

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/311326707>

# Estructura cristalina del acero AISI 1045 deformado plásticamente.

Article · October 2008

CITATIONS

2

READS

200

1 author:



**Tomás Fernández Columbié**

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez

40 PUBLICATIONS 22 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Caracterización del acero 70XL empleado en la fabricación de bolas para la molienda del clinker [View project](#)



Design oriented to fracture of austenitic stainless steel [View project](#)

**TITULO:** Estructura cristalina del acero AISI 1045 deformado plásticamente.

**TITLE:** Crystalline structures of the steel AISI 1045 deformed plastically.

**AUTORES:**

MSc. Tomás Fernández Columbié(1)

MSc Isnel Rodríguez González(1)

Ing. Dayanis Alcántara Borges

**PAÍS:** Cuba

**RESUMEN:**

Se abordó el comportamiento microestructural del acero AISI 1045 endurecido mediante la Deformación Plástica Superficial por rodillo, Se establece el mecanismo de endurecimiento del acero por el deslizamiento de los granos en la red cristalina y se demuestra el fenómeno de la acritud, la cual es producto del tensionamiento de los granos cuando el material es sometido al tensionamiento de su estructura cristalina. Se establece el procedimiento experimental realizado después que las probetas fueron sometidas al proceso de deformación.

**PALABRAS CLAVES:** MICROESTRUCTURA, DEFORMACIÓN PLÁSTICA, RODADURA, DESLIZAMIENTO, ACRITUD, ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL.

**ABSTRACT**

The microstructural behavior of AISI 1045 steel hardened by the plastic superficial deformation of a roller is discussed herein, as well as the hardening mechanism of steel through the slide of the grains in the space lattice, and the demonstration the phenomenon of asperity, which is a product of the grains' strain when the material is subject to the strain of its crystalline structure. The experimental procedure carried out became established after the test tubes were submitted to the process of deformation.

**KEY WORDS:** MICROSTRUCTURE, PLASTIC DEFORMATION, ROLLING, SLIDING, ASPERITY, SUPERFICIAL HARDENING.

**INTRODUCCIÓN**

La deformación plástica se efectúa por el movimiento de las dislocaciones, es un proceso de desplazamiento de una parte del cristal con respecto a otra; por ejemplo dentro del cristal, un par de dislocaciones en movimiento genera centenares de nuevas dislocaciones y como resultado de esto la densidad de dichas dislocaciones aumenta, lo que ocasiona el endurecimiento, se producen además importantes variaciones en la estructura del metal como es la deformación de la red cristalina y la reorientación de los granos en la dirección de la deformación; el mismo pasa de forma equiaxial a tener ejes desiguales (alargados y aplastados) (Smelyanky, 2001; Niberk, 1987).

Badiola, 2004 y Lubriner, 1986, plantean que en la teoría de las dislocaciones se conoce que la deformación plástica en materiales dúctiles a baja temperatura es resultado del movimiento de las dislocaciones por deslizamiento bajo la acción de la tensión aplicada. Este mecanismo de deformación se define como deslizamiento cristalográfico y consiste en el deslizamiento de un plano de átomos sobre otro. Las dislocaciones se crean en un campo de red cúbica deformada. La energía de la red cristalina se caracteriza por el llamado vector de Burgers.

Guliaev, 1989; Pero-Sanz, 2003; Moreno, 2003, coinciden en plantear que la mayoría de los metales elementales alrededor del 90 % cristalizan en tres estructuras cristalinas densamente empaquetadas: cúbica centrada en el cuerpo (BCC), cúbica centrada en las caras (FCC) y hexagonal compacta (HCP). La estructura HCP es una modificación más densa de la estructura cristalina hexagonal sencilla. La mayor parte de los metales cristalizadas en esas estructuras densamente empaquetadas debido a que se libera energía a medida que los átomos se aproximan y se enlazan cada vez más estrechamente entre sí. De este modo, dichas estructuras densamente empaquetadas se encuentran en disposiciones u ordenamientos de energía cada vez más baja y estable.

La magnitud de la deformación plástica, depende de la restricción a que es sometido el material deformado plásticamente (granos con acritud) por el metal que lo rodea, y que permanece en estado elástico (granos indicadores). El nivel de tensionamiento del metal que no ha sido deformado plásticamente, lo caracterizan las tensiones residuales de primer género (Barret, 1989; Cullity, 1967). Es por ello que la magnitud de las tensiones residuales, después de la deformación plástica, serán un indicador del estado tensional de la pieza durante la primera etapa de la destrucción denominada Período de Iniciación de la Grieta (Key to Steel, 2002). Las tensiones mecánicas ejercidas sobre la zona de la superficie de la pieza durante el rodillado, conducen a una modificación sostenida del estado de tensión residual. Por muy complejo que resulte el proceso de la deformación plástica, siempre puede descomponerse éste en un conjunto de subprocesos u operaciones elementales, que analizadas aisladamente pueden dar luz sobre el desarrollo del proceso complejo.

Los procesos deformacionales que tienen lugar en microirregularidades de las superficies en contacto están en dependencia de las presiones que se originen en las áreas reales de contacto. Si el valor de estas presiones no alcanza el límite de fluencia del material más blando las deformaciones que predominan son elásticas y el mecanismo de desgaste predominante es el de fatiga superficial. Por otro lado, el desgaste por deslizamiento tiene una gran relevancia sobre el mecanismo de desgaste por fatiga de contacto por rodadura, ya que un aumento en el porcentaje de deslizamiento/rodadura puede causar una mayor pérdida de masa de las superficies en contacto (Bhushan, 2001, Clayton, 1996).

El acero AISI 1045 puede lograr unificar las propiedades de resistencia al desgaste (Díaz, 2005) en consecuencia constituye el material idóneo para garantizar la asignación de servicio de piezas de maquinarias, el mismo es un

material con facilidad de conformar su costo de producción es bajo y ofrece buenas condiciones de trabajo al desgaste y la fatiga este endurece por deformación plástica, no obstante en las condiciones en que se ofertan en el mercado dichos elementos fabricados de este material, no se garantiza la dureza requerida antes de su puesta en explotación (Várela, 2003). Este trabajo tiene el objetivo establecer el comportamiento microestructural, del acero al carbono AISI 1045, sometidos a deformación plástica por rodadura en elementos circulares.

## MATERIALES Y METODOS.

Se escogió un diseño de experimento factorial completo (Gutierrez; De la Vara, 2003), con dos variables y tres niveles. Este método de planificación estadística de la investigación, establece el número de ensayos (N) a realizar. Se desarrolló un tratamiento de las variables involucradas en el proceso, considerándose las más importantes las que aparecen reflejadas en la tabla. 2.1.

Parámetros	Símbolo	Niveles		
		Min.	Medio	Máx.
Fuerza (N)	P	500	1 500	2 500
Número de revoluciones.	n	27	54	110
Avance (mm/rev)	S	0,075	0,125	0,25
Diámetro del rodillo (mm)	50			

**Tabla 2.1. Parámetros de entrada del experimento.**

El número de experimento cuando intervienen k factores con tres niveles cada uno (-1, y +1), se determina con un arreglo de la función exponencial:  $N = 3^k$   
Donde:

N = Número de experimentos.

K = Número de factores.

En este caso, se analizará la influencia de dos factores, de aquí que  $k = 2$  luego, el número de experimento sería:  $N = 3^2 = 9$  experimentos.

**Preparación metalográfica de la probeta.** Las superficies de las muestras a investigar deben ser previamente pulidas para poder realizar la observación microscópica, por lo que se propone la realización de un conjunto de operaciones que permitan lograr la calidad superficial deseada. Las operaciones se resumen en el siguiente orden, según la norma NC 10-56:86 y ASTM E3-95.

**Corte.** Las muestras para la observación metalográfica con diámetro 30 mm y espesor de 3 mm se prepararon según norma ASTM E 3-95. Se realizó con una cuchilla Sandvik, código del vástago CNGA R 25 25 M 12, con una plaquita T-MAX-CUT 12 04 12 de calidad T 025 20 (SANDVIK Coromant KoroKey, 1996).

La probeta se tronzó con una longitud de 10 mm al aire, con abundante

refrigeración, con el objetivo de lograr una rugosidad superficial con la mejor calidad posible.

**Desbaste y pulido.** Se realizó con el empleo de la máquina pulidora y papeles abrasivos del tipo No 180, 400 y 600 (ISO 9001), variando la granulometría del mismo al ser aplicadas a la pieza de trabajo, desde la más gruesa a la más fina, montando la lija sobre una placa de vidrio, cambiando el sentido del lijado 90°, por último las muestras se pasaron en una pulidora metalográfica marca MONTASUPAL, para lograr el acabado final, en ella se utilizó un paño de fieltro grueso usando como sustancia abrasiva el óxido de cromo.

**Ataque químico:** Se realizó con el objetivo de resaltar la estructura obtenida después de realizado el pulido, para observar la estructura metalográfica formada después de la deformación del material bajo carga por rodadura (ASTM E-262-Practice A). Para este ataque químico se utilizó Nital al 4 %. El Nital al 4%, resalta los diversos constituyentes estructurales y el contorno de los granos del acero AISI 1045. Pone en manifiesto las uniones de los granos de ferrita, la perlita se ennegrece y la cementita se mantiene blanca.

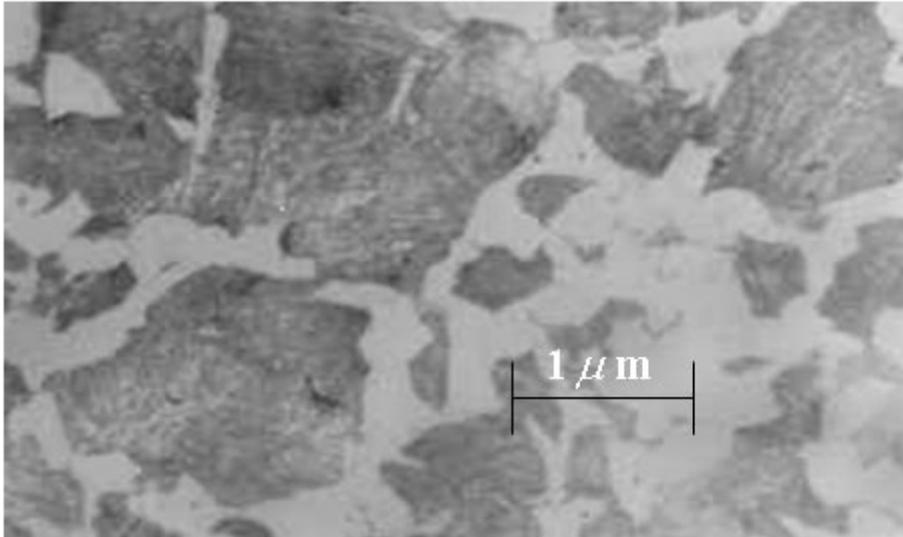
**Análisis microestructural.** Para la observación de la microestructura de la probeta patrón, la cual se empleará para la comparación de las micrografías obtenidas, se empleó un microscopio óptico binocular marca ?OMO METAN P1, este está dotado con un portaobjetos giratorio e iluminador vertical Watson. La observación se realiza empleando distintas combinaciones de objetivo y ocular para obtener las imágenes más precisas. Las probetas se montan en un dispositivo con plastilina que permite una nivelación adecuada. Para procesar la información se utilizó una cámara fotográfica digital marca CONCORD, modelo EYE-Q4363Z, con memoria de 4 MEGAPIXELS.

## RESULTADOS DEL TRABAJO

### Análisis Metalográfico.

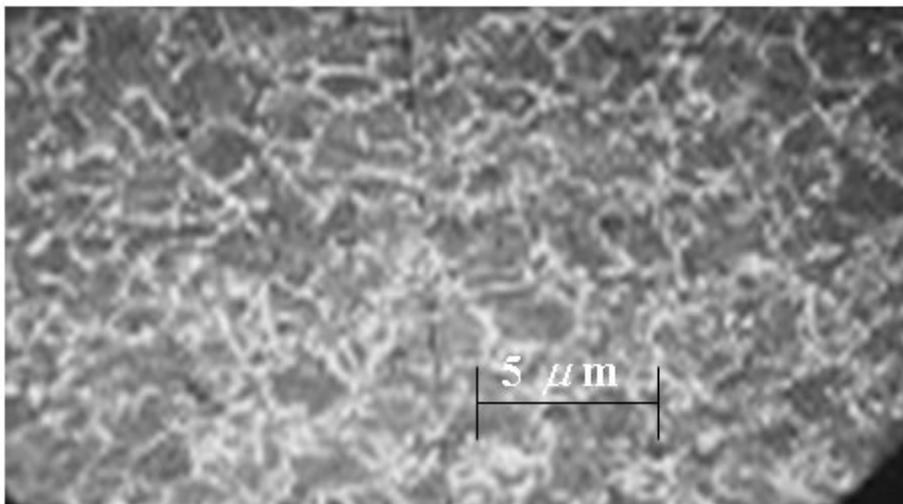
El análisis metalográfico consistió en la observación e identificación de las características de la estructura metalográfica en probetas de acero AISI 1045. Se realizó la micrografía de todas las probetas antes de aplicar la carga (figura1) y posterior a esta.

Se analizará el comportamiento en correspondencia con el diseño de experimento, desde el valor mínimo hasta el máximo.



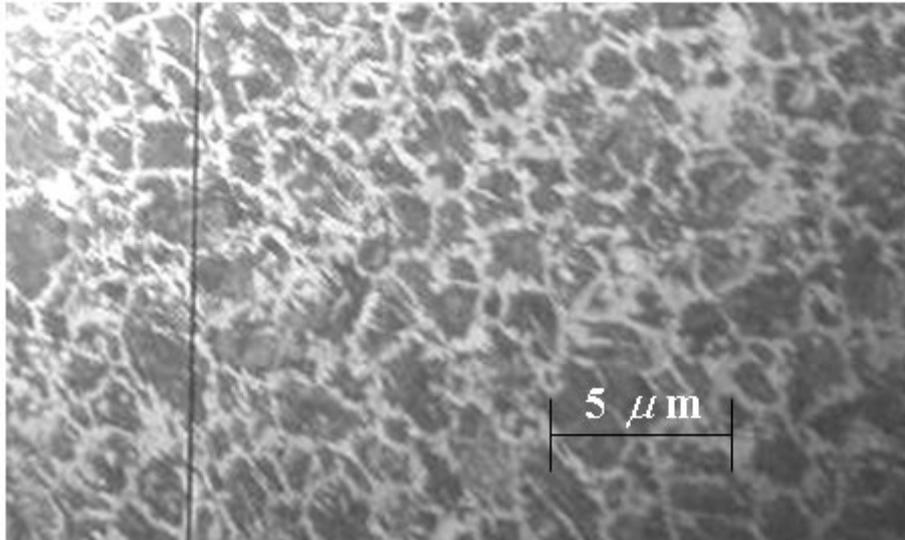
**Figura 1: Muestra del centro, sin deformación y sin carga a 100 x.**

Al comenzar el proceso (figura 2), en nivel mínimo con valor de la fuerza de 500N, 27 rev/min y avance de 0,25 mm/rev, se observa la deformación de la red cristalina del material con el alargamiento de los granos.



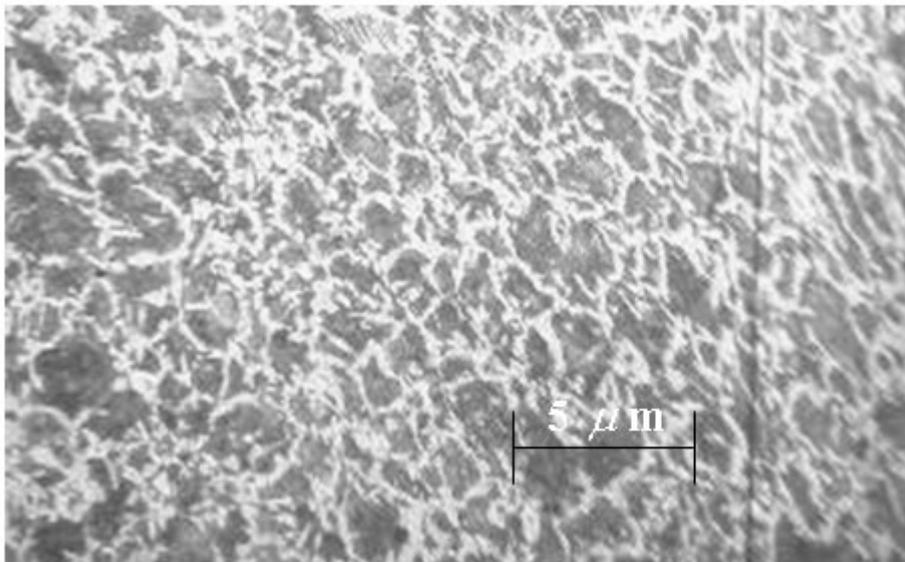
**Figura 2: Muestra de los bordes, deformadas y con una fuerza aplicada de 500N a 500 x**

En el nivel intermedio, en iguales condiciones de operación pero aplicando una fuerza fue de 1500N, 54 rev/min y avance de 0,125 mm/rev. Se observa mayor agrupación de los granos en la red cristalina, producto del deslizamiento (ver figura 3).



**Figura 3: Bordes deformados con una fuerza aplicada de 1500N. 500 X**

En el máximo nivel con valor de la fuerza de 2500N, 110 rev/min y avance de 0,125 mm/rev. se caracteriza por una mayor compactación de los granos, lo cual se produce como resultado del incremento de los valores de las variables  $n$ ,  $S$  y  $P$ .



**Figura 4: Bordes deformados con una fuerza aplicada de 2500N. 500 x**

En las probetas sometidas a deformación, podemos observar una estructura bifásica de ferrita-perlita lo que demuestra que el endurecimiento del acero AISI 1045 por rodadura, ocurre por el fenómeno de las dislocaciones y no por el cambio de fase. Los límites de los granos se hacen más finos en la medida que se va incrementando la fuerza que se introduce a través de la herramienta de deformar, se observa el deslizamiento en los granos.

Después de someter a las probetas a la acción de cargas por rodadura, se notan vestigios de deformación plástica, con bloques de la estructura en

mosaico divididos en pequeñas proporciones y una deformación clara de la red cristalina, típico del fenómeno de la acritud. Las micrografías mostradas con un aumento del microscopio (500x) corresponden a los diferentes niveles en la que fueron deformadas. En la tabla 3.1 se puede observar el incremento de la dureza según el grado de deformación a la que fueron sometidas las probetas.

Niveles	Respuestas			Salidas		
	n(rev/min)	P(N)	S(mm/rev)	H(HV)		
Nivel superior(+1)	27	2 500	0,25	HV1	HV2	HV3
Nivel medio( $\Delta$ )	54	1 500	0,125			
Nivel inferior(-1)	110	500	0,075			
Número de ensayo						
1	27	500	0,25	205	210	224
2	27	1500	0,125	212	224	226
3	27	2500	0,075	214	248	232
4	54	500	0,25	218	244	248
5	54	1500	0,125	215	248	255
6	54	2500	0,075	225	237	254
7	110	500	0,25	220	239	257
8	110	1500	0,125	224	235	253
9	110	2500	0,075	226	237	258

**Tabla 3.1. Comportamiento de la dureza en correspondencia con el grado de deformación.**

Como se aprecia, la capacidad de endurecimiento (H) tiene un comportamiento creciente en la misma medida que se incrementan los valores de las variables del proceso de experimentación (n; S, y P), al incrementar las tensiones de compresión surge un estado tensional que deforma el acero, incrementando su dureza final, de esta forma se reducen los niveles de desgaste mejorando el comportamiento del material en correspondencia con el mecanismo de endurecimiento.

## CONCLUSIONES

1. Los resultados del análisis metalográfico, revelan en las muestras deformadas de acero AISI 1045 una estructura de ferrita-perlítica, antes y después del tratamiento con rodadura. No se detectó la presencia de aparición de nuevas fases por el trabajo de compresión dinámica. Se comprobó la reducción del tamaño del grano.
2. La ocurrencia del endurecimiento a través del mecanismo de deslizamiento se produce a consecuencia del tensionamiento de la estructura cristalina de la red, la reducción del tamaño promedio de los granos y el aumento de la acritud.
3. La Deformación Plástica Superficial por rodillo ocurre por el desplazamiento o dislocación de los cristales al desplazarse uno sobre otro, provocando una división dentro de los granos producto de la fuerza externa que actúa sobre el material.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Ariza M. P.; Ortiz M. Una teoría discreta de dislocaciones en redes cristalinas. Sevilla: Universidad: Dpto. Mecánica de medios continuos. [Documento en Línea] [http://scala.uc3m.es/MANS/Pilar\\_Ariza.pdf](http://scala.uc3m.es/MANS/Pilar_Ariza.pdf). [28 feb. 2006.].
2. Badiola, V. Métodos de consolidación de superficies planas. **Boletín de Construcción Mecánica** (España) 3:42-44, 2004.
3. Barret, C. Estructura de los metales. 1. ed. Madrid: Editorial Aguilar, 1957. 838 p.
4. Bhushan, B. Gupta B. K. Handbook of tribology. **En: Mechanics Metallurgical** New York: McGraw-Hill, 2001. p.. 127-145 (Charter 2)
5. Cullity, B. D. Elements of X – Ray Diffraction. Australia: University of Notre Dame: Department of Metallurgical Engineering and Materials Science. La Habana: Instituto Cubano del Libro: Ediciones Revolucionarias, 1967. 514 p.
6. Díaz, S.; Robert, T. Efecto del bruñido por rodillo simple en el acero AISI 1045 **Tecnología y Desarrollo: Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica** (México) 7 (2): jul.-sep., 2005.
7. Guliaev, A. Metalografía. Moscú. Editorial Mir, 1983. t. 1.
8. Key To Steel: fracture toughness. [Documento en línea] <http://www.key-to-steel.com/> [Consultado: 15 abr. 2003].
9. Lubliner, J. Plasticity theory. California: University of California at Berkeley, 1986. 186 p.
10. Niberk, A. N. Resistencia al desgaste de guías tratadas por rodilado. **Revista Metalmeccánica Internacional** (A. Latina) 5 (2): 25-26, 1987.
11. Pero-Sanz, J. A. Ciencia de los materiales. **En: Metalurgia Física: estructura y propiedades**. 3. ed. España: Editorial DUSSAT, 2003. p. 393-502. (Cap III)
12. Sandvik. Coromant KoroKey: guía de aplicación de herramientas. USA: Editorial, 1996. 343 p.
13. Smelianky, V. M.; Kalpin Y. G.; Barinov V.V. Empleo de las posibilidades plásticas de los metales en la capa superficial de las piezas durante la elaboración por rodilado exterior. **Revista Novedades de la Construcción de Maquinarias** (Moscú) 8: 54-58, 2000.

## DATOS DE LOS AUTORES

### Nombre:

MSc. Tomás Fernández Columbié(1)

MSc Isnel Rodríguez González(1)

Ing. Dayanis Alcántara Borges

### Correo:

[tfernandez@ismm.edu.cu](mailto:tfernandez@ismm.edu.cu)

[irgonzalez@ismm.edu.cu](mailto:irgonzalez@ismm.edu.cu)

[dalcantara@ismm.edu.cu](mailto:dalcantara@ismm.edu.cu)

### Centro de trabajo:

(1) Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín. Las Coloradas s/n, Moa, Holguín, Cuba. CP 83 329. Tel. 53 24 6 4476, Fax. 53 24 6 2290.