

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 933 441 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
16.10.2002 Patentblatt 2002/42

(51) Int Cl.7: **C22F 1/043**, C22F 1/05

(21) Anmeldenummer: **98810062.4**

(22) Anmeldetag: **29.01.1998**

(54) **Verfahren zur Herstellung eines Bauteiles aus einer Aluminiumlegierung durch Druckgießen**

Process for producing an aluminium alloy pressure die cast component

Procédé pour la fabrication d'un pièce coulée sous pression en alliage d'aluminium

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT BE CH DE DK ES FR GB IE IT LI NL PT SE

Benannte Erstreckungsstaaten:

LT LV SI

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

04.08.1999 Patentblatt 1999/31

(73) Patentinhaber: **Alcan Technology & Management
AG**

8212 Neuhausen am Rheinfall (CH)

(72) Erfinder:

- **Winkler, Reinhard**
78234 Engen (DE)

• **Höllrigl, Günther**

8200 Schaffhausen (CH)

(56) Entgegenhaltungen:

EP-A- 0 743 372

FR-A- 2 323 771

GB-A- 390 244

GB-A- 613 413

US-A- 4 419 143

- **SCHNEIDER WET AL: "WAERMEBEHANDLUNG
VON ALUMINIUM-GUSSLEGIERUNGEN FUER
DAS VAKUUM- DRUCKGIESSEN" GIESSEREI,
Bd. 83, Nr. 1, 8.Januar 1996, Seiten 20-24,
XP000581599**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 0 933 441 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteiles aus einer durch Ausscheidung von Mg_2Si aushärtbaren Aluminiumlegierung mit Si- und/oder Mg_2Si -Eutektikum durch Druckgiessen.

[0002] Das Crashverhalten ist im Fahrzeugbau ein zunehmend wichtiger Aspekt. Dies gilt für den Strassenverkehr ebenso wie für den Schienenverkehr.

[0003] Hersteller von Strassen- und Schienenfahrzeugen gehen immer mehr dazu über, spezielle Bauelemente oder sogar ganze Baugruppen des Fahrzeuges so zu dimensionieren, dass diese bei einem Zusammenstoss möglichst viel Energie absorbieren, um damit das Verletzungsrisiko der Passagiere zu verringern.

[0004] Neben der konstruktiven Gestaltung dieser sogenannten crashrelevanten Bauteile sind die mechanischen Eigenschaften der eingesetzten Werkstoffe von ausschlaggebender Bedeutung. Angestrebt wird eine möglichst grosse Absorption von Energie vor dem Bruch.

[0005] Das Druckgiessverfahren ermöglicht bei hohen Stückzahlen die kostengünstige Herstellung dünnwandiger Gussstücke, wie sie als crashrelevante Bauteile im Automobilbau eingesetzt werden. Dünnwandige Teile stellen hohe Anforderungen an die Giessbarkeit. Aluminiumlegierungen, welche die an das Fliessverhalten bzw. Formfüllungsvermögen gestellten Anforderungen erfüllen können, sind Legierungen mit einem Si- und/oder Mg_2Si -Eutektikum.

[0006] Bauteile mit teilweise geringen Wandstärken, wie sie beispielsweise als Strukturbauteile im Automobilbau eingesetzt werden, verziehen sich beim Abschrecken und müssen daher gerichtet werden. Zudem kann die hohe Glühtemperatur infolge einer Restgasporosität zu Blasenbildung an der Oberfläche der Bauteile führen. Zur Herstellung von Strukturbauteilen der genannten Art durch Druckgiessen wurde deshalb nach Möglichkeiten gesucht, die geforderten Festigkeits- und Dehnungswerte auch ohne Durchführung einer Lösungsglühung zu erzielen.

[0007] Für crashrelevante Bauteile im Automobilbau wird der Schwerpunkt auf die Duktilität, also auf das Verformungsvermögen und auf den duktilen Bruch, ausgedrückt durch die Bruchdehnung (A5), gelegt. Die Festigkeit, ausgedrückt durch die 0.2% Streckgrenze (Rp 0.2), kann dabei relativ tiefe Werte annehmen. An einen Werkstoff für die Herstellung crashrelevanter Bauteile werden beispielsweise folgende Bedingungen gestellt:

Streckgrenze $Rp0.2 > 120 \text{ MPa}$

Bruchdehnung $A5 > 15\%$

[0008] Aus Gründen der Formstabilität müssen die genannten Minimalwerte ohne Durchführung einer Hochtemperaturglühung mit nachfolgender Wasserabschreckung erreicht werden können. Diese Bedingung scheint im Zusammenhang mit den geforderten mechanischen Eigenschaften nach dem heutigen Kenntnisstand nicht erfüllbar zu sein.

[0009] Aus der GB-A-616 413 ist es bekannt, eine Aluminiumlegierung mit Silizium und Magnesium als wesentliche Legierungsbestandteile bei einer Temperatur von 350°C während einer Zeitdauer von 1 h zu glühen. Ein entsprechendes Bauteil kann auch durch Druckgiessen hergestellt werden.

[0010] Die FR-A-2 323 771 offenbart ein Wärmebehandlungsverfahren für eine Aluminiumlegierung mit Silizium und Magnesium als wesentliche Legierungsbestandteile. Das Wärmebehandlungsverfahren schliesst unter anderem eine Glühung zwischen 300 und 340°C während 4 bis 8 h ein.

[0011] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Wärmebehandlung zu finden, mit welcher eine hohe Bruchdehnung bei ausreichender Streckgrenze erreicht werden kann.

[0012] Zur erfindungsgemässen Lösung der Aufgabe führt, dass das Bauteil nach dem Druckgiessen zur Erhöhung der Duktilität auf das gewünschte Mass in einem Temperaturbereich von 380 bis 410°C während einer Zeitdauer von 90 bis 10 min einer Heterogenisierungsglühung unterworfen wird.

[0013] Die erfindungsgemässe Heterogenisierungsglühung ist zugleich eine Glühung, bei der die Übersättigung der raschen Erstarrung abgebaut wird. Für die hierzu erforderliche Diffusion von Si wird die Glühung im Temperaturbereich zwischen 380 und 410°C durchgeführt. Mit dieser Heterogenisierungsglühung wird erreicht, dass die Al-Matrix vollkommen duktil wird. Das Crashverhalten des Bauteiles wird verbessert, weil sich während des duktilen Bruches grössere Verformungswege ergeben.

[0014] Ein wesentlicher Aspekt des erfindungsgemässen Wärmebehandlungsverfahrens liegt darin, dass auf eine Hochtemperaturglühung mit nachfolgender Wasserabschreckung verzichtet und das Bauteil verzugsfrei hergestellt werden kann.

[0015] Zur optimalen Einstellung der Werte für die Streckgrenze und die Bruchdehnung wird das Bauteil vor der Heterogenisierungsglühung zur Einstellung des gewünschten Festigkeitsniveaus bevorzugt im Temperaturbereich der Ausscheidungshärtung von Mg_2Si im abfallenden Teil der Härtekurve ausgehärtet. Diese Voraushärtung bringt ein höheres Festigkeitsniveau als im Gusszustand und stellt somit einen definierten Ausgangszustand her.

[0016] Die verwendeten Temperaturen und Zeiten für diese Voraushärtung liegen im Überhärtungsbereich und haben zum Ziel, eine möglichst homogene Vorentmischung von Mg_2Si -Ausscheidungen zu erzeugen. Damit wird erreicht, dass die Heterogenisierungsglühung mit kurzen Diffusionswegen, d.h. mit kürzeren Zeiten ablaufen kann und sich demzufolge ein bezüglich der vergrößerten Mg_2Si -Teilchen sehr homogenes Gefüge einstellt.

[0017] Bevorzugt wird die Voraushärtung in einem Temperaturbereich von etwa 190 bis 210° C durchgeführt.

[0018] Eine rasche Erstarrung dünnwandiger Gussteile führt zu hoher Si-Übersättigung, welche grösser als die Gleichgewichtslöslichkeit (>1.60% Si) sein kann. Die nach dem Stand der Technik üblicherweise durchgeführte Wärmebehandlung bei 490 bis 530°C mit anschliessender Abschreckbehandlung in Wasser reduziert die Si-Übersättigung auf 0,7 bis 0,8% Si, wobei gleichzeitig die Voraussetzung geschaffen wird, das Werkstück durch Ausscheidungshärtung von Mg_2Si auf höhere Festigkeit zu bringen. Der Anstieg der Duktilität, meistens ermittelt als A5-Bruchdehnung durch Zugprüfung, ist durch Abbau der Si-Übersättigung und durch gleichzeitige Abrundung (Einförmung) des Si- bzw. Mg_2Si -Eutektikums erklärbar.

[0019] Der wesentliche Kern der vorliegenden Erfindung liegt darin, die Überhärtung der Al-Matrix so zu steuern, dass die gewünschte Streckgrenze erreicht wird. Gleichzeitig soll die bei höherer Temperatur ablaufende Diffusion des Si einen raschen Abbau der hohen Guss-Übersättigung von Si ermöglichen.

[0020] Im Rahmen des erfindungsgemässen Verfahrens wurde festgestellt, dass bereits kurzzeitige Glühungen im Temperaturbereich der Mg_2Si -Entmischung (Überhärtung) ausreichen, um die Duktilität auf das gewünschte Mass zu erhöhen. Der Konzentrationsausgleich des Si durch Diffusion bei Temperaturen unter etwa 400°C und damit der notwendige Abbau der Gussübersättigung wird vor allem ermöglicht durch die hohe Erstarrungsgeschwindigkeit beim Druckgiessen und die damit verbundene hohe Leerstellendichte.

[0021] Wird die Vergrößerung der Aushärtungsphase Mg_2Si gezielt gesteuert, indem man die erwähnte Voraushärtung im Temperaturbereich der Ausscheidungshärtung von Mg_2Si im abfallenden Teil der Härtekurve der Heterogenisierungsglühung voranstellt, kann ein optimales Verhältnis von Streckgrenze und Bruchdehnung erreicht werden. Erfindungsgemäss wird die Entmischungsreaktion des Mg_2Si durch Vergrößerung der bereits vorhandenen Mg_2Si -Teilchen kontrolliert gesteuert.

[0022] Eine bevorzugt eingesetzte Aluminiumlegierung enthält als wesentliche Legierungselemente 2.0 bis 11.0 Gew.-% Si und 0.10 bis 5.5 Gew.-% Mg. Wahlweise kann die Aluminiumlegierung noch 0.1 bis 0.5 Gew.-% Fe sowie 0.1 bis 1.2 Gew.-% Mn enthalten.

[0023] Die Aluminiumlegierung kann weitere Elemente einzeln max. 0.05 Gew.-%, insgesamt max. 0.2 Gew.-%, sowie Aluminium als Rest nebst herstellungsbedingten Verunreinigungen enthalten.

[0024] Zweckmässigerweise erfolgt die Heterogenisierungsglühung kontinuierlich in einem Durchlaufofen, vorzugsweise im Durchgang durch eine Heizzone mit steuerbarem Wärmeübergang.

[0025] Die erfindungsgemäss bevorzugte Kombination von Voraushärtung und Heterogenisierungsglühung führt zu einer gezielten Heterogenisierung, welche zusammenfassend folgende Vorteile beinhaltet:

- Das Werkstoffverhalten zeichnet sich durch einen duktilen Bruch aus und führt zu guten Crasheigenschaften des Bauteiles.
- Der Abbau der Si-Übersättigung erfolgt bei Temperaturen unterhalb von etwa 400° C.
- Es ist keine Abschreckbehandlung erforderlich, so dass Bauteile ohne Verzug hergestellt werden können. Das erfindungsgemässe Verfahren erlaubt auch eine Abkühlung von Bauteilen im Ofen.
- Die gegenläufigen Werkstoffkennwerte wie $R_{p0.2}$ und A5 sind gezielt einstellbar, bevorzugt im Bereich tiefer Streckgrenzen ($R_{p0.2}$: 115 bis 140 MPa).
- Eine infolge kürzerer Diffusionswege mögliche kürzere Glühdauer bei der Heterogenisierungsglühung ermöglicht eine kontinuierliche Glühung in einem Durchlaufofen.

[0026] Das bevorzugte Anwendungsgebiet des erfindungsgemässen Verfahrens liegt in der Herstellung dünnwandiger Bauteile mit hohem Aufnahmevermögen für kinetische Energie durch plastische Verformung, d.h. crashrelevanter Bauteile, wie sie als Sicherheitsteile im Fahrzeugbau und insbesondere im Automobilbau eingesetzt werden.

[0027] Die vorteilhafte Wirkung der erfindungsgemässen Wärmebehandlung ergibt sich aus den nachfolgend zusammengestellten Versuchsergebnissen beispielhafter Legierungen.

[0028] Fig. 1 zeigt schematisch die Bedingungen für die Voraushärtung im Temperaturbereich der Ausscheidungshärtung von Mg_2Si im abfallenden Teil der Härtekurve für drei verschiedene Glühtemperaturen.

Beispiele

[0029] Die untersuchten Legierungen sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1

Legierung	Zusammensetzung (Gew.-%)				
	Si	Fe	Mn	Mg	Ti
1	2.5	0.1	0.68	5.4	0.14
2	10.4	0.1	0.57	0.11	0.04

[0030] Aus den Legierungen 1 und 2 wurden Bauteile im Druckgiessverfahren hergestellt und nachfolgend verschiedenen Wärmebehandlungen unterzogen. Anschliessend wurden aus den Gussteilen Probestäbe für Zugversuche herausgearbeitet und an diesen die mechanischen Eigenschaften ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

[0031] Die Versuche zeigen deutlich die Vorteilhaftigkeit der erfindungsgemässen Wärmebehandlung zur Erzielung eines optimalen Verhältnisses von Bruchdehnung und Streckgrenze am gegossenen Bauteil.

Tabelle 2

Leg.	Wärmebehandlung	Mech. Eigenschaften			Wärmebehandlung	Mech. Eigenschaften		
		Rp0.2 (MPa)	Rm (MPa)	A5 (%)		Rp0.2 (MPa)	Rm (MPa)	A5 (%)
1	380°C x 90 min	115	255	18	190°C x 45 min + 380°C x 90 min	122	265	16
2	400°C x 20 min	102	205	19	200°C x 45 min + 400°C x 20 min	110	210	18
2	400°C x 10 min	110	215	17	200°C x 45 min + 400°C x 10 min	113	219	17
2	380°C x 20 min	112	216	16	200°C x 45 min + 380°C x 20 min	122	220	16

Patentansprüche

- Verfahren zur Herstellung eines Bauteiles aus einer durch Ausscheidung von Mg_2Si aushärtbaren Aluminiumlegierung mit Si- und/oder Mg_2Si -Eutektikum durch Druckgiessen, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bauteil nach dem Druckgiessen zur Erhöhung der Duktilität auf das gewünschte Mass in einem Temperaturbereich von 380 bis 410°C während einer Zeitdauer von 90 bis 10 min einer Heterogenisierungsglühung unterworfen wird.
- Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bauteil vor der Heterogenisierungsglühung zur Einstellung des gewünschten Festigkeitsniveaus im Temperaturbereich der Ausscheidungshärtung von Mg_2Si im abfallenden Teil der Härtekurve ausgehärtet wird.
- Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aushärtung in einem Temperaturbereich von 190 bis 210°C durchgeführt wird.
- Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aluminiumlegierung als wesentliche Legierungselemente 2.0 bis 11.0 Gew.-% Si und 0.10 bis 5.5 Gew.-% Mg enthält.
- Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aluminiumlegierung noch 0.1 bis 0.5 Gew.-% Fe und 0.2 bis 1.2 Gew.-% Mn enthält.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aluminiumlegierung weitere Elemente einzeln max. 0.05 Gew.-%, insgesamt max. 0.2 Gew.-%, sowie Aluminium als Rest nebst herstellungsbedingten Verunreinigungen enthält.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Heterogenisierungsglühung kontinuierlich in einem Durchlaufofen durchgeführt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 zur Herstellung dünnwandiger Bauteile mit hohem Aufnahmevermögen für kinetische Energie durch plastische Verformung.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das hergestellte Bauteil als Sicherheitsteil im Fahrzeugbau verwendet wird.

Claims

1. Method of producing a component from an Mg_2Si precipitation-hardenable aluminium alloy with an Si and/or Mg_2Si eutectic by die casting, **characterised in that** the component is subjected to heterogenisation annealing at a temperature within the range of 380 to 410°C for a period of 90 to 10 min after the die casting in order to increase its ductility to the desired extent.

2. Method according to claim 1, **characterised in that** the component is age-hardened within the temperature range of the precipitation hardening of Mg_2Si in the downwardly-sloping part of the hardness curve prior to the heterogenisation annealing in order to set the desired strength level.

3. Method according to claim 2, **characterised in that** the age hardening is carried out at a temperature within the range of 190 to 210°C.

4. Method according to one of claims 1 to 3, **characterised in that** the aluminium alloy contains 2.0 to 11.0 % by weight Si and 0.10 to 5.5 % by weight Mg as essential alloying elements.

5. Method according to claim 4, **characterised in that** the aluminium alloy also contains 0.1 to 0.5 % by weight Fe and 0.2 to 1.2 % by weight Mn.

6. Method according to claim 4 or claim 5, **characterised in that** the aluminium alloy contains further elements individually to a maximum of 0.05 % by weight and in total to a maximum of 0.2 % by weight, with the remainder aluminium, together with impurities due to production.

7. Method according to one of claims 1 to 6, **characterised in that** the heterogenisation annealing is carried out continuously in a continuous furnace.

8. Method according to one of claims 1 to 7 for the production of thin-walled components with a high capacity for absorbing kinetic energy by plastic deformation.

9. Method according to one of claims 1 to 7, in which the component produced is used as a safety component in vehicle construction.

Revendications

1. Procédé pour la fabrication d'un composant constitué d'un alliage d'aluminium durcissable par précipitation de Mg_2Si , avec eutectique de Si et/ou de Mg_2Si , par moulage sous pression, **caractérisé en ce qu'**après la moulage sous pression, le composant subit un recuit d'hétérogénéisation dans une plage de température de 380 à 410° C pendant une durée de 90 à 10 min. pour augmenter sa ductilité dans la mesure souhaitée.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'**avant le recuit d'hétérogénéisation destiné à établir le niveau de résistance mécanique souhaité, le composant est durci dans une plage de température du durcissement par précipitation de Mg_2Si , dans la partie descendante de la courbe de durcissement.

EP 0 933 441 B1

3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** le durcissement est réalisé dans une plage de température de 190 à 210° C.
- 5 4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** l'alliage d'aluminium contient comme éléments d'alliage essentiels de 2,0 à 11,0 % en poids de Si et de 0,10 à 5,5 % en poids de Mg.
5. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** l'alliage d'aluminium contient encore de 0,1 à 0,5 % en poids de Fe et de 0,2 à 1,2 % en poids de Mn.
- 10 6. Procédé selon la revendication 4 ou 5, **caractérisé en ce que** l'alliage d'aluminium contient d'autres éléments à une teneur individuelle maximale de 0,05 % en poids et à une teneur globale maximale de 0,2 % en poids, le solde étant formé de l'aluminium en plus d'impuretés résultant de sa fabrication.
- 15 7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** le recuit d'hétérogénéisation est réalisé en continu dans un four continu.
8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, pour la fabrication de composants à parois minces à haute capacité de reprise d'énergie cinétique par déformation plastique.
- 20 9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel le composant préparé est utilisé comme composant de sécurité en construction de véhicules.

25

30

35

40

45

50

55

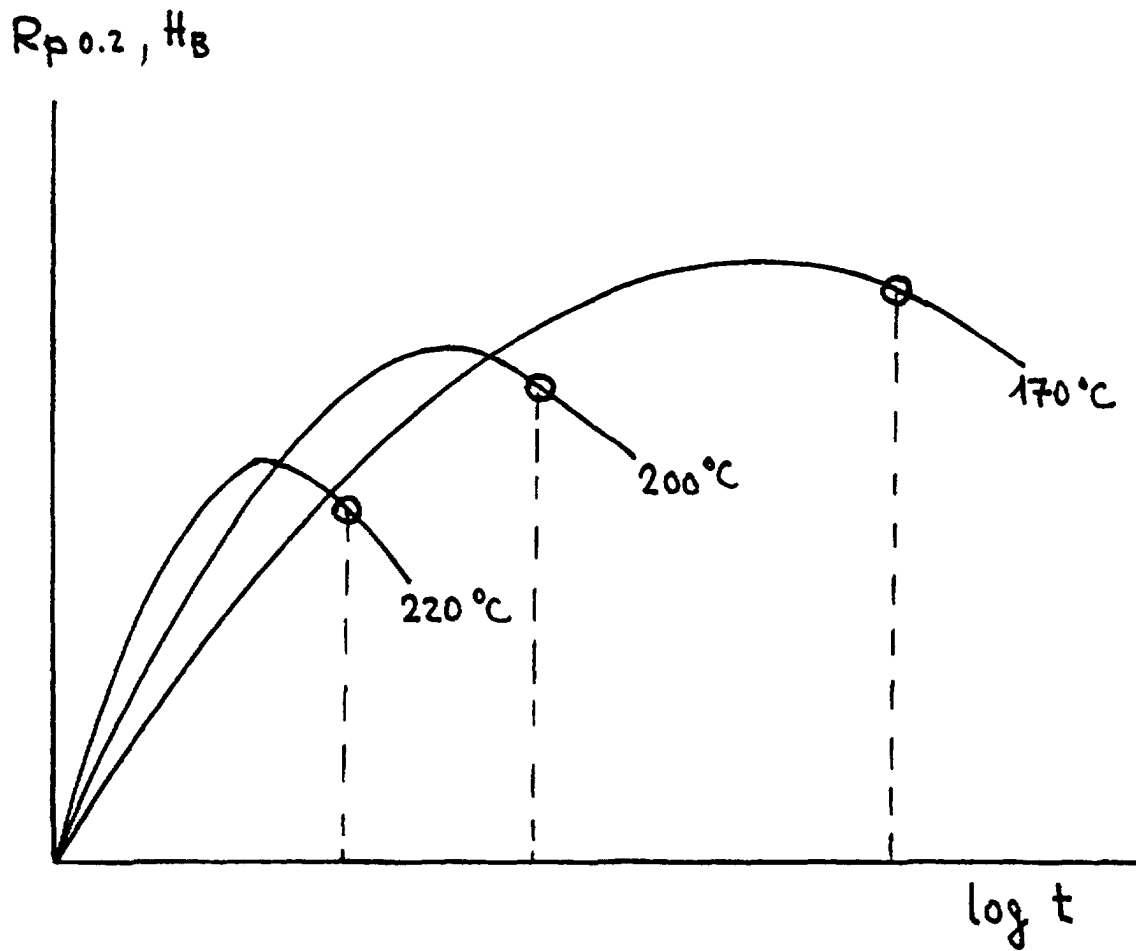


Fig.1