

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 826 787 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

04.03.1998 Patentblatt 1998/10

(51) Int. Cl.⁶: **C22C 38/06**

(21) Anmeldenummer: **97114438.1**

(22) Anmeldetag: **21.08.1997**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC
NL PT SE**

Benannte Erstreckungsstaaten:

AL LT LV RO SI

(30) Priorität: **27.08.1996 DE 19634524**

(71) Anmelder:

- **Fried. Krupp AG Hoesch-Krupp**
45143 Essen (DE)
- **Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-**
Nürnberg
91054 Erlangen (DE)
- **Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH**
D-40237 Düsseldorf (DE)
- **Thyssen Stahl Aktiengesellschaft**
47166 Duisburg (DE)

(72) Erfinder:

- **Engl, Bernhard, Dr.**
44267 Dortmund (DE)
- **Kruse, Jochen, Dr.**
44139 Dortmund (DE)
- **Frommeyer, Georg, Prof. Dr.**
40699 Erkrath (DE)
- **Müschenborn, Wolfgang, Dr.**
46537 Dinslaken (DE)
- **Reip, Carl-Peter, Dr.**
40239 Düsseldorf (DE)
- **Stratmann, Martin, Prof. Dr.**
91077 Neuenkirchen am Brand (DE)
- **Dannenfeldt, Margrit**
90478 Nürnberg (DE)

(74) Vertreter: **Cohausz & Florack**
Patentanwälte
Kanzlerstrasse 8a
40472 Düsseldorf (DE)

(54) **Leichtbaustahl und seine Verwendung für Fahrzeugteile und Fassadenverkleidungen**

(57) Die Erfindung betrifft einen höherfesten Leichtbaustahl und seine Verwendung für Fahrzeugteile und Fassadenverkleidungen. Kennzeichen der Erfindung ist ein rein ferritischer Stahl mit > 5 bis 9 % Al, < 0,2 % Si und 0,03 bis 0,2 % Mn.

EP 0 826 787 A2

Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen höherfesten Leichtbaustahl und seine Verwendung für Fahrzeugteile und Fassadenverkleidungen.

5 Alle nachfolgenden Gehaltsangaben sind Masse-%.

Höherfeste Stähle wurden für die Fahrzeugindustrie mit unterschiedlichen Eigenschaften entwickelt und werden bereits in nennenswertem Maße in der Produktion eingesetzt. Über eine Verminderung der Blechdicke infolge höherer Festigkeiten lassen sich im Vergleich zu herkömmlichem weichen Stahl Gewichtsreduzierungen erzielen. Zur Gewährleistung ausreichender Korrosionsbeständigkeit wurden verschiedene Oberflächenbeschichtungsverfahren entwickelt
10 (Stahl-Eisen-Werkstoffblatt SEW 094 und SEW 093; Stahl und Eisen 106 (1986), Nr. 12, S. 21-38 und 114 (1994), Nr. 7, S. 47-53).

Stähle mit höheren Aluminiumgehalten sind bekannt. So offenbart die EP-A-0 495 121 Stähle mit bis zu 7 % Al, mehr als 0,5 % Si, 0,1 bis 8 % Mn, und weniger als 0,01 % C, N, O, P zur Schwingungs- und Geräuschkämpfung in Maschinen.

15 EP-A-0 401 098 berücksichtigt Stähle mit weniger als 3,3 % Si und 1,5 und 8 % Al für weichmagnetische Bleche, die eine scharfe (100)(001) Textur (Würfellage) besitzen. Interstitielle Verunreinigungen müssen unter 50 ppm liegen, C unter 30 ppm. Die eingestellte Textur ist für Umformverfahren, wie das Tief- bzw. Streckziehen ungeeignet.

DE 43 03 316 A beschreibt Stähle mit 13 bis 16 % Al und z.T. höheren Gehalten weiterer Legierungselemente (Cr, Nb, Ta, W, Si, B, Ti) für oxidations- und korrosionsbeständige Teile.

20 DE 32 01 816 A gibt Legierungen mit 1 bis 10 % Al bekannt für Teile, die bei hohen Temperaturen (im Bereich von 750 bis 900 °C in Kontakt mit Flüssigkeiten kommen, die Kohlenwasserstoffe enthalten, so daß es zu keiner Kohlenstoffablagerung kommt. Die Oberfläche der Teile kann voroxidiert werden.

Der geschilderte Stand der Technik ist mit folgenden Nachteilen behaftet:

- 25 - Gewichtseinsparungen lassen sich nur über eine Reduzierung der Blechdicke erreichen oder durch zusätzliche Maßnahmen konstruktiver und/oder fägetechnischer Art;
- der erforderliche Korrosionsschutz kann allein durch die Zusatzmaßnahme von Oberflächenbeschichtungen erbracht werden.

30 Gut umformbare oder tief- und streckziehfähige, kaltwalzbare und rekristallisierend geglühte höheraluminiumhaltige Tiefziehstähle, wie sie für die Anwendung in der Verkehrstechnik oder als Fassadenverkleidungen gebraucht werden, gehören nicht zum Stand der Technik.

Aufgabe der Erfindung ist daher die Schaffung eines Stahls mit einer Dichte deutlich unter 7,6 g/cm³, hoher Festigkeit bei guter Kaltumformbarkeit und gleichzeitig verbessertem Widerstand gegen atmosphärische Korrosion, als es konventionelle Tiefziehstähle besitzen.

Der erfindungsgemäße rein ferritische Stahl ist gekennzeichnet durch mehr als 5 bis 9 % Al, < 0,2 % Si, 0,03 bis 0,2 % Mn, Rest Eisen und erschmelzungsbedingte Verunreinigungen, einschließlich bis höchstens 1 % in Summe Cu + Mo + W + Co + Cr + Ni und max. 0,1 % in Summe Sc + Y + Seltene Erden. Er kann zusätzlich

- 40 bis 0,1 % C
- bis 0,5 % in Summe Ti + Zr + Hf + V + Nb + Ta
- bis 0,01 % B
- bis 0,1 % P

45 enthalten.

Bevorzugt liegt der Aluminiumgehalt im Bereich von 7 bis 9 %. Weiterhin kann der Stahl mit Titan und/oder Niob von mindestens 0,03 % legiert sein.

Besondere Kennzeichen der Stahlzusammensetzung sind:

- 50 - der erfindungsgemäße Stahl ist rein ferritisch;
- er ist im Si-Gehalt auf max. 0,2 % begrenzt und
- 55 - weist einen geringen Kohlenstoffgehalt unter 0,1 % und keine legierungsrelevanten Gehalte an Cu, Mo, W, Co, Cr, Ni, Se, Y und Seltenen Erdmetallen auf.

Der erfindungsgemäße Stahl hat eine unerwartet gute Kombination bisher nicht bekannter vorteilhafter Eigen-

schaften, die sich wie folgt beschreiben lassen:

- Festigkeitskennwerte sind gegenüber herkömmlichem weichen Tiefziehstahl deutlich erhöht;
- 5 - Verformbarkeit ist, gemessen an der Festigkeit, vergleichsweise gut;
- Dichte ist gegenüber herkömmlichen Tiefziehstählen deutlich verringert;
- Korrosionsbeständigkeit ist erheblich verbessert.

10 Der tief- und streckziehfähige höheraluminiumhaltige Stahl wird erschmolzen, im Strang vergossen, abgewalzt im Temperaturbereich oberhalb der Rekristallisierungstemperatur oder als Band abgegossen. Der Stahl wird entweder als Warmband direkt verarbeitet oder nach dem Warmwalzen kaltgewalzt mit einem Umformgrad von größer 20 %. Das Kaltband wird anschließend rekristallisierend gegläht.

15 Aufgrund seiner guten Kaltumformbarkeit und geringen Dichte deutlich unter $7,6 \text{ g/cm}^3$ eignet sich der Stahl in Form von Blechen besonders für die Anwendung in der Verkehrstechnik und als Fassadenverkleidung.

Beispiele

20 Das Ausgangsmaterial wurde in einem Vakuuminduktionsofen erschmolzen und in Kokillen vergossen. Das Warmwalzen erfolgt im Temperaturbereich zwischen 800°C und 1100°C auf Dicken von 4 mm. Nach dem Beizen wurden Tafeln zwischen 5 und 92 % kaltgewalzt und im Anschluß daran zwischen 700°C und 900°C rekristallisierend gegläht.

Tabelle 1 gibt die chemische Zusammensetzung einiger untersuchter Stähle wieder.

25 Tabelle 2 zeigt die Festigkeits- und Umformkennwerte einiger untersuchter Stähle nach 70 %iger Umformung im rekristallisierend geglähten Zustand. Darin bedeuten:

30 R_p - Streckgrenze
 R_m - Zugfestigkeit
 A_{80} - Dehnung, Stablänge $l = 80 \text{ mm}$
 E - Elastizitätsmodul
 r_L - r-Wert (Anisotropiewert) in Längsrichtung
 n - n-Wert (Verfestigungsexponent)

35 Tabelle 3 weist für Proben im kaltgewalzten und geglähten Zustand sowie die warmgewalzten Proben gute Festigkeits- und Umformkennwerte aus, darunter A_5 - Bruchdehnung bei $l = 5 \text{ d}$.

40 Tabelle 4 zeigt den Einfluß des Kaltwalzgrades KVG in % auf die Umformkennwerte. Es ist ersichtlich, daß mit bis zu 70 % steigendem Kaltwalzgrad die r- und n-Werte deutlich zunehmen.

Tabelle 5 enthält die Ergebnisse von Erichsen-Tiefungen nach DIN 50101, die als praxisrelevante Umformeigenschaftsermittlung durchgeführt wurden.

45 Fig. 1 zeigt zyklische Stromdichte-Potentialkurven von Eisen-Aluminium-Legierungen im Vergleich zu Rein-Eisen. Eine Eisen-Aluminium-Legierung mit polierter Oberfläche, d.h. ohne schützende Oxidschicht, besitzt bereits eine bessere Korrosionseigenschaft als Reineisen. Durch eine elektrolytische Anreicherung der Oberfläche mit Aluminium läßt sich die gute Korrosionseigenschaft von Eisen-Aluminium-Legierungen noch weiter steigern.

50 Fig. 2 zeigt, daß durch eine elektrolytische Anreicherung mit anschließender thermischer Nachbehandlung im Vergleich zu einer Legierung mit polierter Oberfläche, d.h. ohne schützende Oxidschicht, in sehr kurzen Zeiten dichte und korrosionsbeständige Oberflächenschichten herstellen lassen.

In Fig. 3 ist die Gewichtsreduktion von Eisen-Aluminium - Legierungen als Funktion des Aluminiumgehaltes aufgetragen. Es wird ersichtlich, daß sich mit dem erfindungsgemäßen Stahl bei einem Aluminiumgehalt im beanspruchten Bereich von 3 bis 9 % eine Gewichtsersparnis von 4,5 bis 12 % erreichen läßt.

Infolge der stark mischkristallverfestigenden Wirkung des Aluminiums in Fe-Al-Legierungen und des Vorhandenseins von Stahlbegleitelementen und Mikrolegierungselementen tritt eine beachtliche Zunahme der Festigkeit

im Vergleich zu mikrolegierten Feinblechstählen auf. Außer den guten Festigkeits- und Umformeigenschaften bei einer deutlichen Gewichtseinsparung zeichnet sich der erfindungsgemäße Stahl durch eine höhere Korrosionsresistenz aus. Dieses kann durch eine chemische, elektrochemische oder thermische Behandlung noch weiter verbessert werden, wenn die Bildung einer aluminiumreichen Oberflächenschicht zur Entstehung einer schützenden Al_2O_3 - Deckschicht führt.

Tabelle 6 zeigt die Zunahme des Aluminiumgehalts an der Oberfläche einer durch elektrolytische Nachbehandlung bei 20 und 60 °C im aktiven (- 0,17 V gegen NHE), passiven (1,1 V gegen NHE) und transpassiven (10,65 V gegen NHE) Bereich oberflächlich mit Al angereicherten Eisenlegierung mit 8,5 % Al. Es ergab sich im Vergleich zu der unbehandelten Legierung eine Steigerung der Aluminiumkonzentration an der Oberfläche um fast 100 %. Gleiche Ergebnisse können auch durch elektrochemische Nachbehandlung mit Al erreicht werden.

Durch eine geeignete thermische Nachbehandlung bei erhöhter Temperatur (600 bis 1200 °C) können dichte Al_2O_3 -Schichten gebildet werden.

Tabelle 1

Chemische Zusammensetzung in Gew.-%, C, N, O in ppm									
Stahl	C	Si	Mn	P	S	Al	N	O	Nb
1	220	0,024	0,031	0,006	0,002	5,1	10	n.b.	---
2	130	0,024	0,034	0,006	0,002	7,0	15	n.b.	---
3	60	0,029	0,032	0,007	0,002	8,8	14	n.b.	---
4	39	0,01	0,10	0,008	n.b.	5,4	10	n.b.	---
5	39	0,01	0,12	n.b.	n.b.	7,9	8	34	---
6	36	0,01	0,14	n.b.	n.b.	9,0	5	n.b.	---
7	260	0,04	0,19	0,008	0,003	5,1	25	n.b.	---
8	270	0,08	0,19	0,012	0,003	7,8	24	n.b.	---
9	100	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,4	16	20	0,05
10	100	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,4	16	19	0,1
11	100	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,4	16	19	0,2
12	100	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,4	16	18	0,4

Tabelle 2

Festigkeits- und Umformkennwerte in Längsrichtung						
Stahl	Rp (MPa)	Rm (MPa)	A80 (%)	E (GPa)	rL-Wert	n-Wert
1	340	440	28	190	0,79	0,195
2	390	490	28	180	0,73	0,175
3	440	540	n.b.	170	0,58	0,130
4	330	470	29	180	0,83	0,205
5	420	550	27	180	0,88	0,177
6	460	510	n.b.	170	n.b.	n.b.
7	380	470	25	190	n.b.	n.b.
8	480	570	22	180	n.b.	n.b.
9	400	490	25	n.b.	n.b.	n.b.
10	310	450	30	n.b.	n.b.	n.b.
11	300	460	24	n.b.	n.b.	n.b.
12	310	470	31	n.b.	n.b.	n.b.

Tabelle 3

Festigkeits- und Umformkennwerte in Querrichtung					
Stahl	Rp (MPa)	Rm (MPa)	A5 (%)	E (GPa)	n
1	350	480	22	200	0,18
2	460	580	20	190	0,15
3	560	650	n.b.	180	n.b.
4	330	460	29	200	0,18
5	390	510	27	190	0,16
6	480	550	n.b.	170	n.b.

Tabelle 4

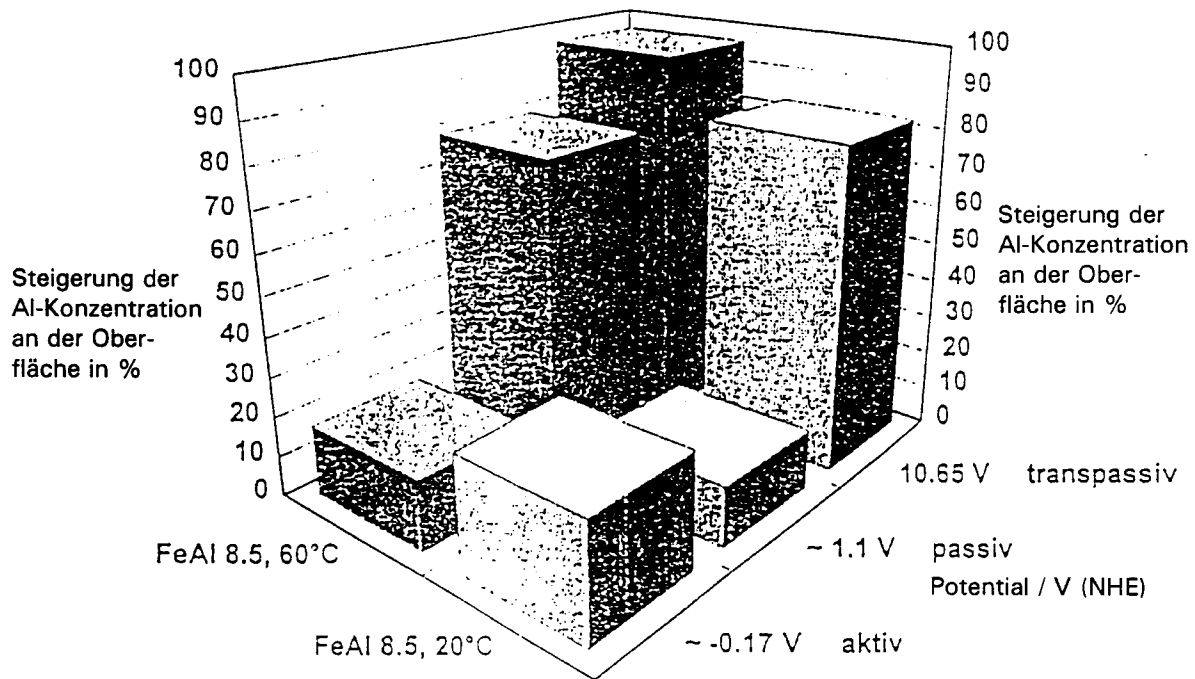
r- und n-Wert des rekristallisierend geglähten Stahls 4 in Abhängigkeit des Kaltwalzgrades KVG in %								
KVG	5	10	15	20	30	50	70	92
rL	0,7	0,56	n.b.	0,61	0,72	0,77	0,80	0,42
n	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,175	0,195	0,19

Tabelle 5

Erichsen-Tiefung (Stempeldurchmesser = 20 mm) der rekristallisierend geglühten Stähle		
Stahl	Blechdicke in mm	Tiefung in mm
1	0,98	9,6
1	0,96	10,0
1	0,97	9,5
4	1,10	9,7
4	1,10	9,9

Tabelle 6: Durch elektrolytische Nachbehandlung hergestellte, an Al-angereicherte Oberflächenschicht auf einer Fe Al 8,5 -Legierung

Polarisation	Al/(Al + Fe) in At. %		Zunahme von Al an der Oberfläche in %	
	20 °C	60 °C	20 °C	60 °C
aktiv	21.1	19.3	28.7	17.7
passiv	18.9	29.4	15.2	79.3
transpassiv, 10.65 V (NHE)	29.9	32.3	82.3	96.3
polierte Probe	16.4		-	



Patentansprüche

1. Höherfester Leichtbaustahl, bestehend aus (in Masse-%):

mehr als 5 bis 9 % Al
 < 0,2 % Si
 0,03 bis 0,2 % Mn
 Rest Eisen und erschmelzungsbedingte

Verunreinigungen, einschließlich höchstens 1 % in Summe Cu + Mo + W + Co + Cr + Ni und bis 0,1 % in Summe Sc + Y + Seltenen Erden.

- 5 2. Leichtbaustahl nach Anspruch 1,
der zusätzlich legiert ist mit (in Masse-%)
- bis 0,1 % C
 bis 0,5 % in Summe Ti + Zr + Hf + V + Nb + Ta
 bis 0,01 % B
10 bis 0,1 % P.
3. Leichtbaustahl nach Anspruch 1,
 jedoch mit 7 bis 9 % Al.
- 15 4. Leichtbaustahl nach Anspruch 2, jedoch mit Titan und/oder Niob von mindestens 0,03 %.
5. Leichtbaustahl nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die aus ihm erzeugten Bänder
 mit einer chemischen, elektrochemischen, organischen nicht-metallischen oder metallischen Beschichtung verse-
 hen sind.
- 20 6. Leichtbaustahl nach Anspruch 5,
 dadurch gekennzeichnet, daß die Bandoberfläche mit Aluminium angereichert und/oder beschichtet ist.
7. Verwendung eines Leichtbaustahls nach einem der Ansprüche 1 bis 6, als Werkstoff für Fahrzeugteile oder Fassa-
25 denverkleidungen.

30

35

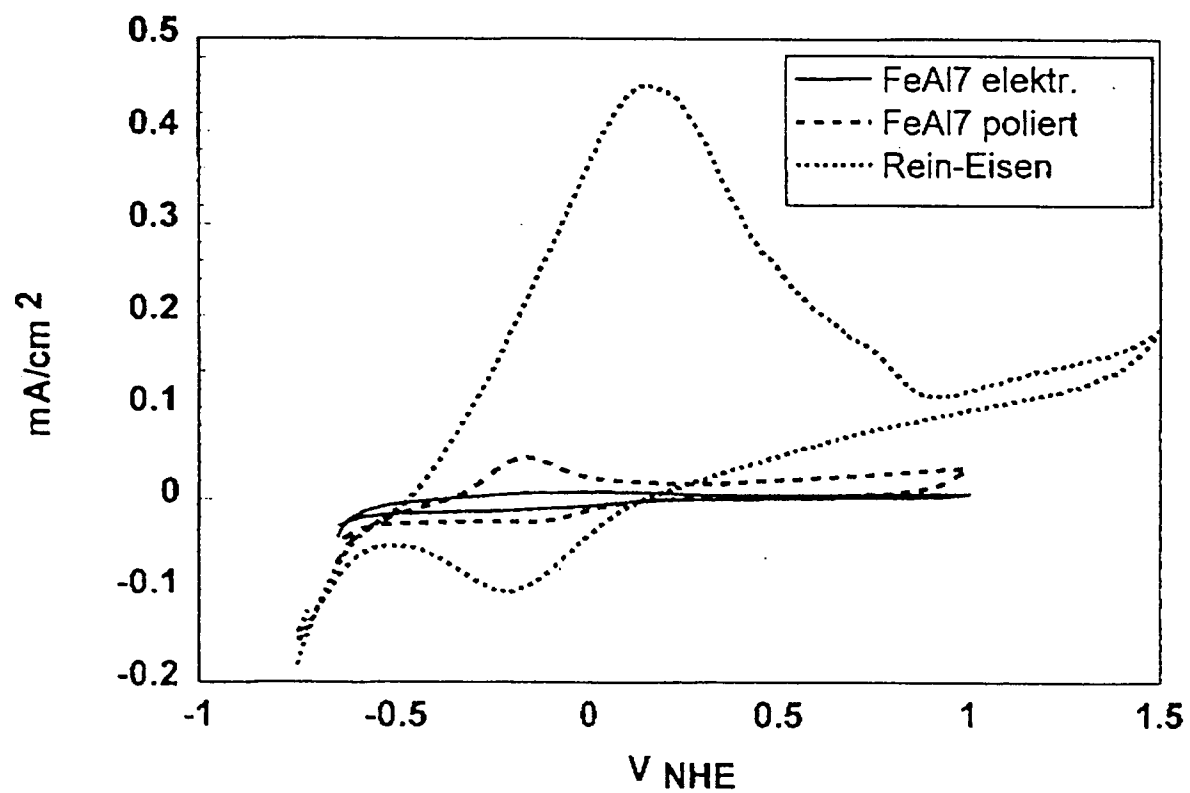
40

45

50

55

Fig. 1



Zyklische Stromdichte-Potentialkurven von einer Fe Al 7 - Legierung im Vergleich zu Rein-Eisen.

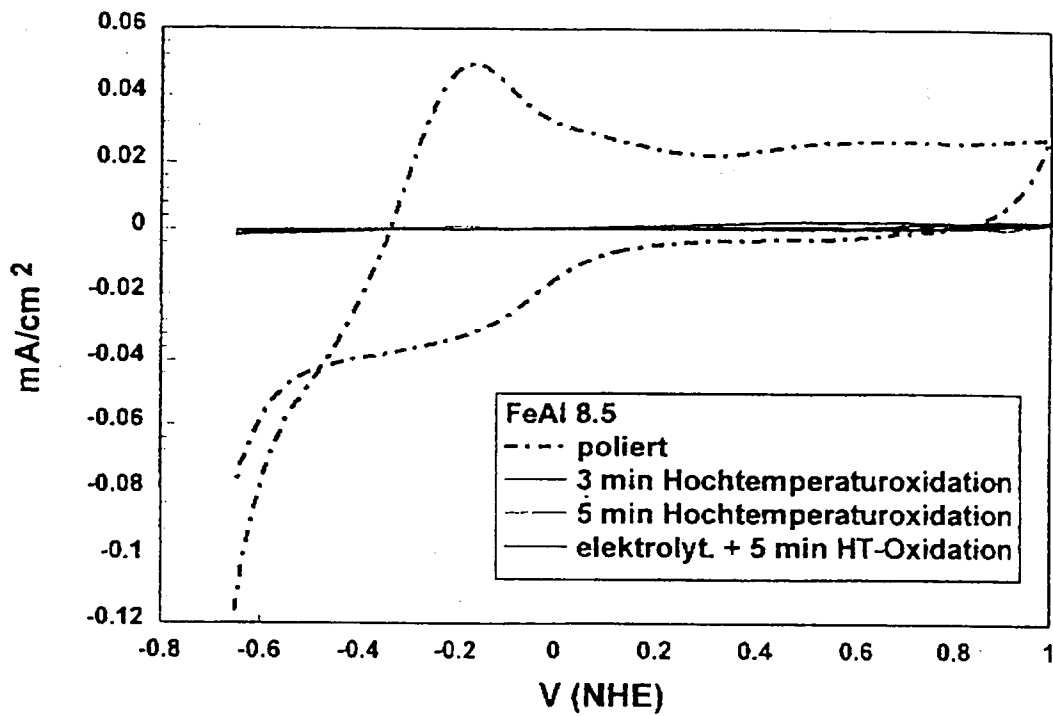


Fig. 2 Zyklische Stromdichte-Potentialkurven von einer Fe Al 8,5 - Legierung mit verschiedenen elektrolytischen bzw. thermischen Nachbehandlungen.

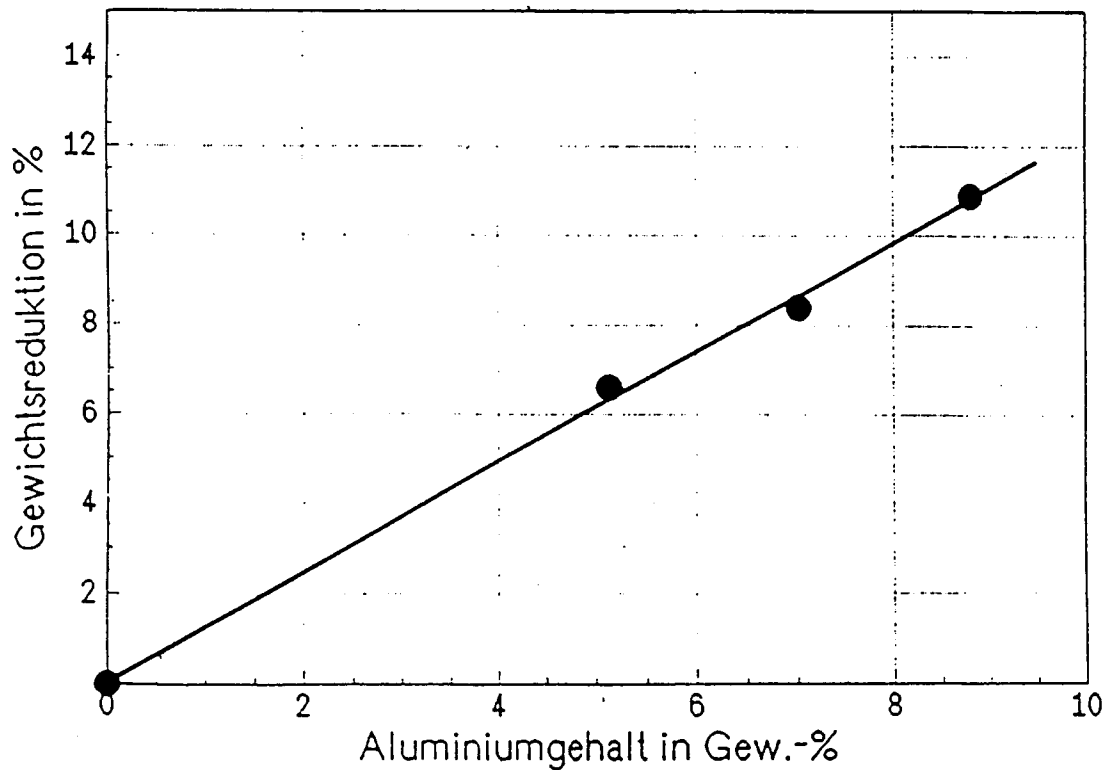


Fig. 3 Gewichtsreduktion von Eisen-Aluminium-Legierungen im Vergleich zu konventionellen Tiefziehstählen