



Experiencia Didáctica en el Laboratorio de Materiales del Centro de Asimilación Tecnológica de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

M. Pineda Becerril⁽¹⁾, A. Aguilar Márquez⁽¹⁾, J. Axotla García⁽¹⁾, F. León Rodríguez⁽²⁾, O. García León⁽¹⁾

*(1) Dpto. de Matemáticas. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM
mnazarethp@hotmail.com, armandoa@unam.mx*

*(2) Dpto. de Química. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM
fridam@unam.mx*

Resumen

Consideramos que hacer uso de diferentes estrategias metodológicas promueve la aceptación por parte de los estudiantes de utilizar métodos distintos a los tradicionalmente utilizados, es por ello que resulta de mayor importancia desarrollar los cursos de materiales, presentando aplicaciones a asignaturas del área profesional que paralelamente estén cursando los estudiantes. En este contexto se seleccionó un grupo de estudiantes que cursaban ciencia de los materiales y también la materia de diseño experimental, a los que se les planteó el problema de determinar cuales serían las condiciones de un tratamiento de temple para un determinado tipo de acero, que permita aumentar su dureza y determinar ésta en todo el rango experimental, es decir modelar su respuesta.

Se les solicitó que antes de realizar cualquier prueba, indicaran las variables de interés para alcanzar el resultado óptimo, propusieron los materiales y métodos a utilizar a fin de que los resultados sean válidos. De acuerdo al conocimiento generado en clase, los alumnos determinaron fácilmente que las variables de interés eran el tiempo de permanencia del acero en la mufla, que debería estar entre 5 y 35 horas y la temperatura debería estar entre 300 y 1050°C, por lo que decidieron realizar el trabajo experimental a 4 niveles de tiempo (5, 15, 25 y 35 horas) y 4 niveles de temperatura (300, 550, 800 y 1050°C), por lo que se tuvieron 16 puntos experimentales y decidieron repetir tres veces cada tratamiento experimental para cada uno de los puntos, con la finalidad de poder medir la variabilidad experimental, por lo cual se prepararon 48 probetas. La secuencia de prueba en el durómetro Vickers fue al azar, para repartir en forma aleatoria la variación experimental. A partir de los 16 puntos experimentales, se realizaron ajustes polinomiales para conocer la respuesta en todo el rango experimental. Dentro de los aspectos relevantes producto de la experiencia resalta el hecho de que los estudiantes consideran haber realizado un trabajo con mayor profundidad y claridad en comparación de las ocasiones cuando habían resuelto prácticas solamente demostrativas; ya que entre ellos pudieron resolver la mayor parte de sus dudas y retroalimentar cada uno de los conceptos incluidos en la misma.

1. INTRODUCCIÓN

La Ciencia de los Materiales se ocupa principalmente de las propiedades, clasificación, procesamiento y usos de las diversas manifestaciones de la materia en el Universo. El comportamiento de los materiales queda definido por su estructura, a nivel microscópico, la estructura electrónica de un átomo determina la naturaleza de los enlaces atómicos que a su vez contribuye a fijar las propiedades de un material dado. En forma general, las propiedades se separan para su estudio en dos grandes ramas: propiedades físicas y propiedades mecánicas dentro de las propiedades mecánicas se encuentra la dureza, que consistente en la dificultad que existe para rayar o crear marcas en la superficie mediante micropenetración de una punta. La prueba de dureza se utiliza ampliamente para inspección y control. Para obtener la dureza de un material existen diferentes ensayos, como, Brinell, Rockwell, Knoop y Vickers. En el presente trabajo los alumnos propusieron trabajar con durezas Vickers.

La denominación duplex se aplica a un tipo de acero inoxidable, cuya composición química ha sido cuidadosamente ajustada para lograr una estructura cristalina mixta, de aproximadamente mitad de fase ferrita y mitad de fase austenita. Desde finales de la década de los ochentas, los aceros inoxidables duplex se han fabricado porque con ellos se ha logrado obtener una resistencia mecánica superior a las que se consigue con las aleaciones de ferrita y austenita [5]. En las aplicaciones industriales, utilizar aceros duplex implica necesitar menores espesores en comparación a los requeridos al usar otros materiales, lo cual se traduce en ahorro y disminución de costos. Ya que los aceros inoxidables son de gran importancia en la industria y además se han realizado diferentes estudios relacionados con las propiedades mecánicas de este acero, es importante contar con modelos consistentes que nos permitan predecir con cierto grado de exactitud las diferentes propiedades mecánicas del material sujeto a diferentes condiciones durante el tratamiento térmico de templeado.

Un modelo es el que nos permite predecir la respuesta del material para diferentes condiciones de temple. Contar con un modelo que describa las propiedades mecánicas del material es de gran utilidad, ya que permite conocer la respuesta de éste, en todo el intervalo experimental estudiado, no únicamente en las condiciones tiempo-temperatura fijadas en el estudio y permite determinar las regiones óptimas y críticas para cada propiedad mecánica de interés.

Describir el cambio de la propiedad mecánica en el intervalo experimental de tiempo temperatura por aproximación polinomial da como resultado una superficie de respuesta la cual permite conocer el comportamiento del material en todo el intervalo experimental y en todas las diferentes combinaciones tiempo-temperatura.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL.

La experimentación se realizó siguiendo un diseño factorial 4×4 . Los factores a estudiar fueron, el tiempo y la temperatura en cuatro niveles cada uno de ellos. Las temperaturas se fijaron en 300, 550, 800 y 1050°C, y los tiempos de tratamiento fueron 5, 15, 25 y 35 horas. Tanto los niveles de temperatura como los del tiempo se planeó estuvieran igualmente espaciados con el fin de poder calcular polinomios ortogonales que permitan modelar la superficie de respuesta. Las distintas combinaciones tiempo-temperatura fueron los 16 tratamientos a estudiar y se asignaron 3 probetas en forma completamente al azar a cada uno de ellos. Todas las probetas fueron numeradas, con el fin de facilitar su identificación.

Se prepararon 48 probetas de acero inoxidable Duplex (Werkstoff 1.4462), de 6 mm de altura, 5 mm de ancho y 43 mm de largo. La composición química del acero estudiado fue la siguiente: C 0.03%, Mn 2.0%, Si 1.0%, P 0.03%, Cr 21.0-23.0%, Ni 4.5-6.5 % y Mo 2.5%

El tratamiento térmico se realizó en mufla. Las probetas se colocaron en contenedores, los cuales se rellenaron de grafito, con el fin de que éstas no sufrieran decarburación. Se controló la temperatura de la mufla hasta alcanzar el nivel deseado. Una vez estabilizada la temperatura, se introdujeron las probetas en sus contenedores y se dejaron el tiempo establecido. Transcurrido éste, las probetas se retiraron de la mufla y se colocaron en un contenedor con agua para realizar el choque térmico y lograr el temple. El ensayo se realizó en un Durometro Amsler Otto Wolper modelo D-6700. Se aplicaron 10 penetraciones a las probetas, las medidas obtenidas se convirtieron en dureza Vickers. Se obtuvo la media de las penetraciones, y estas se manejaron para realizar los análisis estadísticos de dureza. El orden en el cual las probetas se rompieron, fue totalmente al azar, con el fin de aleatorizar el error experimental.

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Dureza

Al realizar el análisis de la varianza los alumnos detectaron como efecto significativo del tiempo, de la temperatura y de la interacción tiempo x temperatura sobre el material. Como se detecta interacción, éste efecto es el importante a analizar.

Factores	gl	SC	CM	F	
Tiempo	3	704.5	234.8333333	3.20	*
tl	1	623.13483	623.13483	8.50	*
tq	1	28.86101	28.86101	0.39	n.s.
tc	1	52.50961	52.50961	0.72	n.s.
Temperatura	3	51434.6	17144.8667	233.84	*
Tl	1	117.152	117.152	1.60	n.s.
Tq	1	10761.634	10761.6341	146.78	*
Tc	1	40555.8401	40555.8401	553.14	*
Tiempo×Temperatura	9	6242.4	693.600	9.46	*
tl×Tl	1	9.2576	9.2576	0.13	n.s.
tl×Tq	1	2971.1621	2971.1621	40.52	*
tl×Tc	1	2714.4192	2714.419	37.02	*
tq×Tl	1	42.5884	42.5884	0.58	n.s.
tq×Tq	1	125.6474	125.6474	1.71	n.s.
tq×Tc	1	319.0120	319.0120	4.35	*
tc×Tl	1	30.2419	30.2419	0.41	n.s.
tc×Tq	1	4.7096	4.7096	0.06	n.s.
tc×Tc	1	25.3171	25.3171	0.35	n.s.
Error	32	2346.2	73.3188		
Total	47	60727.7			

Tabla 1. Análisis de la Varianza para la dureza.

Para obtener la superficie de respuesta se tomaron en cuenta los términos significativos que resultaron ser el lineal del tiempo, el cuadrático y cúbico de la temperatura, y los términos de interacción de efecto lineal del tiempo x efecto cuadrático de la temperatura, efecto lineal del tiempo x efecto cúbico de la temperatura y el efecto cuadrático del tiempo x el efecto cúbico de la temperatura y obtuvo la siguiente ecuación (1), donde T esta en grados centígrados y t en horas.

$$\begin{aligned}
 \text{Dureza} = & 32.0058t - 0.9880T - 0.8133 \times 10^{-6} T^3 + 0.0003179tT^2 - 0.1861tT \\
 & - 0.1625 \times 10^{-6} tT^3 - 0.5430t^2 + 0.2459 \times 10^{-8} t^3 T^3 - 0.4980 \times 10^{-5} t^2 T^2 + 0.00304t^2 T \\
 & + 0.001632T^2 + 7456.83
 \end{aligned} \tag{1}$$

La superficie de respuesta queda definida por la ecuación anterior y se muestra gráficamente en la figura 1.

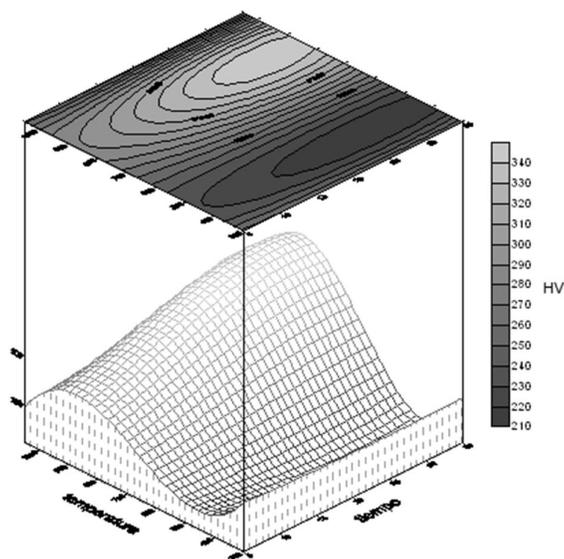


Figura 1. Superficie de respuesta de la dureza.

La superficie de respuesta muestra que en las temperaturas de la región entre 760 y 920°C con tiempos de tratamientos mayores de 19 horas se obtienen los valores máximos de la dureza. La región donde se localizan los valores menores de la dureza se encuentra en las

temperaturas de 360 y 500°C con tiempos mayores de 15 horas. En las temperaturas bajas de tratamiento para cualquier tiempo se observa una disminución de la dureza.

La superficie de respuesta nos muestra que si sometemos el material a temperaturas altas a cualquier tiempo, se obtienen valores de dureza bajos, debido a que el material se hace dúctil y blando porque crece el tamaño de la austenita en relación con la ferrita.

4. CONCLUSIONES

El desarrollar el tema de diseño factorial de esta manera fue una experiencia integradora de los conocimientos de estadística y de ciencia de materiales, alcanzándose los siguientes objetivos:

- El estudiante comprendió que es necesario utilizar métodos de diseño experimental para hacer más eficiente su trabajo experimental.
- El estudiante entendió la importancia de utilizar métodos estadísticos para el análisis objetivo de sus datos experimentales de tal manera que sus conclusiones tengan validez.
- El estudiante apreció la gran importancia que tiene la modelación de la respuesta para conocer la propiedad de interés en todo el rango experimental.
- El estudiante comprendió que las matemáticas se aplican y que auxilian de manera eficiente su trabajo profesional y de ninguna manera son una colección de conocimientos aislados.

5. REFERENCIAS

- [1] Askeland D. R. Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Thomson International 2005
- [2] Box, George E. P. Estadística para investigadores: Introducción al diseño de experimentos, análisis de datos y construcción de modelos, Reverte 2008
- [3] Montgomery D. Diseño y Análisis de Experimentos, Editorial Limusa S.A. De C.V.; 2da edición 2005
- [4] Peña D. Regresión y diseño de experimentos, Alianza 2007
- [5] Shackelford F. J. Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros, Pearson Educacion 2006
- [6] Incharruza Zabala Adrian. Aceros inoxidables y aceros resistentes al calor. Limusa. México D.F. 1981.