

DER EINFLUSS DES MAGNESIUMS AUF DIE KONTRAKTIONSBARBEIT DES ALUMINIUMS*

Von
L. JUHÁSZ

Mechanisch-Technologisches Institut der Technischen Universität, Budapest
(Eingegangen am 20. Februar 1959)

Einleitung

Den Einfluß der einzelnen Legierungselemente auf die Festigkeit der Legierungen pflegt man in der Regel durch die Werte für Streckgrenze, Bruchfestigkeit, Dehnung und Kontraktion zu kennzeichnen. Zur Charakterisierung einer Legierung werden somit jeweils mindestens vier Kenngrößen benötigt, unter denen einige vom physikalischen Gesichtspunkt aus nicht ganz richtig definiert sind (wie z. B. die Bruchfestigkeit), weshalb auch vollkommen eindeutige Zusammenhänge zwischen dem Einfluß der Legierungselemente und den Festigkeitskennwerten nur auf empirischem Wege ermittelt werden konnten. Im allgemeinen: ein Legierungselement, das die Festigkeitskenngrößen (Bruchfestigkeit, Streckgrenze) erhöht, vermindert die Kenngrößen der Biegsamkeit (Dehnung, Kontraktion). Eine übersichtlichere Möglichkeit zur Systematisierung des Einflusses der Legierungselemente bietet die Kontraktionsarbeit des Werkstoffes, unter der man die bis zum Bruch verrichtete Arbeit der Volumeinheit des Werkstoffes versteht:

$$A_c = \int_{L_0}^L \frac{PdL}{V_0} . \quad (1)$$

Das Schrifttum kennt den Begriff der Kontraktionsarbeit seit lange. LJUNGBERG [1] stellte fest, daß die Größe der Kontraktionsarbeit einen von der Zahl der Beanspruchungen unabhängigen Wert darstellt; wird somit ein Zerreiß- oder Druckversuch in mehreren Teilen vorgenommen, dann ist die Summe der gelegentlich der einzelnen Versuchsteile aufgewandten Arbeit der Größe der bei einem einzigen, kontinuierlich durchgeführten Versuch ermittelten Kontraktionsarbeit gleich. Die Kerbwirkung auf die Kontraktionsarbeit von Probestäben bei Zerreißversuchen wurde von LUDWIK und SCHAY [2] untersucht, die zu der Feststellung gelangten, daß Einkerbungen die Bruchfestigkeit des Probekörpers zwar erhöhen, doch vermindert sich gleichzeitig Dehnung und Kontraktion des Probestabes und damit auch die Kontraktions-

* Diplomarbeit im Auftrag des Mechanisch-Technologischen Instituts (Professor: L. GILLEMOT).

arbeit.⁴ Eine spätere Mitteilung von MATTHAES [3] besagt, daß die Kontraktionsarbeit veredelter Stähle von der Anlaßtemperatur unabhängig ist.

Der Begriff der Kontraktionsarbeit gewann in der Praxis keine Verbreitung, da ihre Bestimmung langwierige Messungen erfordert. GILLEMOT und SINAY [4] wiesen nach, daß das Integral (1) mit den üblichen Werkstoff-Kenngrößen σ_B , δ_e , δ , und σ_F durch folgende Gleichung ausgedrückt werden kann:

$$A_c = 4,6 \sigma_B (1 + \delta_e) \lg \frac{1 + \delta}{1 + \delta_e} + \sigma_B (1 + \delta_e)^2 \cdot \left(\frac{1}{1 + \delta} - \frac{1}{1 + \delta_e} \right) + \frac{\delta_e}{3} (\sigma_F + 2 \sigma_B) \quad (2)$$

In dieser Gleichung bezeichnet σ_B die Bruchfestigkeit, δ_e die gleichmäßige Dehnung, σ_F die Streckgrenze, δ hingegen die effektive Dehnung, die sich nach der Formel $\delta = \frac{\psi}{1 - \psi}$ errechnen läßt.

Demnach kann die Größe der Kontraktionsarbeit aus den beim Zerreißversuch ohnehin in der Regel bestimmten Kennwerten leicht ermittelt werden. GILLEMOT und SINAY stellten obigen Ausdruck in einem Nomogramm dar, aus dem sich die Kontraktionsarbeit mit Hilfe der beim Zerreißversuch ermittelten vier Werkstoff-Kenngrößen ohne langwierige Rechenarbeit einfach ablesen läßt, und damit haben sie die Möglichkeit zu einem tiefgreifenden Studium der Kontraktionsarbeit geschaffen.

Auf Grund der bisherigen Forschungen [4] konnte festgestellt werden, daß sich die Kontraktionsarbeit einander nicht lösender Komponenten mit deren mengenmäßigem Anteil linear ändert. Die Kontraktionsarbeit der einander in jedem Verhältnis lösenden Komponenten erhöht sich im allgemeinen, wobei das Ausmaß der Veränderung mit dem Gitterparameter zusammenhängt. Bei Metallen, die einander nur beschränkt lösen, kann mithin eine Erhöhung der Kontraktionsarbeit nur bis zur Grenze der beschränkten Lösung erwartet werden, darüber hinaus muß die Kontraktionsarbeit anderen Gesetzmäßigkeiten folgen. Unter den Aluminiumlegierungen wurde die Legierungsreihe Al—Si, Al—Zn, Al—Fe und Al—Cu bereits untersucht, weshalb zur vorliegenden Untersuchung die Legierungsreihe Al—Mg zum Gegenstand gewählt wurde.

Beschreibung der Versuche

Den im Buch M. HANSENS [5] mitgeteilten, von Schmid und Siebel stammenden Unterlagen zufolge, vermag Aluminium bei 150° C 2,95 Prozent Magnesium zu lösen. Die Lösbarkeit vermindert sich bis zur Zimmertemperatur nur noch in sehr geringem Maße. Aus diesem Grunde wurden Legierungen mit einem Magnesiumgehalt von 0—4,5 Prozent untersucht, um auch die an

der Grenze der Bildung fester Lösungen vor sich gehenden Erscheinungen beobachten zu können. Für die Zwecke der Untersuchung wurde 99,9prozentiges Aluminium mit Magnesium legiert. Aus den laufend gegossenen Blöcken wurden auf der Stangenpresse die Probestäbe in den gewünschten Abmessungen hergestellt, die sodann 2 Stunden lang auf einer Temperatur von 400° C gehalten und schließlich in Wasser abgekühlt wurden. Von jeder Legierung wurden mindestens 10 Probestäbe der Zerreißprobe unterzogen, damit man auch über die Streuung der Meßwerte ein klares Bild erhält. Dies war als notwendig erachtet worden, weil die Erfahrung zeigt, daß die Streuung bei der Kontraktionsarbeit von Legierungen in der homogenen Phase gering ist, während bei heterogenen Legierungen oder bei solchen mit nichtmetallischen Verunreinigungen sich eine größere Streuung beobachten läßt.

Die Meßergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengefaßt.

Tabelle 1

Zusammensetzung	A_c mkg/cm ³	Maximale Abweichung	S	S/ A_c %	Anzahl der Messungen
99,99% Al	32,9	+ 2,24	1,55	4,70	10
0,92% Mg+Al	50,9	+ 4,50	2,52	4,95	12
2,5% Mg+Al	69,7	+ 4,50	3,38	4,85	10
2,9% Mg+Al	83,6	+ 5,18	3,43	4,10	12
4,23% Mg+Al	67,3	-10,36	5,56	8,28	23

Die für die Kontraktionsarbeit (A_c) angegebenen Werte stellen die Mittelwerte der bei den Messungen erhaltenen Ergebnisse dar. Die folgende Rubrik zeigt die Höchstabweichung von den Mittelwerten, während die dritte Kolonne (S) die Streuung, und die vierte Kolonne (S/ A_c) die in Prozenten ausgedrückte spezifische Streuung enthält. Schließlich gibt die letzte Kolonne an, wie oft je ein Versuch wiederholt wurde.

Aus der Tabelle erhellt klar, daß sich die Kontraktionsarbeit von einem Ausgangswert von 32,9 sukzessive bis zu einem Wert von 83,6 mkg/cm³, d. h. bis zu einem entschiedenen und scharfen Maximum erhöht, das sie bei einem Magnesiumgehalt von 2,9 Prozent erreicht, um sich bei einem solchen von 4,23 Prozent bereits auf 67,3 mkg/cm³ zu vermindern.

Es steht somit unzweifelhaft fest, daß die Kontraktionsarbeit ihr Maximum tatsächlich an der Grenze der Festlösungsbildung aufwies. Die Streuung und die Abweichung vom Mittelwert bei den Legierungen mit einem Magnesiumgehalt von 4,23 Prozent sind wesentlich größer als diejenige von Legierungen aus reinen festen Lösungen. Aus diesem Grunde wurden die Versuche hier im Interesse größerer Genauigkeit nochmals wiederholt, sodaß sich die auf diese Legierungen bezüglichen Daten aus insgesamt 23 Messungen ergaben.

Die große Streuung und die Verminderung der Kontraktionsarbeit lassen darauf schließen, daß die überwiegend homogene feste Lösung, trotzdem sie der durch die Wärmebehandlung erzielten Umwandlung zu verdanken ist, nur durch eine starke Verzerrung des Gitters zustande kam, und daß sie

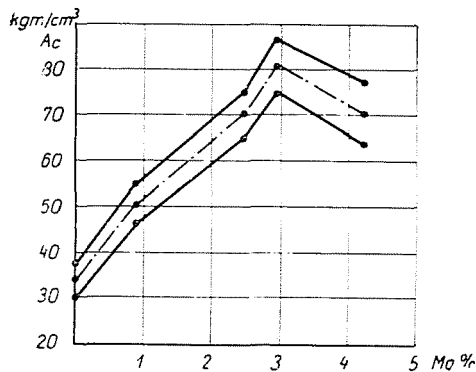


Bild 1

darüber hinaus nicht bloß eine feste Lösung darstellte, sondern daß auch die Phase der Aluminium-Magnesium-Verbindung vorlag.

Bekanntlich beeinflussen die inneren Spannungen die Größe der Kontraktionsarbeit weitgehend. Die Verminderung der Kontraktionsarbeit von Legierungen bei einem Magnesiumgehalt von 4,23 Prozent läßt sich mithin mit den aus der starken Übersättigung des Gitters resultierenden Spannungen und mit dem Auftreten der Verbindungsphase erklären. Fraglos beweist diese Meßreihe auch die Richtigkeit des Satzes, daß das Maximum der Kontraktions-

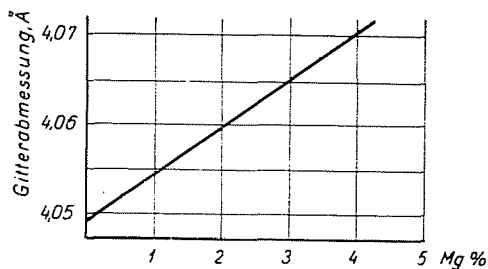


Bild 2

arbeit einer Legierungsreihe bei jener Zusammensetzung liegt, bei der das Legierungselement im höchsten Maße löslich ist.

Das Schaubild der Meßergebnisse gemäß Bild 1 zeigt deren untere und obere Grenzwerte (stark ausgezogene Linien), wogegen die Kurve der Leistungslinie die Mittelwerte veranschaulicht.

Mit Hilfe von Röntgen-Reflexuntersuchungen wurde für jede einzelne Legierung auch der Gitterparameter bestimmt. Die Ergebnisse sind im Bild 2 dargestellt. Die Werte der Gitterparameter stimmen mit den Schriftumsangaben überein und lassen erkennen, daß sich die Größe der Kontraktionsarbeit bei einem Mg-Gehalt bis zu 2,9% im großen und ganzen mit den Gitterabmessungen verhältnismäßig verändert. Bei einem 2,9% überschreitenden Mg-Gehalt vermindert sich die Kontraktionsarbeit, hingegen vergrößern sich die Gitterabmessungen weiter, eine Erscheinung, die auf die bereits erwähnten inneren Spannungen zurückgeführt werden kann.

Zusammenfassung

Zwischen Struktur und Kontraktionsarbeit von Legierungen besteht ein eindeutiger Zusammenhang in dem Sinne, daß sich die Kontraktionsarbeit einander nicht lösender Legierungselemente innerhalb der Legierungsreihe linear verändert, während die Kontraktionsarbeit fester Lösungen im allgemeinen verhältnismäßig mit der Änderung der Gitterabmessungen wächst. In der Aluminium-Magnesium-Legierungsreihe kann eine Zunahme der Kontraktionsarbeit bis zur Grenze der beschränkten Löslichkeit beobachtet werden, während sie sich von da ab erheblich vermindert. Demnach läßt sich auch für die Aluminium-Magnesium-Legierungsreihe nachweisen, daß die Kontraktionsarbeit ihren Höchstwert bei dem im Gleichgewichtszustand am vollständigsten gesättigten festen Lösung erreicht.

Schrifttum

1. LJUNGBERG, K.: Erste Mitteilungen des Neuen Internationalen Verbandes für Materialprüfung. Zürich. 1931. Gruppe A. 149.
2. LUDWIK, P.—SCHEU, R.: Stahl und Eisen, **43**, 999—1001 (1923).
3. MATTHAES, K.: Zeitschrift f. Metallkunde, **43**, 14—16 (1953).
4. GILLEMOT, L.—SINAY, G.: Acta Technica, **XXII**, (1958).
5. HANSEN, M.: Der Aufbau der Zweistofflegierungen. Verlag Springer, Berlin. 1936. S. 126.

L. JUHÁSZ: Debrecen, Atommagkutató Intézet, Ungarn.