



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) Veröffentlichungsnummer : **0 060 577 B2**

(12)

NEUE EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag der neuen Patentschrift :
30.06.93 Patentblatt 93/26

(51) Int. Cl.⁵ : **C22C 38/44, C22C 38/50,**
C22C 38/58

(21) Anmeldenummer : **82200212.7**

(22) Anmeldetag : **22.02.82**

(54) **Turbinenschaufelwerkstoff hoher Festigkeit gegen Korrosionsermüdung, Verfahren zu dessen Herstellung und seine Verwendung.**

(30) Priorität : **16.03.81 CH 1766/81**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung :
22.09.82 Patentblatt 82/38

(45) Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung :
07.05.86 Patentblatt 86/19

(45) Bekanntmachung des Hinweises auf die Entscheidung über den Einspruch :
30.06.93 Patentblatt 93/26

(84) Benannte Vertragsstaaten :
AT CH DE FR GB LI SE

(56) Entgegenhaltungen :

DE-A- 2 758 574

DE-A- 2 815 439

DE-B- 2 153 766

DE-B- 2 320 463

DE-C- 767 167

DE-C- 2 457 089

FR-A- 2 194 195

FR-A- 2 352 893

FR-A- 2 372 902

GB-A- 1 456 634

JP-A- 5 433 216

JP-A-54 033 216

US-A- 3 567 434

US-A- 3 865 644

US-E- 28 772

WERKSTOFFE UND KORROSION, Band 31,
(1980) WEINHEIM (DE) K. DETERT u.a.

"Kurzzeituntersuchungen zur Auswahl von
rostbeständigen Cr-Stählen mit verbessertem
Widerstand gegen Schwingungsrißkorro-
sion" Seiten 439-446

DERWENT JAPANESE PATENT REPORT,

Band 75, no. 9, 1. April 1975 LONDON (GB)

NIPPON YAKIN KOGYO CO. "Ferriteaustenite
stainless steel of good corrosion resistance
and age hardening ability"

Derwent Abstracts, DW7916

"Nichtrostende Stähle", 1977, Verlag Stahlei-
sen m.b.H., Düsseldorf

(56) Entgegenhaltungen :
H. Kohl, G. Rabensteiner, G. Hochörtler, Stainless Steels with High Strength and High Corrosion Resistance" in Conference Proceedings Alloys for the Eighties, Michigan, June 1980, Seiten 343-351
EPRI Workshop: Corrosion Fatigue of Steam Turbine Blades, Allianz Zentrum für Technik, Munich, Germany, June 21/22, 1979
Metal Progress, Febr. 1980, S. 38-44
Werbeprospekt "FERRALIUM alloy 255" (1979), Cabot Corporation, Kokomo, Ind., U.S.A.

(73) Patentinhaber : **BBC Brown Boveri AG**
Haselstrasse
CH-5401 Baden (CH)

(72) Erfinder : **Atrens, Andrejs, Dr.**
Unterriedenstrasse 35
CH-5412 Regensdorf (CH)

EP 0 060 577 B2

Beschreibung

Die Erfindung geht aus von der Verwendung eines Werkstoffs zur Herstellung einer Turbinenschaufel nach der Gattung des Anspruchs 1.

An Schaufelwerkstoffe für Dampfturbinen werden insbesondere im Bereich mittlerer und tieferer Temperaturen im Zuge langjähriger Betriebserfahrungen erhöhte Anforderungen gestellt. Sie sollen gleichzeitig eine hohe statische Festigkeit, d.h. eine hohe Streckgrenze, eine ausreichende Verformungsreserve, d.h. genügend hohe Kerbzähigkeit und eine hohe Widerstandsfähigkeit gegen Korrosionermüdung im betreffenden Temperaturbereich in möglicher aggressiver Atmosphäre aufweisen. Zum Teil werden ähnliche Anforderungen an Schaufelwerkstoffe von Turbokompressoren in Gasturbinenanlagen gestellt.

Es hat sich gezeigt, dass im Niederdruckteil von Dampfturbinen Schaufelschäden aufgetreten sind, welche einer ungenügenden Festigkeit gegen Korrosionermüdung zugeschrieben werden (H.J. Bohnstedt, P.-H. Effertz, P. Forchhammer und L. Hagn, Der Maschinenschaden, 51, 73, 1978; K. Yaeger, EPRI Journal, p. 44, April 1980). Die hier üblicherweise verwendeten ferritischen bzw. martensitischen legierten Stähle (13 % Cr oder 12 % Cr/1 % Mo) weisen wohl hohe statische Festigkeitswerte (Streckgrenze, 0,2 %-Grenze) auf, ihr Verhalten gegenüber dynamischer Beanspruchung bei gleichzeitiger Anwesenheit aggressiver Medien ist offensichtlich ungenügend. In allen Turbomaschinen, wo mit Wasserströpfchenbildung zufolge Kondensation und demzufolge mit einer Konzentration der in der Gasphase vorhandenen Verunreinigungen in der flüssigen Phase als Lösung gerechnet werden muss, stellt sich das Problem der Korrosionermüdung.

Man hat versucht, die Frage der Korrosionermüdung auf zwei Wegen zu lösen. Einerseits ist es möglich, die dynamische Beanspruchung (Schwingungen) der Schaufel durch entsprechende konstruktive Gestaltung herabzusetzen. Andererseits müssen an den Reinheitsgrad der gasförmigen Medien höhere Anforderungen gestellt werden, um diese von Schadstoffen möglichst frei zu halten. Derartige Massnahmen erwiesen sich indessen als sehr aufwendig und teuer und zeitigten oft nicht den erhofften Erfolg. Insbesondere vermag selbst eine noch so hoch getriebene Reinheit des Dampfes oder Gases eine lokale Anreicherung und somit Sättigung einer wässrigen Lösung nicht mit Sicherheit zu unterbinden. Es muss daher praktisch immer mit der Möglichkeit eines korrosiven Angriffs gerechnet werden.

Ein anderer Weg, die obengenannten Schwierigkeiten zu beseitigen, bietet sich von der materialtechnischen Seite an. Es wurde schon versucht, gute chemische Beständigkeit mit genügend hoher mechanischen Festigkeit zu kombinieren (K. Detert, W. Bertram und H. Buhl, Werkstoffe und Korrosion, 31, S. 439-446, 1980, insbesondere Tabelle 1 Werkstoff 8: XCrNiMoCu 255; GB-A-1 456 634). Bei diesen Werkstoffen handelt es sich grundsätzlich um ferritischaustentische Stähle. Das gesteckte Ziel, einen Werkstoff hoher statischer Festigkeit, hoher Zähigkeit und hoher Ermüdungsfestigkeit in korrosiver Umgebung empfehlen zu können, wurde indessen nicht erreicht.

In der JP-A-54033216 wird ein korrosionsbeständiger Zweiphasenstahl für Zentrifugalseparatoren und Ventilsitze beschrieben, der außer Cr, Ni, Mn und Mo noch N und gegebenenfalls noch ein oder mehrere Elemente ausgewählt aus Nb, Ta Ti, B, Zr, V, Cu, Co oder Al enthält. Die mechanischen Eigenschaften dieser Stähle (Streckgrenze weniger als 700 MPa; bezüglich der Korrosionermüdung, weil in der angegebenen Verwendung offenbar nicht kritisch, fehlt ein Hinweis) sind indessen für Turbinenschaufeln der Zukunft noch nicht genügend. Im EPRI Workshop (Allianz-Zentrum für Technik, München) wurde am 21./22. Juni 1979 ein Vortragszyklus "Corrosion fatigue of steam turbine blades" abgehalten, bei welcher Gelegenheit Werkstoffe vorgestellt wurden, die sich bezüglich ihres Korrosionsverhaltens und ihrer mechanischen Eigenschaften (inkl. Korrosionermüdung) gut für Turbinenschaufeln eignen sollen. Es handelt sich unter anderem um ferritischaustentische Stähle mit hohem Cr-Gehalt neben niedrigem Mn- und mäßigem Ni-Gehalt. Speziell erwähnt werden Legierungen mit den Handelsbezeichnungen "FA26", "Remanit" und "Ferralium". Ihre Streckgrenze bleibt mit 600 - 700 MPa indessen unter dem geforderten Mindestwert und auch ihre Korrosionermüdung von im besten Fall 245 ± 215 MPa bei 4·10⁷ Lastwechseln genügt nicht.

Die korrosionsbeständigen Stähle können grundsätzlich in 3 Gruppen eingeteilt werden: ferratisch, ferratisch-austentisch und austentisch. Die ersten beiden erreichen im allgemeinen eine Streckgrenze von höchstens 640 MPa, die letzteren eine solche von nur 400 MPa. Es besteht daher ein Bedürfnis nach Schaufelwerkstoffen, welche alle drei oben angegebenen Bedingungen erfüllen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Turbinenschaufelwerkstoff sowie ein entsprechendes Herstellungsverfahren anzugeben, die im Fertigerzeugnis bei möglichster Einfachheit und unter Vermeidung ausgefallener, teurer Ausgangsmaterialien bei guter Duktilität, hoher Streckgrenze und Kerbzähigkeit eine hohe Festigkeit gegen Korrosionermüdung gewährleisten.

Diese Aufgabe wird erfundungsgemäß durch die Ansprüche 1 und 4, gelöst.

Der Kern der Erfindung besteht darin, dass als Turbinenschaufelwerkstoff ein rostfreier Stahl mit ferratisch-austentischem Mischgefüge, welches an sich eine gute Festigkeit gegen Korrosionermüdung aufweist, ver-

wendet wird, wobei die sonst ungenügenden mechanischen Eigenschaften wie Streckgrenze und Kerbzähigkeit durch spezielle Wahl der Legierungszusammensetzung und durch Ausscheidungshärtung verbessert werden. Dies wird durch eine gezielte Wärmebehandlung erreicht.

Die Erfindung wird anhand der nachfolgenden Ausführungsbeispiele näher erläutert :

5

Ausführungsbeispiel I :

Ausgegangen wurde von einem rostfreien Stahl (Legierung I) der nachfolgenden Zusammensetzung :

C = 0,04 Gew.-%

10

Cr = 26 Gew.-%

Mn = 6 Gew.-%

Ni = 4 Gew.-%

Mo = 2,5 Gew.-%

Cu = 3 Gew.-%

15

N = 0,4 Gew.-%

Fe = Rest

Die Legierung wurde im Vakuumofen geschmolzen und zu einem Gussbarren vergossen. Der Barren wurde bei einer Temperatur von ca. 1 050 °C auf eine Dicke von 12 mm heruntergewalzt, wobei die Querschnittsabnahme mindestens 50 % betrug und dann von der gleichen Temperatur aus in Wasser abgeschreckt. Durch das Abschrecken des Werkstückes wird die ev. mögliche Bildung der spröden intermetallischen Eisen/Chrom-Verbindung, der sogenannten σ -Phase wirksam unterdrückt. Aus der betreffenden Platte wurden durch span-abhebende Bearbeitung Probestab-Rohlinge herausgearbeitet, deren Längsachsen parallel zur Walzrichtung verliefen. Die Rohlinge wurden durch eine 1 bis 4 h dauernde Wärmebehandlung im Temperaturbereich von 300 bis 650 °C ausscheidungsgehärtet. Insgesamt wurden je mehrere Probestäbe für Zugproben, Kerbschlagproben nach Charpy und Dauerwechselfestigkeit-Versuche bei axialer Belastung (Zug/Druck) mit und ohne Vorlast sowohl in Luft wie in einer belüfteten 4 N NaCl-Lösung mit pH = 5 bei 80 °C untersucht. Alle Dauerwechselfestigkeitsbestimmungen wurden unter Anwendung einer sinusförmigen axialen Belastung vorgenommen. Der für die praktische Bewertung im Betrieb vor allem massgebende Spannungszustand wurde durch zusätzliches Aufbringen einer positiven statischen Vorlast (Zug) verwirklicht, welche einer Spannung (Mittelwert der Beanspruchung) von 250 MPa entsprach.

Ausführungsbeispiel II :

Es wurde von einem rostfreien Stahl (Legierung II) der nachfolgenden Zusammensetzung ausgegangen :

35

C = 0,04 Gew.-%

Cr = 26 Gew.-%

Ni = 8 Gew.-%

Mo = 2 Gew.-%

Ti = 1 Gew.-%

40

Fe = Rest

Nach dem Erschmelzen unter Vakuum wurde die Legierung gegossen und der auf diese Weise hergestellte Gussbarren in zwei Stufen thermomechanisch weiterverarbeitet. In einem ersten Schritt der Warmverformung wurde eine Querschnittsverminderung von 75 % vorgenommen. Zu Beginn dieser Operation betrug die Werkstücktemperatur 1 250 °C, am Ende derselben noch 1 050 °C. Daraufhin erfolgte unmittelbar der zweite Verformungsschritt, welcher isotherm bei einer Temperatur von 1 050 °C durchgeführt wurde. Während dieses Schrittes wurde der Querschnitt des Werkstücks total um weitere 50 %, bezogen auf den Querschnitt nach der ersten Operation, reduziert. Nun wurde das auf diese Weise hergestellte Halbzeug von 1 050 °C in Wasser abgeschreckt. Die Herausarbeitung von Probestab-Rohlingen erfolgte derart, dass ihre Längsachsen parallel zur Hauptverformungsrichtung des Werkstücks lagen. Die Ausscheidungshärtung der Rohlinge erfolgte während 1 bis 4 h im Temperaturbereich von 300 bis 650 °C. Es wurden Stäbe für Zug-, Kerbschlag- und Dauerwechselfestigkeitsproben hergestellt, welche unter genau den gleichen Bedingungen wie unter Beispiel I angegeben, geprüft wurden.

Ausführungsbeispiel III :

55

Ausgegangen wurde von einem rostfreien Stahl (Legierung III) der nachfolgenden Zusammensetzung :

C = 0,04 Gew.-%

Cr = 25 Gew.-%

Ni = 8 Gew.-%
 Mo = 2,5 Gew.-%
 Ti = 0,5 Gew.-%
 Al = 0,5 Gew.-%
 5 Fe = Rest
 Die Herstellung, Weiterverformung, Wärmebehandlung und Prüfung dieses Turbinenschaufelwerkstoffes erfolgte genau gleich wie unter Beispiel II angegeben.

Ausführungsbeispiel IV :

10 Ausgegangen wurde von einem rostfreien Stahl (Legierung IV) der nachfolgenden Zusammensetzung :
 C = 0,04 Gew.-%
 Cr = 22 Gew.-%
 Ni = 10 Gew.-%
 15 Mo = 2,5 Gew.-%
 Ti = 0,7 Gew.-%
 Al = 0,5 Gew.-%
 Fe = Rest
 Die Herstellung, Behandlung und Prüfung dieses Materials wurde genau gemäss Ausführungsbeispiel II
 20 durchgeführt.

Prüfresultate :

Die Resultate der Prüfungen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt. Dabei entsprechen die
 25 Legierungen I bis IV denjenigen in den Ausführungsbeispielen. Vergleichsweise sind die Eigenschaften eines
 für Turbinenschaufeln häufig verwendeten härzbaren ferritischen Cr-Mo-Stahles der Norm X20 Cr Mo V 12 I
 folgender Zusammensetzung dargestellt :

C = 0,20 Gew.-%
 Cr = 12 Gew.-%
 30 Mo = 1,0 Gew.-%
 Ni = 0,7 Gew.-%
 V = 0,3 Gew.-%
 Fe = Rest

Ausserdem ist die bekannte Titanlegierung Ti 6 Al4V der nachfolgenden Zusammensetzung als Vergleich
 35 herangezogen :
 Al = 6 Gew.-%
 V = 4 Gew.-%
 Ti = Rest

Aus der Tabelle geht eindeutig hervor, dass die erfindungsgemässen Turbinenschaufelwerkstoffe unter
 40 korrosivem Medium den beiden Vergleichsmaterialien deutlich überlegen sind. Dies gilt vor allem gegenüber
 dem Cr-Mo-Stahl, der ausserdem eine ungenügende Zähigkeit aufweist. Die Titanlegierung kann sich lediglich
 über eine höhere statische Festigkeit (Streckgrenze) ausweisen, fällt jedoch gegenüber den vorgeschlagenen
 Legierungen I bis IV bezüglich dynamischer Werte beträchtlich ab. In Anbetracht der Kostspieligkeit und
 schwierigen Verarbeitbarkeit der Titanlegierung fällt dies umso mehr ins Gewicht.

45 Es soll noch nachgetragen werden, dass die Bruchdehnung der Legierungen I bis IV bezogen auf einen
 Probestab mit einem Längen : Durchmesserverhältnis von 4,4 durchweg über 15 % betrug, was für die her-
 vorragende Duktilität dieses Materials spricht. Die Werte der Dauefestigkeit unter 4N NaCl-Lösung bei $p_H = 5$
 und 80 °C ohne statische Vorlast lagen in allen Fällen über 350 MPa.

Bevorzugt sind die nachfolgenden Mn-freien Legierungen :
 50 1)

	C	=	0,005	bis	0,06	Gew.-%
	Cr	=	18	bis	30	Gew.-%
	Mo	=	1	bis	6	Gew.-%
	Ni	=	4	bis	11	Gew.-%
55	$\Sigma (Ti, Al)$	=	0,5	bis	4	Gew.-%

wobei Ti, Al einzeln je $\geq 0,2$ Gew.-%.

Fe = Rest

2)

5

	C	=	0,005	bis	0,06	Gew.-%
	Cr	=	18	bis	30	Gew.-%
	Mo	=	1	bis	4	Gew.-%
	Ni	=	4	bis	11	Gew.-%
plus a)	Ti	=	0,5	bis	3	Gew.-%
oder plus b)	Al	=	0,5	bis	3	Gew.-%
oder plus c)	Ti	=	0,25	bis	2	Gew.-%
	Al	=	0,25	bis	2	Gew.-%
	Fe	=	Rest			

10

15 3)

20

	C	=	0,01	bis	0,06	Gew.-%
	Cr	=	22	bis	29	Gew.-%
	Mo	=	2	bis	3	Gew.-%
	Ni	=	4	bis	11	Gew.-%
	Ti	=	0,5	bis	2,5	Gew.-%
	Al	=	0,5	bis	1,5	Gew.-%
	Fe	=	Rest			

25

Eine weitere Auswahl bevorzugter Legierungen, welche sowohl Ni wie Mn enthalten, ist nachfolgend aufgeführt :

4)

30

	C	=	0,005	bis	0,06	Gew.-%
	Cr	=	18	bis	30	Gew.-%
	Mo	=	1	bis	6	Gew.-%
	Ni	=	2	bis	6	Gew.-%
	Mn	=	4	bis	8	Gew.-%
	Σ (Cu, Ti, Al)	=	0,5	bis	4	Gew.-%

35

wobei Cu, Ti, Al einzeln je $\geq 0,2$ Gew.-%

Fe = Rest

5) Zusammensetzung wie 4), jedoch zusätzlich

40

6)

50

7)

55

	C	=	0,01	bis	0,06	Gew.-%
	Cr	=	24	bis	28	Gew.-%
	Mo	=	1,5	bis	3	Gew.-%
	Ni	=	3	bis	5	Gew.-%
5	Mn	=	4	bis	8	Gew.-%
	Cu	=	1,5	bis	3,5	Gew.-%
	N	=	0,2	bis	0,6	Gew.-%
	Fe	=	Rest			

10

Tabelle

15

20

25

30

Legie- rung	$\sigma_{0,2}$ MPa	Kerbzähig- keit J/cm^2	Dauerwechselfestigkeit (Zug/ Druck), 10^8 Lastwechsel Vorlast \pm Wechsellastr MPa	
			Luft	Luft/4N NaCl 80°C, pH=5
I	800	50	250 \pm 340	250 \pm 270
II	800	50	250 \pm 340	250 \pm 260
III	800	50	250 \pm 340	250 \pm 260
IV	800	50	250 \pm 340	250 \pm 260
Cr-Mo-St	800	20	250 \pm 340	250 \pm 40
Ti6Al4V	930	30	250 \pm 210	250 \pm 180

Nach dem erfindungsgemässen Verfahren wird die Warmverformung nach dem Giessen im Temperaturbereich zwischen 1 000 °C und 1250 °C durchgeführt, wobei die Querschnittsabnahme mindestens 50 % betragen soll. Die Ausscheidungshärtung kann je nach Legierung und Werkstückgrösse im Temperaturbereich zwischen 300 °C und 650 °C während 1 bis 8 h durchgeführt werden.

Der Turbinenschaufelwerkstoff kann vorzugsweise als Dampfturbinenschaufel im Niederdruckteil oder als Turbokompressorschafel bis zu Temperaturen von 350 °C dauernd eingesetzt werden.

Die erfindungsgemäss hergestellten und vorgeschlagenen Turbinenwerkstoffe verbinden hohe Duktilität und Kerbzähigkeit mit hoher statischer Festigkeit und grossem Widerstand gegen Korrosionsermüdung und gewährleisten somit eine lange Lebensdauer des Bauteils.

Patentansprüche

45

1. Verwendung eines Werkstoffs mit zweiphasigem Mischgefüge aus Austenit und Ferrit oder aus Austenit und Martensit bestehend aus

50

55

Kohlenstoff	=	0,005	bis	0,06	Gew.-%,
Chrom	=	18	bis	30	Gew.-%,
Molybdän	=	1	bis	6	Gew.-%,
Nickel	=	2	bis	6	Gew.-%,
Mangan	=	4	bis	8	Gew.-%,

mindestens einem der Elemente Kupfer, Titan, Aluminium, wobei der Gehalt jedes einzelnen dieser Ele-

mente mindestens 0,2 Gew.-% und der Gesamtgehalt an Kupfer, Titan, Aluminium 0,5 bis 4 Gew.-% beträgt,

wahlweise zusätzlich 0,2 bis 1,5 Gew.-% Stickstoff, Rest Eisen und unvermeidliche Verunreinigungen, welcher Werkstoff bei seiner Herstellung folgende Verfahrensschritte durchlaufen hat:

- 5 Schmelzen und Giessen seiner Komponenten zu einem Gussbarren,
- Warmverformen des Gussbarrens in einem Temperaturbereich zwischen 1000°C und 1250°C mit einer Querschnittsabnahme von mindestens 50% zu einem Werkstück,
- Abschrecken des auf diese Weise erzeugten Werkstückes von besagter Temperatur direkt in Wasser, spanabhebendes Bearbeiten des abgeschreckten Werkstückes bis zur endgültigen Form, und
- 10 Wärmebehandeln des spanabhebend bearbeiteten Werkstückes in einem Temperaturbereich zwischen 300°C und 650°C während 1 bis 8 Stunden zwecks Ausscheidungshärtung,
- und welcher Werkstoff nach dem Durchlaufen der Verfahrensschritte eine Streckgrenze von mindestens 800 MPa,
- eine Bruchdehnung von mindestens 15% für ein Verhältnis Probenlänge zu Probendurchmesser = 4,4
- 15 und
- eine Dauerwechselfestigkeit bezogen auf Zug/Druck unter einer belüfteten 4 N NaCl-Lösung mit pH = 5 bei 80°C, von mindestens 350 MPa ohne statische Vorlast und von mindestens ± 250 MPa unter einer statischen Vorlast von +250 MPa bezogen auf 10⁸ Lastwechsel sowie
- eine Kerbschlagzähigkeit von mindestens 50 J pro cm² aufweist
- 20 zur Herstellung einer Turbinenschaufel hoher Festigkeit gegen Korrosionsermüdung.

2. Verwendung des Werkstoffs nach Anspruch 1 bestehend aus

25	Kohlenstoff	=	0,005	bis	0,06	Gew.-%,
	Chrom	=	18	bis	30	Gew.-%,
	Molybdän	=	1	bis	6	Gew.-%,
	Nickel	=	2	bis	6	Gew.-%,
30	Mangan	=	4	bis	8	Gew.-%,
	Kupfer	=	0,5	bis	3	Gew.-%,
	Stickstoff	=	0,2	bis	1,5	Gew.-%,

35 Rest Eisen sowie Verunreinigungen.

3. Verwendung des Werkstoffes nach Anspruch 1 bestehend aus

40	Kohlenstoff	=	0,01	bis	0,06	Gew.-%,
	Chrom	=	24	bis	28	Gew.-%,
	Molybdän	=	1,5	bis	3	Gew.-%,
45	Nickel	=	3	bis	5	Gew.-%,
	Mangan	=	4	bis	8	Gew.-%,
	Kupfer	=	1,5	bis	3,5	Gew.-%,
50	Stickstoff	=	0,2	bis	0,6	Gew.-%,

Rest Eisen sowie Verunreinigungen.

4. Verwendung eines Werkstoffs mit zweiphasigem Mischgefüge aus Austenit und Ferrit oder aus Austenit und Martensit bestehend aus

55

Kohlenstoff	=	0,005	bis	0,06	Gew.-%,
Chrom	=	18	bis	30	Gew.-%,
Molybdän	=	1	bis	4	Gew.-%,
Nickel	=	4	bis	11	Gew.-%,
Titan und/oder					
Aluminium	=	0,5	bis	4	Gew.-%,

10

wobei der Gehalt jedes einzelnen dieser Elemente mindestens 0,2 Gew.-% beträgt,
 Rest Eisen und unvermeidliche Verunreinigungen,
 welcher Werkstoff bei seiner Herstellung folgende Verfahrensschritte durchlaufen hat:
 Schmelzen und Giessen seiner Komponenten zu einem Gussbarren,
 Warmverformen des Gussbarrens in einem Temperaturbereich zwischen 1000°C und 1250°C mit einer
 Querschnittsabnahme von mindestens 50% zu einem Werkstück,
 Abschrecken des auf diese Weise erzeugten Werkstückes von besagter Temperatur direkt in Wasser,
 spanabhebendes Bearbeiten des abgeschreckten Werkstückes bis zur endgültigen Form, und
 Wärmebehandeln des spanabhebend bearbeiteten Werkstückes in einem Temperaturbereich zwischen
 300°C und 650°C während 1 bis 8 Stunden zwecks Ausscheidungshärtung,
 und welcher Werkstoff nach dem Durchlaufen der Verfahrensschritte
 eine Streckgrenze von mindestens 800 MPa,
 eine Bruchdehnung von mindestens 15% für ein Verhältnis Probenlänge zu Probendurchmesser = 4,4
 und
 eine Dauerwechselfestigkeit bezogen auf Zug/Druck unter einer belüfteten 4 N NaCl-Lösung mit pH = 5
 bei 80°C, von mindestens 350 MPa ohne statische Vorlast und von mindestens ± 250 MPa unter einer
 statischen Vorlast von +250 MPa bezogen auf 10⁸ Lastwechsel sowie
 eine Kerbschlagzähigkeit von mindestens 50 J pro cm² aufweist
 zur Herstellung einer Turbinenschaufel hoher Festigkeit gegen Korrosionsermüdung.

30

5. Verwendung des Werkstoffs nach Anspruch 4 bestehend aus

Kohlenstoff	=	0,005	bis	0,06	Gew.-%,
Chrom	=	18	bis	30	Gew.-%,
Molybdän	=	1	bis	4	Gew.-%,
Nickel	=	4	bis	11	Gew.-%,
Titan	=	0,25	bis	2	Gew.-%
Aluminium	=	0,25	bis	2	Gew.-%,

Rest Eisen sowie unvermeidliche Verunreinigungen.

45

6. Verwendung des Werkstoffs nach Anspruch 4 bestehend aus

Kohlenstoff	=	0,01	bis	0,06	Gew.-%,
Chrom	=	22	bis	29	Gew.-%,
Molybdän	=	2	bis	3	Gew.-%,
Nickel	=	4	bis	11	Gew.-%,
Titan	=	0,5	bis	2,5	Gew.-%
Aluminium	=	0,5	bis	1,5	Gew.-%,

55

Rest Eisen sowie unvermeidliche Verunreinigungen.

Claims

1. Use of a material with a two-phase mixed structure of austenite and ferrite or of austenite and martensite, consisting of

5

carbon	=	0.005 to 0.06	% by weight,
chromium	=	18 to 30	% by weight,
10 molybdenum	=	1 to 6	% by weight,
nickel	=	2 to 6	% by weight,
manganese	=	4 to 8	% by weight,

15 at least one of the elements copper, titanium and aluminium, the content of each one of these elements being at least 0.2 % by weight and the total content of copper, titanium and aluminium being 0.5 to 4 % by weight, and, if desired, additionally 0.2 to 1.5 % by weight of nitrogen, the remainder being iron and unavoidable impurities,

which material has passed through the following process steps during its manufacture:

20 melting and casting of its components to give a cast billet,

hot-forming of the cast billet in a temperature range between 1000°C and 1250°C with a decrease in cross-section of at least 50% to give a workpiece,

direct quenching of the workpiece produced in this way from said temperature in water,

machining of the quenched workpiece to give it its final form and

25 heat treatment of the machined workpiece in a temperature range between 300°C and 650°C for 1 to 8 hours for precipitation hardening,

and which material has, after passing through the process steps,

a yield point of at least 800 MPa,

an elongation at break of at least 15% for a specimen length/specimen diameter ratio = 4.4 and

30 a fatigue strength relative to tension/compression under an aerated 4 N NaCl solution of pH = 5 at 80°C of at least 350 MPa without a static preload and of at least \pm 250 MPa under a static preload of +250 MPa relative to 10^8 load changes, and

a notched impact strength of at least 50 J per cm²,

for the manufacture of a turbine blade of high resistance to corrosion fatigue.

35

2. Use of the material according to Claim 1, consisting of

carbon	=	0.005 to 0.06	% by weight,
chromium	=	18 to 30	% by weight,
40 molybdenum	=	1 to 6	% by weight,
nickel	=	2 to 6	% by weight,
45 manganese	=	4 to 8	% by weight,
copper	=	0.5 to 3	% by weight,
nitrogen	=	0.2 to 1.5	% by weight,

50 the remainder being iron and impurities.

3. Use of the material according to Claim 1, consisting of

55

5

carbon	=	0.01	to	0.06	% by weight,
chromium	=	24	to	28	% by weight,
molybdenum	=	1.5	to	3	% by weight,
nickel	=	3	to	5	% by weight,
manganese	=	4	to	8	% by weight,
copper	=	1.5	to	3.5	% by weight,
nitrogen	=	0.2	to	0.6	% by weight,

10

the remainder being iron and impurities.

- 15 4. Use of a material with a two-phase mixed structure of austenite and ferrite or of austenite and martensite, consisting of

carbon	=	0.005	to	0.06	% by weight,
chromium	=	18	to	30	% by weight,
molybdenum	=	1	to	4	% by weight,
nickel	=	4	to	11	% by weight,
titanium and/or					
aluminium	=	0.5	to	4	% by weight,

20 the content of each one of these elements being at least 0.2 % by weight,
 30 the remainder being iron and unavoidable impurities,
 which material has passed through the following process steps during its manufacture:
 melting and casting of its components to give a cast billet,
 hot-forming of the cast billet in a temperature range between 1000°C and 1250°C with a decrease in cross-section of at least 50% to give a workpiece,
 35 direct quenching of the workpiece produced in this way from said temperature in water,
 machining of the quenched workpiece to give it its final form and
 heat treatment of the machined workpiece in a temperature range between 300°C and 650°C for 1 to 8 hours for precipitation hardening,
 and which material has, after passing through the process steps,
 40 a yield point of at least 800 MPa,
 an elongation at break of at least 15% for a specimen length/specimen diameter ratio = 4.4 and
 a fatigue strength relative to tension/compression under an aerated 4 N NaCl solution of pH = 5 at 80°C of at least 350 MPa without a static preload and of at least \pm 250 MPa under a static preload of +250 MPa relative to 10^8 load changes, and
 45 a notched impact strength of at least 50 J per cm², for the manufacture of a turbine blade of high resistance to corrosion fatigue.

5. Use of the material according to Claim 4, consisting of

carbon	=	0.005	to	0.06	% by weight,
--------	---	-------	----	------	--------------

50

	chromium	=	18	to	30	% by weight,
5	molybdenum	=	1	to	4	% by weight,
	nickel	=	4	to	11	% by weight,
	titanium	=	0.25	to	2	% by weight,
	aluminium	=	0.25	to	2	% by weight,

10 the remainder being iron and unavoidable impurities.

6. Use of the material according to Claim 4, consisting of

15	carbon	=	0.01	to	0.06	% by weight,
	chromium	=	22	to	29	% by weight,
	molybdenum	=	2	to	3	% by weight,
20	nickel	=	4	to	11	% by weight,
	titanium	=	0.5	to	2.5	% by weight,
	aluminium	=	0.5	to	1.5	% by weight,

the remainder being iron and unavoidable impurities.

25

Revendications

1. Utilisation d'un matériau avec une structure mixte à deux phases constitué d'austénite et de ferrite ou d'austénite et de martensite, composé de

35	carbone	=	0,005	à	0,05	% en poids
	chrome	=	18	à	30	% en poids
	molybdène	=	1	à	6	% en poids
	nickel	=	2	à	6	% en poids
	manganèse	=	4	à	8	% en poids

40

d'au moins un des éléments cuivre, titane, aluminium, la teneur de chacun de ces éléments étant d'au moins 0,2 % en poids et la teneur totale en cuivre, titane et aluminium s'élevant à 0,5 à 4 % en poids, éventuellement 0,2 à 1,5 % en poids supplémentaire d'azote, le reste étant du fer et des impuretés inévitables, ce matériau ayant subi, lors de sa fabrication, les étapes de traitement suivantes:

45

fonte et coulée de ses composants en forme de barreau, déformation à chaud du barreau à une température comprise entre 1000°C et 1250°C avec une réduction de section d'au moins 50 % pour former une pièce, trempe de la pièce obtenue de cette manière, directement dans l'eau à la température précitée, usinage avec enlèvement de copeaux de la pièce trempée jusqu'à obtention de sa forme finale, et traitement thermique de la pièce usinée par enlèvement de copeaux à une température comprise entre 300°C et 650°C pendant 1 à 8 heures par durcissement par précipitation, et ce matériau, après avoir subi ces étapes de traitement, présentant une limite d'élasticité d'au moins 800 MPa, un allongement à la rupture d'au moins 15 % pour un rapport longueur/diamètre de l'éprouvette de 4,4 et une endurance aux sollicitations alternées, rapportée à une traction/compression en présence d'une solution aérée de NaCl 4N avec un pH = 5 à 80°C, d'au moins 350 MPa sans précontrainte statique et d'au moins ± 250 MPa sous une précontrainte statique de + 250 MPa rapportée à 10⁸ cycles de charge, ainsi qu'une résilience d'au moins 50 J/cm² pour la fabrication d'une aube de turbine de résistance élevée à la fatigue sous corrosion.

50

2. Utilisation du matériau suivant la revendication 1, composé de

	carbone	= 0,005	à 0,06 % en poids
	chrome	= 18	à 30 % en poids
5	molybdène	= 1	à 6 % en poids
	nickel	= 2	à 6 % en poids
	manganèse	= 4	à 8 % en poids
10	cuivre	= 0,5	à 3 % en poids
	azote	= 0,2	à 1,5 % en poids

le reste étant du fer et des impuretés.

15 3. Utilisation du matériau suivant la revendication 1, composé de

	carbone	= 0,01	à 0,06 % en poids
	chrome	= 24	à 28 % en poids
20	molybdène	= 1,5	à 3 % en poids
	nickel	= 3	à 5 % en poids
	manganèse	= 4	à 8 % en poids
25	cuivre	= 1,5	à 3,5 % en poids
	azote	= 0,2	à 0,6 % en poids

le reste étant du fer et des impuretés.

30 4. Utilisation d'un matériau avec une structure mixte à deux phases constitué d'austénite de ferrite ou d'austénite et de martensite, composé de

	carbone	= 0,005	à 0,06 % en poids
35	chrome	= 18	à 30 % en poids
	molybdène	= 1	à 4 % en poids
	nickel	= 4	à 11 % en poids
40	titane (
	et/ou (= 0,5	à 4 % en poids
	aluminium (

45 la teneur de chacun de ces éléments étant d'au moins 0,2 % en poids, le reste étant du fer et des impuretés inévitables, ce matériau ayant subi, lors de sa fabrication, les étapes de traitement suivantes: fonte et coulée de ses composants en forme de barreau, déformation à chaud du barreau à une température comprise entre 1000°C et 1250°C avec une réduction de section d'au moins 50 % pour former une pièce, trempe de la pièce obtenue de cette manière, directement dans l'eau à la température précitée, usinage avec enlèvement de copeaux de la pièce trempée jusqu'à obtention de sa forme finale, et traitement thermique de la pièce usinée par enlèvement de copeaux à une température comprise entre 300°C et 650°C pendant 1 à 8 heures par durcissement par précipitation, et ce matériau, après avoir subi ces étapes de traitement, présentant une limite d'élasticité d'au moins 800 MPa, un allongement à la rupture d'au moins 15 % pour un rapport longueur/diamètre de l'éprouvette de 4,4 et une endurance aux sollicitations alternées, rapportée à une traction/compression en présence d'une solution aérée de NaCl 4N avec un pH = 5 à 80°C, d'au moins 350 MPa sans précontrainte statique et d'au moins ± 250 MPa sous une précontrainte statique de + 250 MPa rapportée à 10⁸ cycles de charge, ainsi qu'une résilience d'au moins 50 J/cm² pour la fabrication d'une aube de turbine de résistance élevée à la fatigue sous corrosion.

5. Utilisation du matériau suivant la revendication 4, composé de

	carbone	= 0,005	à 0,06 % en poids
5	chrome	= 18	à 30 % en poids
	molybdène	= 1	à 4 % en poids
	nickel	= 4	à 11 % en poids
10	titane	= 0,25	à 2 % en poids
	aluminium	= 0,25	à 2 % en poids

le reste étant du fer et des impuretés inévitables.

15 6. Utilisation du matériau suivant la revendication 4, composé de

	carbone	= 0,01	à 0,06 % en poids
20	chrome	= 22	à 29 % en poids
	molybdène	= 2	à 3 % en poids
	nickel	= 4	à 11 % en poids
	titane	= 0,5	à 2,5 % en poids
25	aluminium	= 0,5	à 1,5 % en poids

le reste étant du fer et des impuretés inévitables.

30

35

40

45

50

55