

EFFECTO DEL CONTENIDO DE CARBONO SOBRE LA MICROESTRUCTURA Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE ACEROS DUAL PHASE

V. L. de la Concepción María⁽¹⁾, H. N. Lorusso⁽¹⁾, H. G. Svoboda^(2,3)

(1): INTI Mecánica; (2): Laboratorio de Materiales y Estructuras FIUBA - INTECIN; (3): CONICET
valeriac@inti.gov.ar

OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la obtención, microestructura y propiedades mecánicas de aceros Dual Phase obtenidos a partir de aceros con diferentes contenidos de carbono.

DESCRIPCIÓN

Los aceros Dual Phase (DP) son ampliamente utilizados en la industria automotriz, permitiendo reducir espesores sin sacrificar la conformabilidad ni la capacidad de absorción de energía. En el último tiempo su aplicación se ha extendido a otras industrias. La microestructura de los aceros DP consiste en islas de martensita (M) en una matriz de ferrita. La martensita incrementa la resistencia, mientras que la ferrita aporta ductilidad. Al ser sometido a un estado de tensiones, la deformación se concentra en la fase ferrítica, logrando una elevada tasa de endurecimiento por deformación. Esta propiedad sumada a la buena elongación que presentan estos aceros, le otorgan una resistencia a la tracción muy superior respecto a aceros convencionales con tensión de fluencia similar.

Las propiedades mecánicas de los aceros DP están controladas por las fracciones de martensita y ferrita, el contenido de carbono de la martensita, los tamaños de grano y las resistencias de ambas fases. En general, un aumento en la fracción de martensita produce un aumento de la dureza y de la resistencia. Sin embargo, existe un balance entre dos efectos contrapuestos, ya que a medida que aumenta la fracción de dicha fase, el contenido de carbono de la misma disminuye. El balance entre estos efectos será el que defina las propiedades mecánicas resultantes del material.

Se trabajó con cuatro materiales comerciales disponibles en el mercado nacional en forma de barras, de la familia de aceros de uso estructural para armadura en estructuras de hormigón (ATR 500, AL 220, ADN 420(S) y ADN 420), con contenidos de carbono variables entre 0,08 y 0,36, nominales. Este trabajo se enmarca en un proyecto de estudio de aplicabilidad de aceros DP como ruta de fabricación alternativa para diversos productos siderúrgicos empleados en la industria de la construcción.

Sobre muestras de cada uno de estos materiales se determinó la composición química mediante espectrometría de emisión óptica (OES), y se obtuvieron las temperaturas críticas de transformación Ac_1 y Ac_3 mediante dilatometría térmica lineal (DA).

Para cada material se realizaron tratamientos térmicos a diferentes temperaturas intercríticas a fin de obtener diferentes grados de aceros DP. El tiempo de permanencia fue de 30 minutos con posterior enfriamiento en agua, de acuerdo a lo mostrado en la Figura 1.

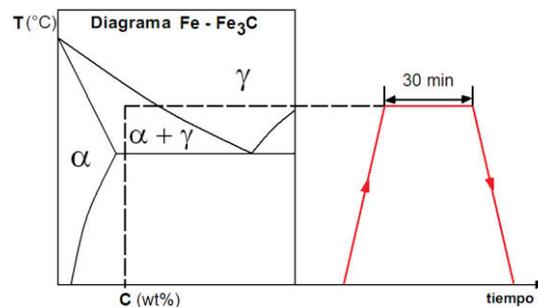


Figura 1: Ciclo térmico aplicado en los tratamientos.

Sobre cada grado de acero DP obtenido, se realizó un análisis microestructural mediante microscopía óptica (LM), y se cuantificó la fase martensítica según ASTM E562. Luego se determinaron las propiedades mecánicas resultantes, determinando la microdureza Vickers (HV1) según ASTM E384 y realizando ensayos de tracción según ASTM E8M, determinándose los valores de tensión al límite convencional 0,2% ($R_p 0,2$), resistencia a la tracción (R_m) y alargamiento porcentual de rotura (A%). Asimismo se observaron las superficies de fractura obtenidas en cada caso mediante estéreomicroscopía óptica (SLM).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestran los resultados del análisis químico y las temperaturas críticas de transformación de los materiales analizados.

Tabla 1: Composiciones químicas (%wt) y temperaturas críticas (°C) de los materiales analizados.

	C	Mn	Si	P	S	Ac_1	Ac_3
A1	0,08	0,77	0,21	0,017	0,012	732	873
A2	0,11	0,69	0,21	0,025	0,021	733	865
A3	0,20	1,45	0,40	0,015	0,028	720	776
A4	0,38	1,43	0,37	0,024	0,033	736	805

El contenido de carbono aumentó del material A1 al A4. A medida que aumentó el porcentaje de carbono, disminuyó el rango de temperaturas donde coexisten las fases ferrita y austenita, en consistencia con el diagrama de equilibrio, por lo cual los materiales con mayor contenido de carbono fueron más sensibles a variaciones en las temperaturas de tratamiento. En todos los aceros tratados, se observaron microestructuras similares a las de la Fig. 2, compuestas por granos equiaxiales de ferrita y martensita, cuya fracción aumentó con la temperatura de tratamiento. Asimismo, para una misma temperatura de tratamiento, la fracción de martensita aumentó con el contenido de carbono.

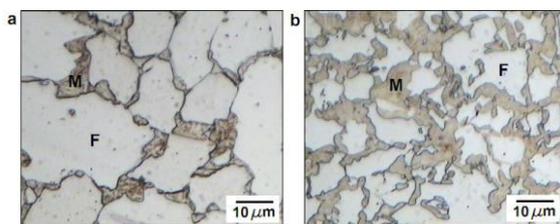


Figura 2: Microestructuras de los aceros obtenidos: a - A2, 740°C; b - A3, 740°C. Se indican las fases F: ferrita y M: martensita.

En la tabla 2 se muestran las propiedades obtenidas para cada grado de acero DP.

Tabla 2: Temperaturas de tratamiento, porcentajes de martensita y propiedades mecánicas de los aceros DP obtenidos.

ID	T [°C]	M [%]	HV ₁	Rp _{0,2} [MPa]	Rm [MPa]	Rm/Rp _{0,2}	A [%]
A1-25	795	25	184	333	656	1,97	14,9
A1-40	810	40	226	337	675	2,00	13,5
A1-50	820	50	252	356	693	1,95	12,5
A1-65	840	65	268	407	698	1,71	10,5
A2-23	740	23	191	405	714	1,76	17,4
A2-27	750	27	196	392	715	1,82	18,0
A2-29	760	29	203	366	712	1,94	16,5
A2-31	770	31	209	384	745	1,94	14,2
A2-37	780	37	212	391	744	1,90	18,3
A2-40	790	40	215	405	767	1,89	16,3
A2-45	800	45	231	421	789	1,87	16,4
A2-50	820	50	250	435	839	1,93	16,1
A2-69	840	69	266	502	914	1,82	15,7
A2-85	860	85	303	592	925	1,56	14,1
A2-89	880	89	361	632	1032	1,63	11,9
A3-50	740	50	328	569	1228	2,16	3,7
A3-62	760	62	350	588	1318	2,24	4,3
A3-76	780	76	381	675	1393	2,06	5,8
A3-86	800	86	429	719	1486	2,07	7,7
A3-96	820	96	434	815	1597	1,96	8,9
A4-74	740	74	511	649	1257	1,94	1,8
A4-80	750	80	521	728	1389	1,91	0,6

Se observó que tanto la dureza como el límite 0,2% y la resistencia aumentaron con el porcentaje de martensita y, para una determinada fracción de martensita, aumentaron con el contenido de carbono. El alargamiento a rotura disminuyó con el contenido de carbono. Dicho alargamiento disminuyó con el porcentaje de martensita,

excepto para el acero A3, para el cual el alargamiento aumentó con la fracción de martensita. La relación entre tensiones (Rm/Rp_{0,2}) presentó valores máximos entre 40 y 60% de martensita. Los mayores valores se obtuvieron para el material A3.

En la literatura se reporta que la mejor combinación de propiedades se obtiene habitualmente para fracciones de martensita de alrededor del 50%. Para dicha fracción de martensita, la dureza, el límite 0,2% y la resistencia a la tracción aumentan con el contenido de carbono del material, mientras que el alargamiento presenta un máximo (16-18%) entre 0,10 y 0,15%C (Fig. 3).

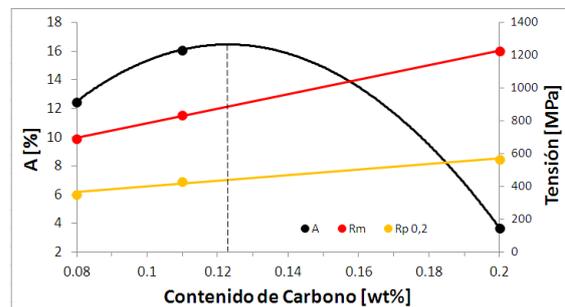


Figura 3: Alargamiento, resistencia y límite proporcional 0,2 de las muestras con M = 50%.

En la Fig. 4 se muestran las superficies de fractura de las probetas de tracción de A2-50 y A3-50.

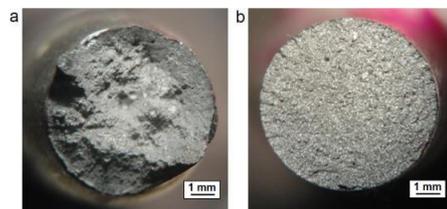


Figura 4: Superficies de fractura de las muestras: a - A2-50; b - A3-50.

Puede verse que la muestra A2-50 presenta una superficie de fractura dúctil, y para la muestra A3-50 la fractura es del tipo frágil, evidenciando la fuerte influencia del contenido de carbono sobre la ductilidad y el comportamiento a la fractura de los aceros DP.

CONCLUSIONES

Se obtiene una buena combinación de propiedades mecánicas (R_{0,2}=450 MPa, R_m=850 MPa, A=16%) en aceros DP con contenido de carbono entre 0,1 y 0,15% y 50% de martensita. Se observó que en aceros DP con contenidos de carbono bajos (0,08 y 0,11%C), la fracción en volumen de martensita tiene una mayor influencia sobre el alargamiento a rotura, por su menor contenido de carbono al aumentar la fracción. Lo contrario sucede en aceros DP con 0,20%C.