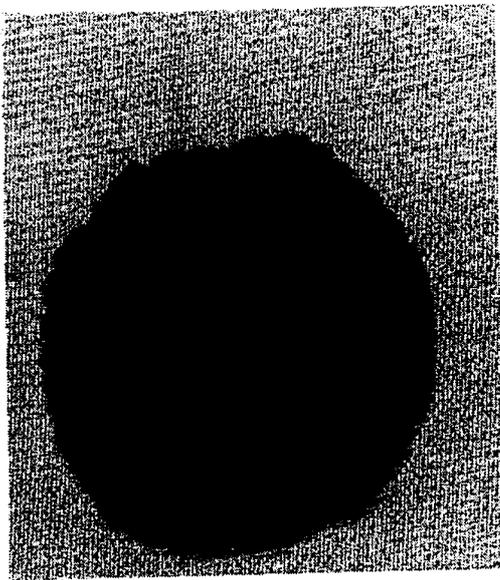
x100

FIG. 5



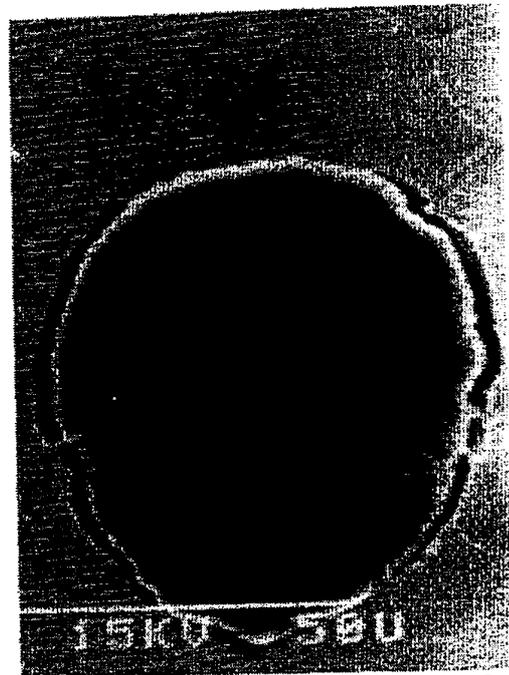
x100

FIG. 6



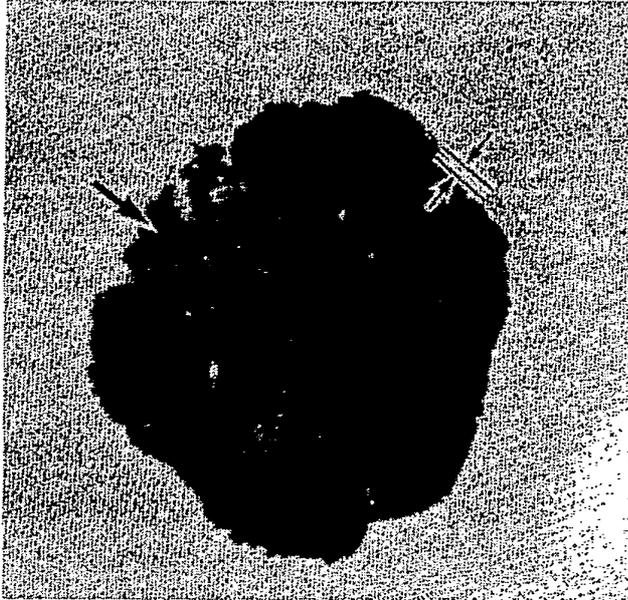
x 960

FIG. 7



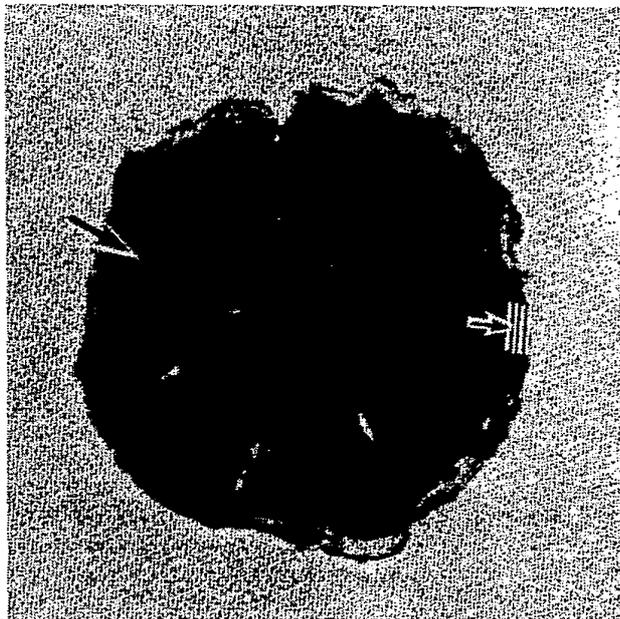
x 960

FIG. 8



× 1500

FIG. 9



× 1500

FIG. 10

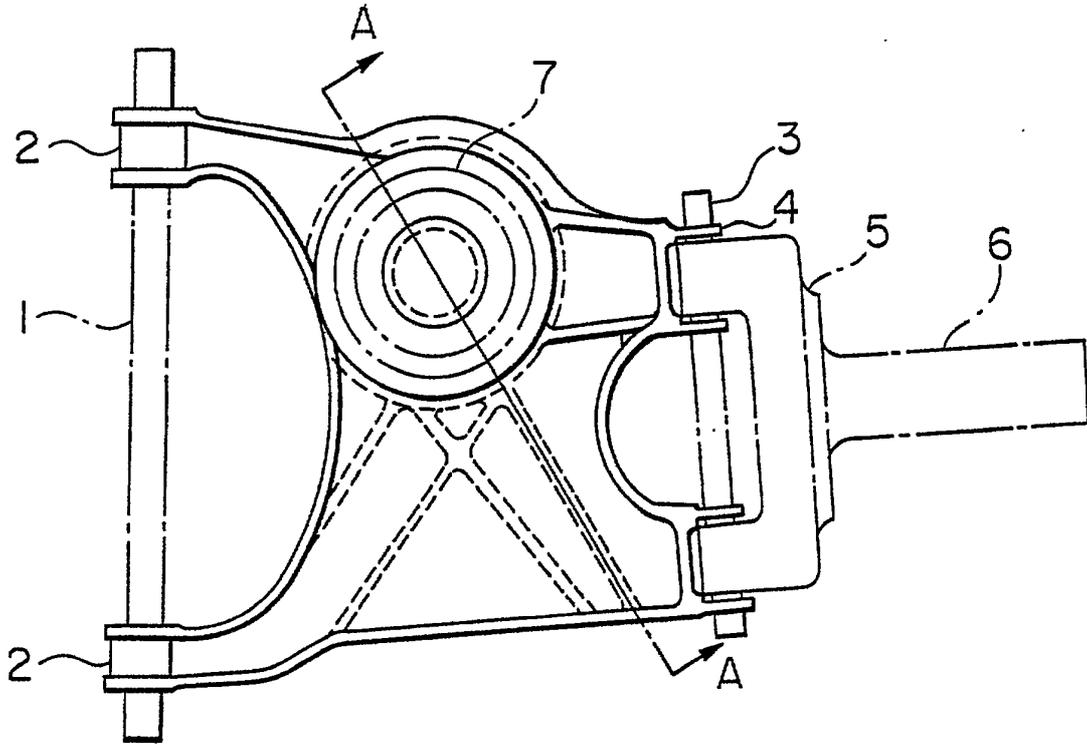


FIG. 11

