

04.82.14

JORNADAS DE METALURGIA 1982

Volumen II

- Propiedades y Comportamiento de los Metales, Aleaciones y Materiales Compuestos.

Comisión Nacional de Energía Atómica
BIBLIOTECA

Vaquerías, Córdoba, Abril de 1982

INFLUENCIA DE LA COMPOSICION SOBRE LA DEFORMACION EN CALIENTE DE ACEROS AL CARBONO

J.Ruzzante, A.M.Hey (Dto. Materiales, CNEA)
G.Carfi, J.Tormo (Instituto Argentino de Siderurgia)

RESUMEN: Utilizando ensayos de torsión en caliente, se determinó la resistencia a la deformación de distintos aceros al carbono de producción comercial.

Las mediciones se efectuaron en un rango de temperaturas comprendido entre 850°C y 1250°C, a velocidades de deformación verdaderas de 0,01 y 8 s⁻¹ y con deformaciones, en algunos casos hasta la rotura. Los valores de resistencia fueron correlacionados con la composición química de los aceros ensayados, en particular el contenido de carbono y de otros aleantes.

Se analizaron las variaciones de distintos parámetros tales como tensión máxima, tensión de estado estacionario, sensibilidad a la velocidad de deformación, deformación de pico, etc.

Influence of the Composition on the Hot Deformation of Carbon Steels.

SUMMARY: Resistance to plastic deformation in different commercial carbon steels was determined by hot torsion tests.

Measurements were carried out in a temperature range between 850°C and 1250°C, at real strain rates of 0,01 and 8 s⁻¹, with deformation, in some cases, up to failure. Resistance values of the tested steels were correlated with their chemical composition, particularly carbon and other elements content.

Variations of different parameters such as maximum stress, steady state stress, sensitivity to strain rate, peak deformation, etc. were analysed.

INTRODUCCION

La caracterización de las propiedades mecánicas en caliente de aceros, resulta de relevancia en los procesos industriales de deformación plástica.

A partir de ello, es posible prever los requerimientos de potencia y robustez de los equipos de producción, como así también, predecir la posibilidad de llevar a cabo determinados procesos, en dife-rentes condiciones de producción, para distintos aceros. Asimismo, - la incorporación de estos datos, facilita la operación de equipos automáticos de control, que requieren entre otras cosas, el conocimiento de la resistencia a la deformación del material en proceso.

El ensayo de torsión en caliente, entre otros, es utilizado con frecuencia para la determinación de curvas tensión-deformación en caliente. Si bien existe un cuerpo interesante de trabajos de investigación sobre el tema, no se cuenta con un análisis sistemático de - las características de deformación en función de la composición quí-mica de los aceros de producción habitual.

En el transcurso del presente trabajo se analizó la variación de la resistencia máxima a la deformación en caliente, entre 950°C y 1250°C , y a velocidades de deformación comprendidas entre $0,01\text{ s}^{-1}$ y 8 s^{-1} , de aceros al carbono de producción local. Los mismos fueron seleccionados a partir de las composiciones racionalizadas IRAM-IAS, analizándose la influencia de la variación del contenido de carbono- y de aleantes en solución.

METODO EXPERIMENTAL

Los ensayos de torsión se llevaron a cabo sobre probetas de 7 mm de diámetro y 7 mm de longitud calibrada, bajo atmósfera de Ar, en - una máquina de ensayo descrita previamente (1). Las temperaturas fueron variadas entre 950°C y 1250°C , y las velocidades de deforma-ción verdadera fueron de $0,01\text{ s}^{-1}$; $0,1\text{ s}^{-1}$; 1 s^{-1} y 8 s^{-1} . Los materiales ensayados pueden verse en la Tabla I.

De las curvas cupla (τ), deformación angular (θ) obtenidas (fi-gura 1), se midió la cupla máxima, la que fue ajustada con la velocidad rotacional de deformación ($\dot{\theta}$), según la expresión (2,6)

$$\Gamma = \Gamma_0 \cdot \dot{\epsilon}^n \quad (1)$$

donde n se define como sensibilidad a la velocidad de deformación. La figura 2 muestra las rectas obtenidas al representar la expresión anterior en un gráfico doble logarítmico.

Los valores de resistencia máxima a la deformación verdadera ($\sigma_{m\acute{a}x.}$), fueron calculados a partir de la expresión (4,7,8).

$$\sigma_{m\acute{a}x.} = \frac{\sqrt{3}}{2\pi} \frac{\Gamma_{m\acute{a}x.}}{r^3} (3 + n) \quad (2)$$

donde r , es el radio de la probeta utilizada.

En todos los casos las probetas fueron austenitizadas a 1250° C durante diez minutos, y luego llevadas a temperatura de ensayo (figura 3).

RESULTADOS Y DISCUSION

La figura 4 muestra la variación de la resistencia máxima ($\sigma_{m\acute{a}x.}$) en función del contenido de carbono, para distintas temperaturas, a una velocidad de deformación verdadera de 1 S^{-1} ($\dot{\epsilon} = 1 \text{ S}^{-1}$).

De la misma se desprende que la resistencia máxima a la deformación no se ve sustancialmente alterada por la variación en el tenor de carbono (9). Como ejemplo podemos citar que un aumento del 0,075% al 0,686% en la concentración de carbono, manteniendo aproximadamente constante el porcentaje de los restantes elementos aleantes, sólo ocasiona un incremento del 5% en el valor del $\sigma_{m\acute{a}x.}$

Existen distintos trabajos sobre el tema que confirman esta tendencia (10,12), mientras que otros sólo lo hacen parcialmente (13).

Con el objeto de evaluar la incidencia de los elementos aleantes en solución, los valores de resistencia máxima a la deformación ($\sigma_{m\acute{a}x.}$), se graficaron en función del carbono equivalente (figura 5) calculado según (14):

$$Ceq = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15} \quad (3)$$

El comportamiento observado en este caso, es similar al anterior. Esta tendencia, también fue confirmada para mayores velocidades de deformación (10,15) (Figura 6).

La variación de la resistencia máxima en función del carbono equivalente, fue ajustada por una relación del tipo:

$$\sigma_{\text{máx.}} = a + b \text{ Ceq} \quad (4)$$

y en la Tabla II puede verse el valor de las constantes. Una importante consecuencia de estos ajustes es el hecho de que la variación del $\sigma_{\text{máx.}}$, con el Ceq aparece sensiblemente disminuida con el incremento de la temperatura, tal como lo muestra la figura 5 y lo confirman los valores de la constante b en la Tabla II.

La expresión (1), ha sido utilizada por diversos autores para correlacionar datos de resistencia con velocidad de deformación a distintas temperaturas de trabajado en caliente (16-18), y donde, tanto Γ_0 como n son función de la temperatura (19).

La figura 7 muestra la variación de $1/1-n$ con la temperatura absoluta, la que puede ser definida a partir de la expresión:

$$\ln \frac{1}{1-n} = a + b T \quad (5)$$

donde tanto a como b son constantes. Los valores de n hallados en este trabajo están comprendidos entre 0.14 y 0.24, concordando con los encontrados por otros autores para materiales similares (4-8-20).

En cuanto a la variación de la sensibilidad a la velocidad de deformación con la composición química del material ensayado, la figura 8 muestra a n en función del contenido de carbono. Se aprecia un incremento de la misma hasta valores de aproximadamente 0,2% C, y luego una caída a tenores de carbono creciente.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos del presente trabajo puede resumirse en:

- La resistencia máxima a la deformación de los aceros al carbono, a temperaturas comprendidas entre 950°C y 1250°C, se incrementa con el contenido de carbono y de elementos aleantes.

-La resistencia máxima puede ser definida a partir de una expresión lineal del tipo:

$$\sigma_{\text{máx.}} = a + b \text{ Ceq}$$

-El aumento de resistencia con el contenido de carbono y de elementos aleantes aparece sensiblemente disminuido con el aumento de la temperatura.

-Estas tendencias enunciadas fueron confirmadas para distintas velocidades de deformación $\dot{\epsilon} = 1 \text{ S}^{-1}$ y $\dot{\epsilon} = 8 \text{ S}^{-1}$.

-La sensibilidad a la velocidad de deformación, definida como n , se incrementa con el aumento de la temperatura en el rango de trabajado en caliente estudiado en este trabajo.

-El incremento de n con la temperatura puede ser descripto por una expresión del tipo:

$$\ln \frac{1}{n-1} = a + b T$$

-La sensibilidad a la velocidad de deformación disminuye para tenores de carbono mayores o menores de 0,2% aproximadamente.

Se considera además necesario trabajar con aleaciones de alta pureza, a fin de poder determinar con mayor exactitud los efectos de los distintos elementos aleantes, sobre la deformación en caliente de los aceros.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a Establecimientos Metalúrgicos Santa-Rosa S.A., Establecimiento Altos Hornos Zapla y Gurmendi S.A., por la provisión de los materiales, como así también al personal técnico del grupo de tratamientos termomecánicos del Departamento de Materiales de la C.N.E.A.

BIBLIOGRAFIA

1. A.Hey, J.E.Ruzzante y J.P.Esperón; "Diseño, construcción y resultados preliminares en la operación de una máquina de torsión en ca -

- liente". 6° Seminario de Laminación, Instituto Argentino de Siderurgia, Mar del Plata, 1978.
2. C.M.Sellars y W.I. McG Tegart: "Hot Workability" Met. Rev. Vo. 17; (158), 1972, 1-24.
 3. C.M.Sellars y W.I. McG Tegart; Mem. Sci. Rev. Met. 1966, (63) 731.
 4. C. Rossard and P.Blain.Rev.Met.1958(55), 573 Publ. IRSID 174a, (1957).
 5. A.M. Hey y otros, "Deformación plástica de aceros utilizando ensayos de torsión en caliente". Instituto Argentino de Siderurgia, Bs. As. 1979.
 6. A.M. Hey y otros: "Deformación plástica de aceros utilizando ensayos de torsión en caliente". Inst. Arg. de Sid. Bs.As. 1980.
 7. D.S. Fields, Jr. and W.A. Backofen: "Determination of Strain Hardening by Torsion Testing. Proc. ASTM, 57 (1957), 1263 * citado en 4.
 8. C.Rossard, D. Sc. Thesis, Univ. de Paris, 1960; Metaux Corros. Ind. 1960, (35), 102, 140 y 190.
 9. W.I.McG Tegart: "The Hot Deformation of Austenite", J.B. Ballance, Ec. TMS-AIME, New York, 1977 pp.1.
 10. R.H. Moller: "Measurement of the resistance to hot deformation of steels using the MRL experimental rolling mill". BHP Tech. Bull 16-(1) 1972 p.8
 11. T. Okamoto, and K.Nishizawa. The Sumitomo Serch. N° 6. Nov. 1971.20
 12. H.J.Whittaker, B.Walker and M.A. Adams: "The use of the camplastometry and torsion testing for simulating continuous hot-strip-mill rolling. Proc. ICSTIS, Suppl. Trans. ISIY. Vol II, 1971 pp. 662.
 13. J.L. Robbins, O.C. Shepard and o. Disharby: "Torsional ductility and strength of iron-carbon alloys at elevated temperature" Trans.-ASM, Vol. 60 pp. 205, (1967).
 14. Wusatowsky: "Cursillo de laminación", Inst. Arg. de Sid. Bs. As. (1981).
 15. M.Zi de k, B. Kubickova and J. Raab: "Effect temperature, chemical-analysis and structure conditions on the hot yieldstress of steels". Hutnicke Listy, Vol. 24 (2), 1969 pp. 98. * citado por 9.
 16. P.M.Cook, Proc. Conf. on "props. of materials at high rates of strain". p.86, 1957. London (Inst. Mech. Eng.) * citado en 20.
 17. C. Rossard and P. Blain, Mém. Sci. Rev. Met. 1959, (56), 286 Publ.-IRSID 174 bis, 1958. * citado en 20.
 18. W. Lueg and H.G. Muller, Arch. Eis, 1957, (28), 505 *citado en 20.

19. J.M. Jacquerie, C.N.R.M. Met. Rep. N°9 Dec. 1966, 51 *citado en 20.
 20. J.J.Jonas, C.M. Sellars, W.I.McG. Tegart: "Strength and structure - during hot working" Dep. Met. Univ. Shef. May (1968).

SAE	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	C _{eq}
1008	0,075	0,539	0,116	0,026	0,013	0,030	0,016	<0,01	0.173
1010	0,122	0,504	0,263	<0,01	0,032	0,184	0,135	0,115	0.265
1020	0,250	0,530	0,230	0,010	0,024	0,110	0,081	<0,01	0.367
1045	0,483	1,452	0,180	0,011	0,030	0,177	0,075	0,175	0.781
1050	0,496	0,734	0,161	0,022	0,012	0,028	0,027	<0,01	0.635
1070	0,686	0,829	0,282	0,041	0,025	0,147	0,124	0,123	0.910

ABLA I. Composición química de los aceros ensayados, denominados según IRAM-IAS.

temp.	a	b	r
950	10.8	1.8	0.86
1050	7.7	1.7	0.94
1150	5.5	1.7	0.84
1250	4.4	1.4	0.99

TABLA II. Valores de las constantes a y b de la relación $\sigma_{\text{máx}}$ vs carbono equivalente (C_{eq}) $\dot{\epsilon} = 1 \text{ s}^{-1}$ y del coeficiente de correlación r.

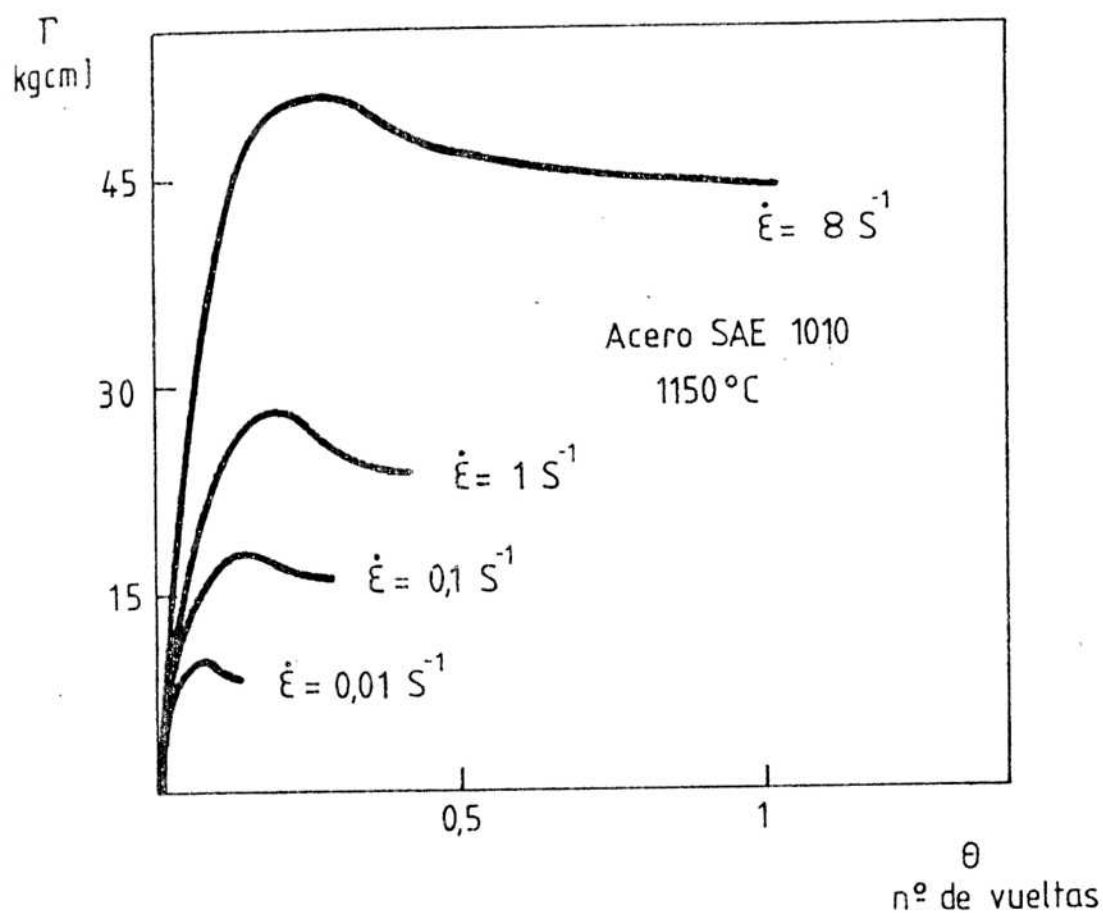


FIGURA 1. Curva torque (Γ), número de vueltas obtenido de un ensayo de torsión. Material acero SAE 1008.
 $\dot{\epsilon} = 1 \text{ s}^{-1}$.

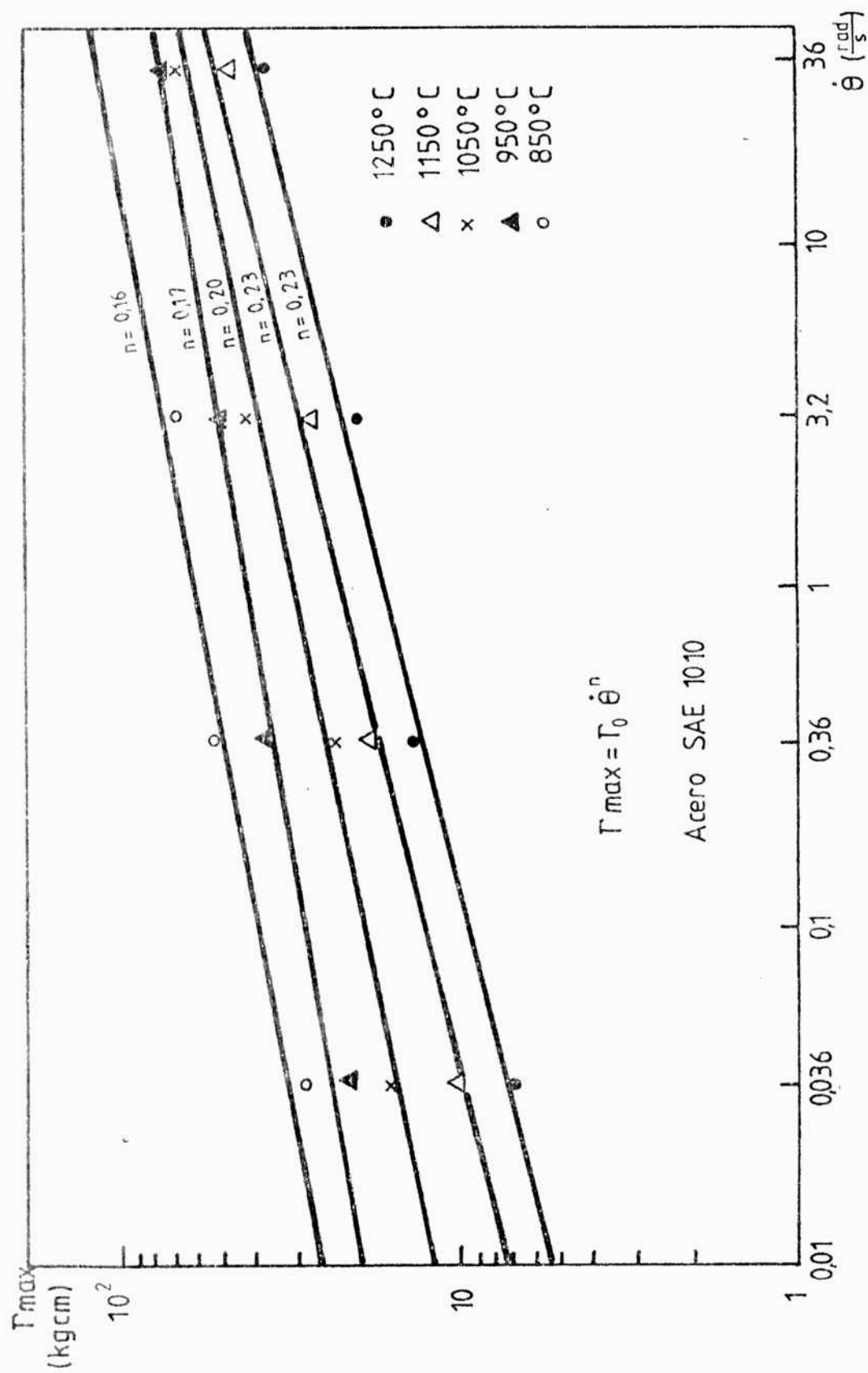


FIGURA 2. Representación en escalas doble logarítmicas de la función

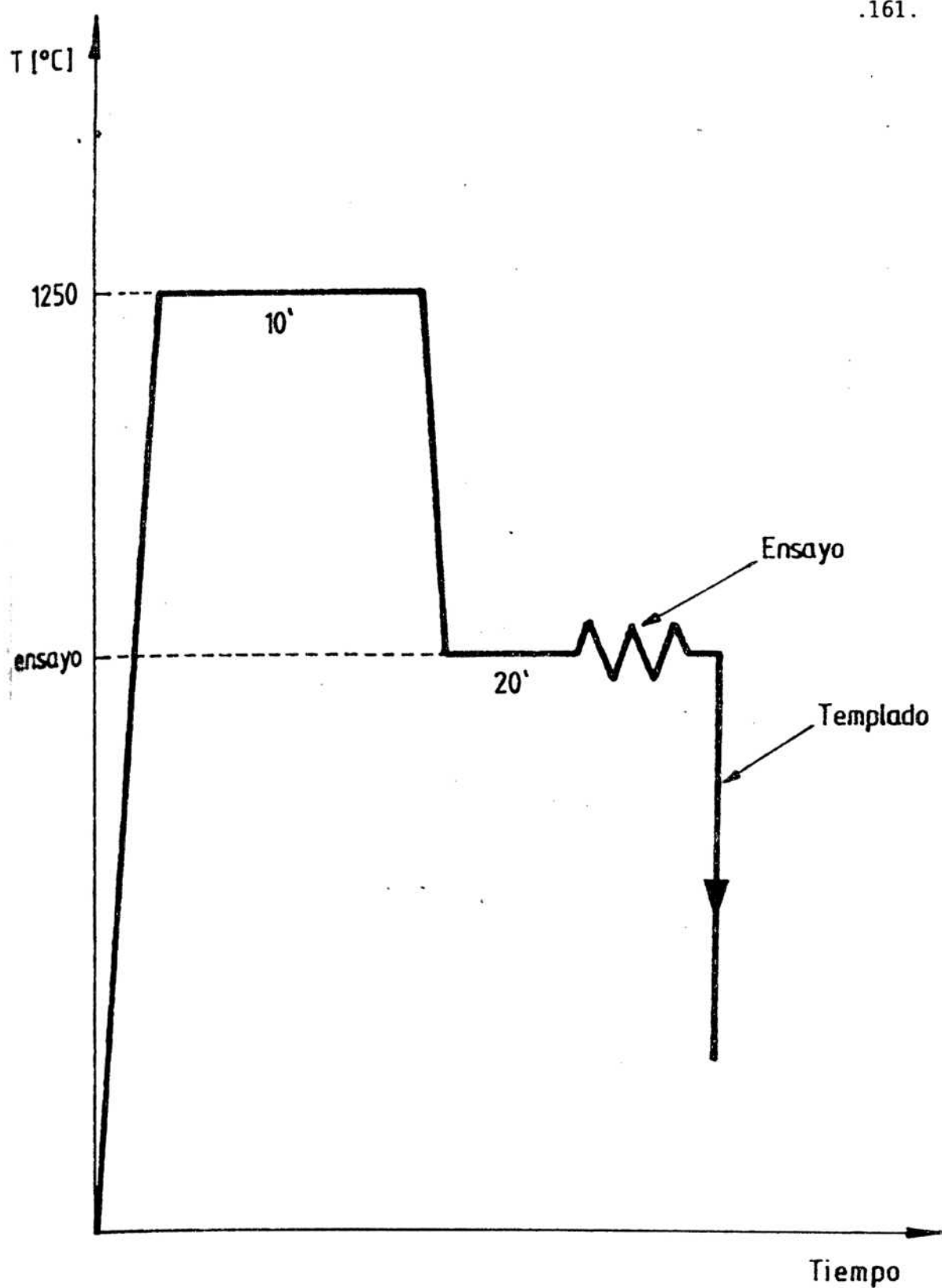


FIGURA 3. Ciclo de calentamiento de las probetas ensayadas.

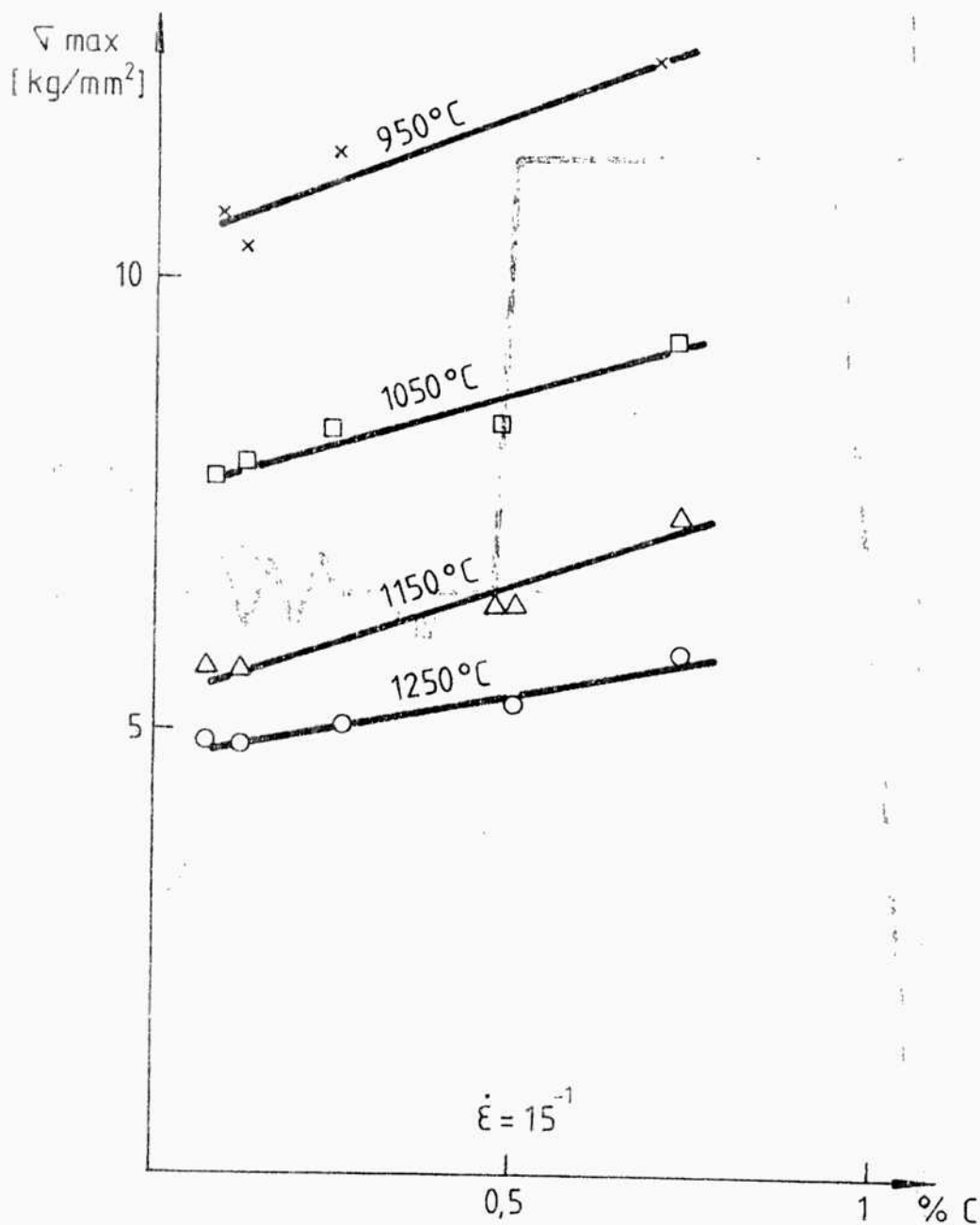


FIGURA 4. Resistencia máxima en función del contenido de carbono: ($\dot{\epsilon} = 1 \text{ s}^{-1}$)

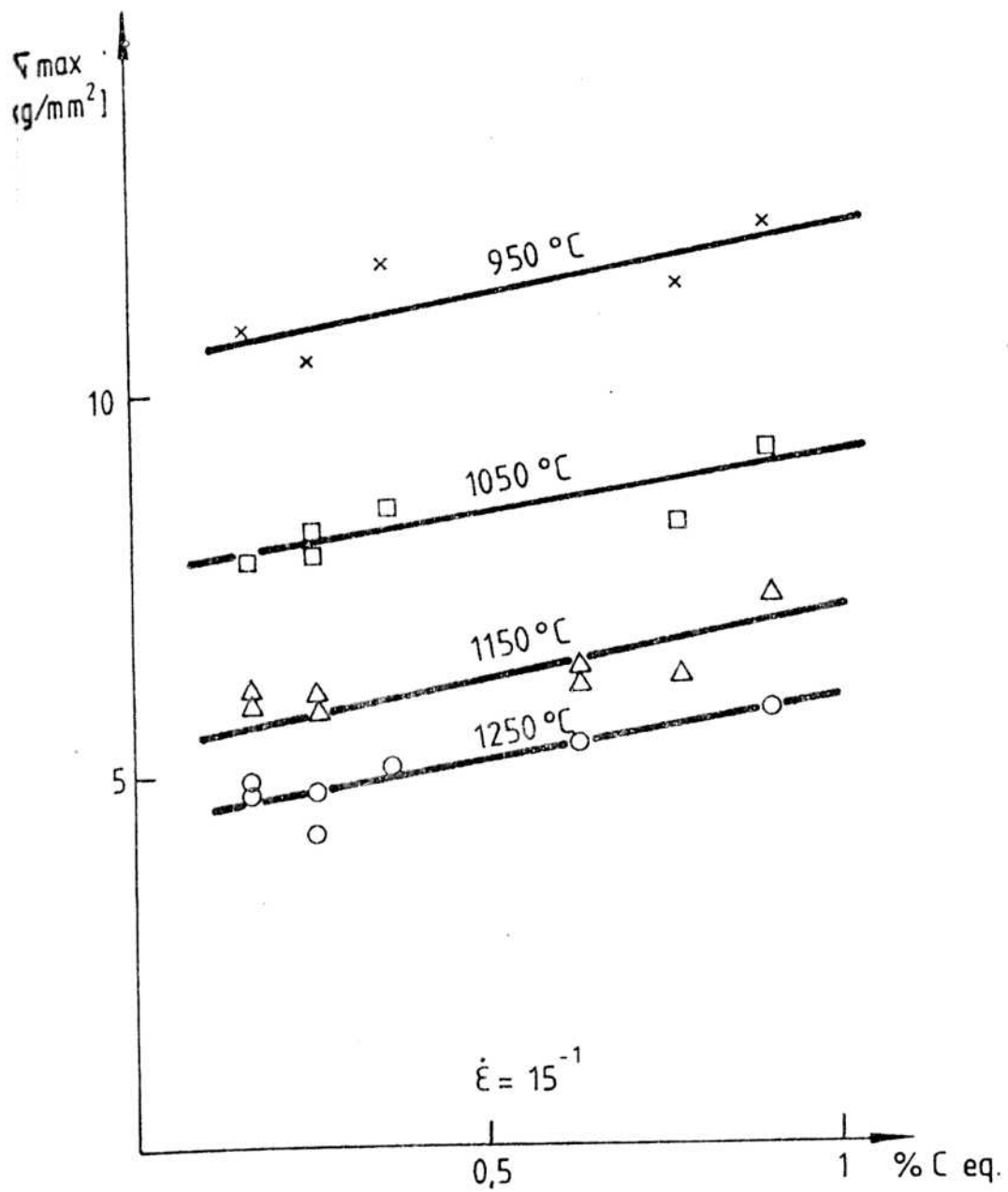


FIGURA 5. Resistencia máxima en función del carbono equivalente (14). ($\dot{\epsilon} = 1 \text{ s}^{-1}$)

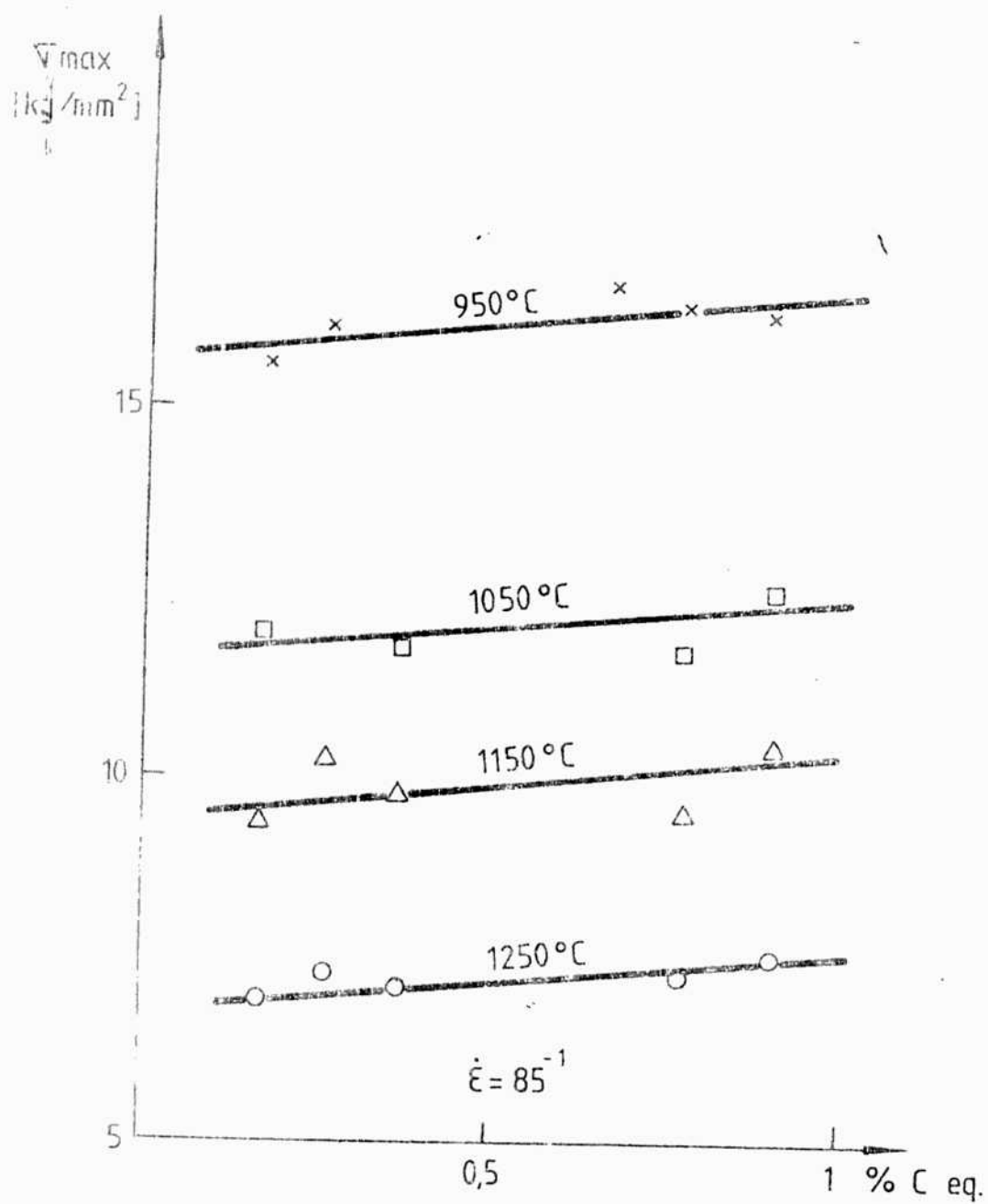


FIGURA 6. Resistencia máxima en función del carbono equivalente. ($\dot{\epsilon} = 8 \text{ s}^{-1}$)

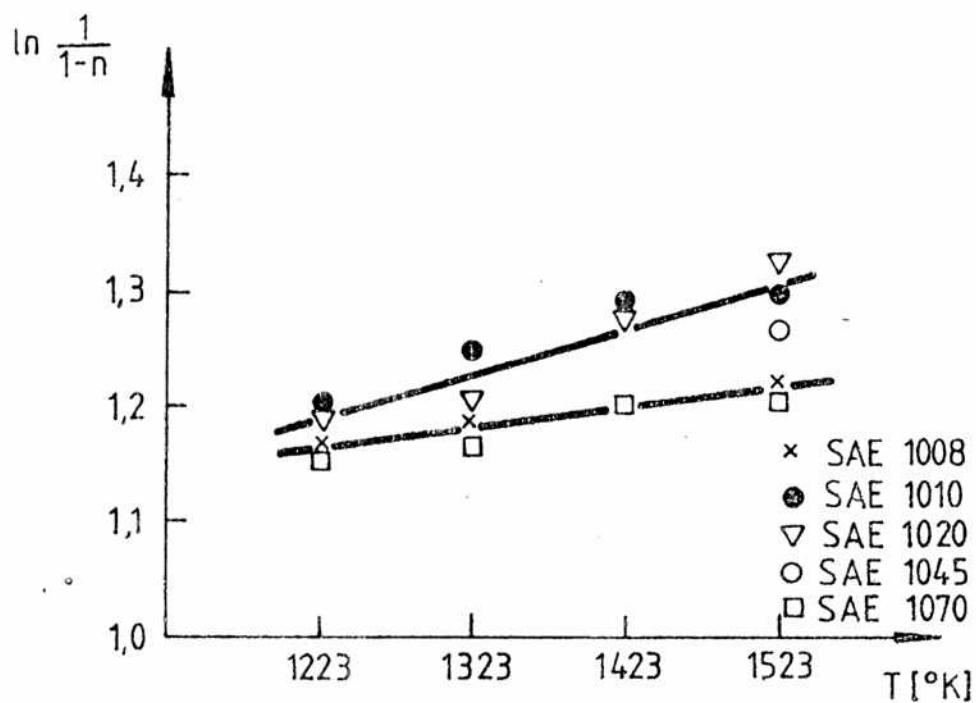


FIGURA 7. Variación de $\ln 1/1-n$ en función de la temperatura absoluta.

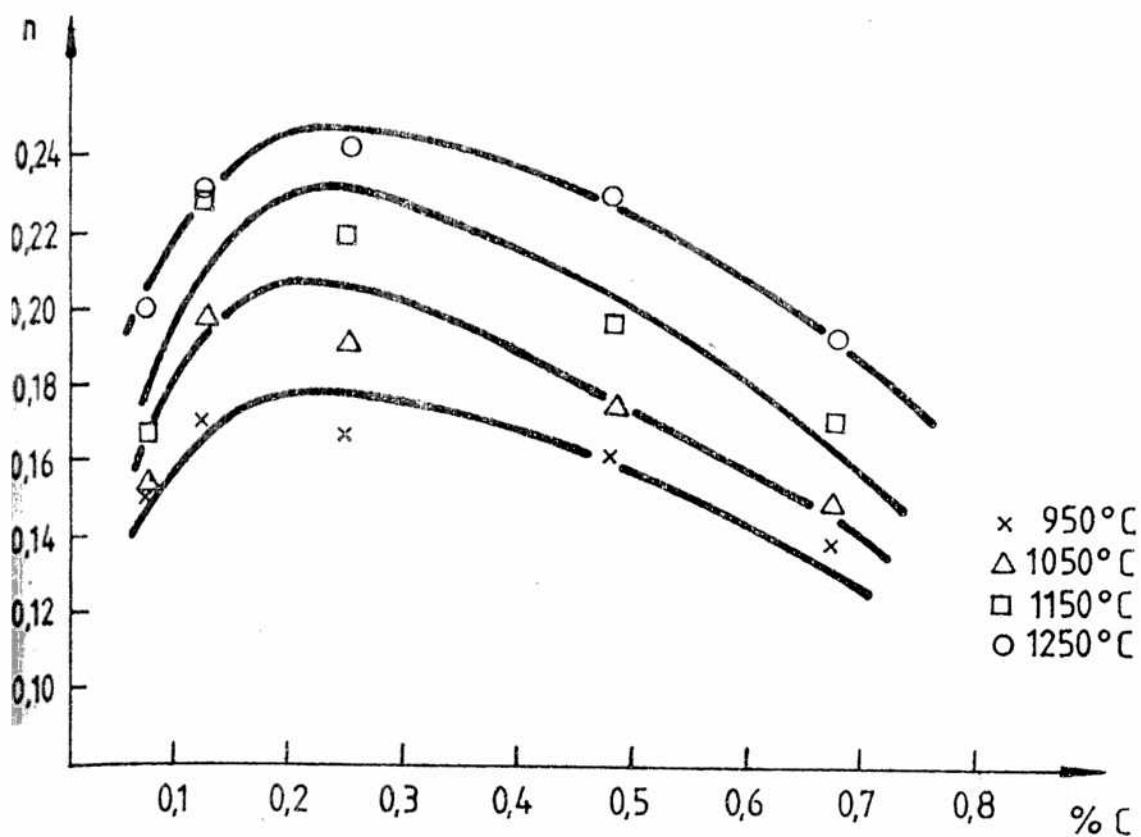


FIGURA 8. Variación de la sensibilidad a la velocidad de deformación en función del porcentaje de carbono.