

COMPARACION DE ESTADOS SUPERFICIALES DE CHAPAS DE ACERO EN ENSAYOS DE TRACCIÓN Y EN OPERACIONES DE CONFORMADO

Ing. P. V. Traversa **, Ing. L. Iurman *, Ing. J. W. Insausti **, Ing. N. Mazini *, Ing. A. Lucaioli *,
Ing. P. Benedetti **

Universidad Nacional del Sur - * Depto. De Ingeniería - ** Depto. de Física
Avda. Alem 1253 - (8000) - Bahía Blanca - República Argentina
e-mail: pbenedet@criba.edu.ar

Durante la deformación plástica, la superficie de los metales sufre modificaciones debido a la acción de los sistemas de deformación que actúan en los diferentes cristales.

Las modificaciones mencionadas se traducen en una variación de la rugosidad y son muy importantes desde el punto de vista de la calidad superficial de los productos obtenidos por operaciones de conformado de chapas.

Normalmente, el herramental incide en el aspecto superficial ejerciendo una acción de alisado de la superficie de la chapa. Pero en el caso del fondo de recipientes, las superficies externas no sufren esa acción y por lo tanto se pueden comparar con los efectos producidos durante un ensayo de tracción uniaxial.

Es lo que se hace en el presente trabajo, tratando de obtener un método que permita correlacionar deformaciones sufridas en los dos procesos de deformación indicados. Se usan para ello técnicas de rugosimetría convencional y microscopía electrónica.

During plastic deformation, the metals surface undergoes modifications due to the action of deformation systems actuating in different crystals.

These modifications are responsible for a roughness variation and are very important from the surface quality of the final products point of view.

Normally, the tooling influences the surface aspect by a smoothing action of the sheet surface. But in the case of the cup bottoms, the external surfaces are not subjected to that action and can be then compared with the effects produced during an uniaxial tensile test.

In the present work, this is being done, trying to obtain a method able to correlate deformations produced during both deformation processes. To do that, conventional roughness measuring and electronic microscopy techniques are used.

1. INTRODUCCIÓN

Los procesos de conformado plástico de los metales implican la aplicación de diferentes combinaciones de estados de tensiones sobre las piezas que se conforman. Las respuestas del metal a la sollicitación externa varían en función de sus características intrínsecas y del modo de sollicitación. Una forma de analizar el comportamiento del metal durante el proceso de deformación es a través de la evolución de su estado superficial, mediante parámetros que miden la rugosidad.

Durante el conformado de chapas metálicas, el material que se deforma es sometido a estados de tensiones variables y complejos. Estos estados se identifican como proporciones variables de embutido, estirado y doblado⁽¹⁾.

El doblado está prácticamente siempre presente en las operaciones de conformado y básicamente somete a la chapa a una flexión, donde la deformación está muy localizada, y las tensiones varían en el espesor del material, desde un estado de máxima tracción en la superficie externa, a una de compresión en la interior.

En el embutido, la tracción aplicada por un punzón induce esfuerzos de compresión circunferencial en el ala de la pieza, que provocan un aumento en el espesor del material. El estirado, que en general es biaxial, deforma a la chapa con adelgazamiento del espesor de la misma.

Las operaciones de conformado industrial presentan diferentes proporciones de embutido y de estirado.⁽²⁾

Un ensayo representativo del conformado mediante embutido puro es el SWIFT de acopado. En el mismo, se usa un punzón de fondo plano que obliga al material a introducirse en el interior de una matriz, de geometría definida. Una variante de este ensayo, que utiliza un punzón semiesférico, introduce una componente de estirado sobre la cabeza del punzón. Este estirado es función de distintas variables, fundamentalmente geometría del herramental y lubricación entre punzón y chapa.

A mejor lubricación, mayor cantidad de estirado sobre la cabeza del punzón. En la Figura 1 se puede ver un esquema de operación de conformado (a) y de los estados de tensiones actuantes (b).

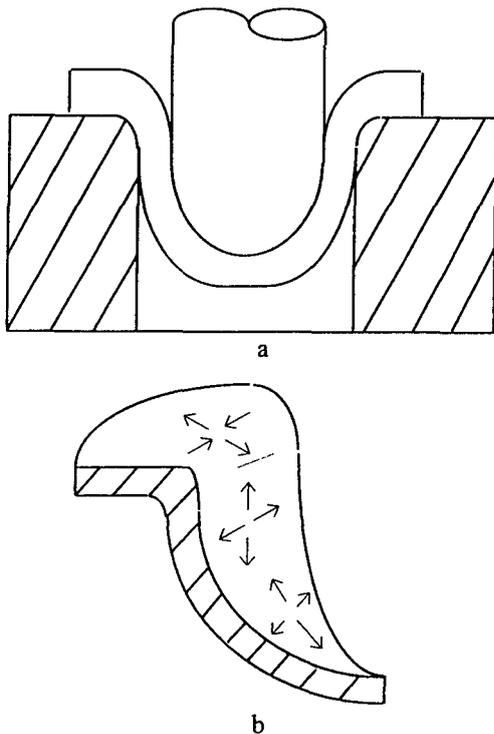


Figura 1

Cuando un metal se deforma plásticamente, lo hace fundamentalmente mediante el mecanismo conocido como deslizamiento. En el mismo, se activan ciertos planos y direcciones cristalinarias, formando sistemas de deslizamiento, que dan lugar a la deformación. Los sistemas que se activan son los que están más favorablemente orientados con respecto a las tensiones aplicadas de modo que en los mismos se alcance la tensión de corte crítica resuelta, característica de cada material⁽³⁾.

En cada grano o cristal metálico, las orientaciones cristalinarias son diferentes, y por lo tanto actuarán distintos sistemas de deslizamiento. Para mantener la continuidad de la pieza metálica, esos sistemas no son cualesquiera, sino que están vinculados entre sí, a los efectos de que la pieza no se rompa⁽⁴⁾.

Una de las hipótesis que se hacen para predecir los sistemas de deslizamiento actuantes en una sollicitación dada, es que cada grano se deforma de modo similar al conjunto de la pieza. Esta hipótesis es sólo parcialmente correcta, y la prueba de ello es que durante la deformación plástica de un metal, la superficie aumenta su rugosidad debido al hecho de que cada grano tiene un comportamiento no exactamente igual al de sus vecinos, y esa deformación no uniforme se traduce en un aumento de la rugosidad superficial. La medición de esta última resulta entonces un método posible de estudio del tipo y cantidad de deformación que puede haber sufrido una pieza metálica⁽⁵⁾.

Es lo que se hizo en este trabajo, para operaciones de conformado de chapas de acero mediante el ensayo SWIFT con punzón semiesférico.

Para ello, se siguió básicamente la evolución de la rugosidad de una chapa de acero durante la deformación

en un ensayo de tracción uniaxial, tal como se suministra en la industria. Se trató de comparar las superficies obtenidas con las de copas embutidas con el proceso indicado.

2. EXPERIENCIAS REALIZADAS Y RESULTADOS OBTENIDOS.

Se utilizaron probetas de tracción y copas embutidas en un trabajo anterior⁽⁶⁾, a partir de una chapa de acero de bajo contenido de carbono de las siguientes características:

Espesor: 0.91 mm.

Dureza: 85 HV5.

Tamaño de grano ASTM: 6 - 7.

Las copas se embutieron a partir de discos de 112.5 mm. de diámetro, en una matriz SWIFT con punzón semiesférico de 50 mm. de diámetro.

La rugosidad se midió con un rugosímetro PRAZIS-03, con palpador inductivo desplazable. Se utilizó en todos los casos una longitud de muestreo L_m de 4.80 mm., con un "cut off" de 0.80 mm. Los parámetros medidos fueron:⁽⁷⁾

$$R_a = \frac{1}{L_m} \int |y| \cdot dx$$

$$R_z = (R_{z1} + R_{z2} + R_{z3} + R_{z4} + R_{z5}) / 5$$

R_t = Distancia de la cresta más alta al valle más profundo en la longitud de muestreo.

R_m = Distancia del valle más profundo a la cresta más alta que toma el mayor valor dentro de los cinco períodos del cut off (L_c) en que se divide la longitud de muestreo.

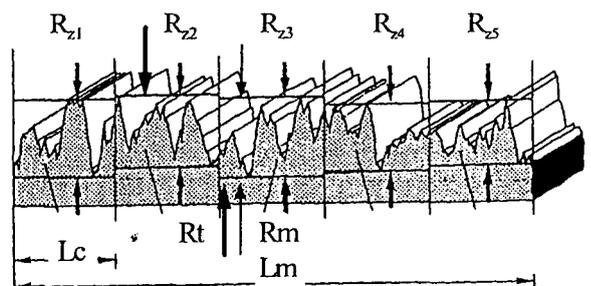


Figura 2

El aspecto superficial se analizó también mediante microscopía electrónica de barrido. A tal efecto, se utilizó un Microscopio electrónico de barrido JEOL - JSM - 3SCF operando con 15 kv. y emisión de electrones secundarios⁽⁸⁾.

El espesor localizado en las copas se midió con el auxilio de un palpador centesimal apoyado en la pared externa, mientras la interna se referenciaba sobre un soporte de punta esférica.

2.1 Evolución de la superficie durante la deformación por tracción uniaxial

Se sometió a probetas planas de 12.5 mm de ancho, a diferentes grados de deformación en una sollicitación uniaxial de tracción. Luego de cada ensayo, se determinaron los valores de los parámetros de la rugosidad y se analizó la superficie mediante microscopía electrónica.

Los resultados obtenidos se indican en la Tabla 1

TABLA 1
CHAPA SIN DEFORMAR

Muestra	Ra	Rz	Rt	Rm	Perfil
P13-3	0.97	5.64	8.34	7.67	Long.
	0.93	5.48	7.19	7.14	Trans.

TABLA 1 (continuación)
CHAPA DEFORMADA 10%

Muestra	Ra	Rz	Rt	Rm	Perfil
P14-2b	1.01	6.00	7.99	7.23	Long.
	0.99	5.78	7.29	7.19	Trans.

CHAPA DEFORMADA 15%

Muestra	Ra	Rz	Rt	Rm	Perfil
P8 1-b	1.03	6.04	8.38	7.89	Long.
	1.05	6.20	7.93	5.83	Trans.

CHAPA DEFORMADA 20%

Muestra	Ra	Rz	Rt	Rm	Perfil
P8 - 2b	1.19	7.03	10.08	9.64	Long.
	1.22	7.60	10.94	9.95	Trans.

La Figura 3 muestra los aspectos superficiales de las probetas indicadas en la Tabla 1.

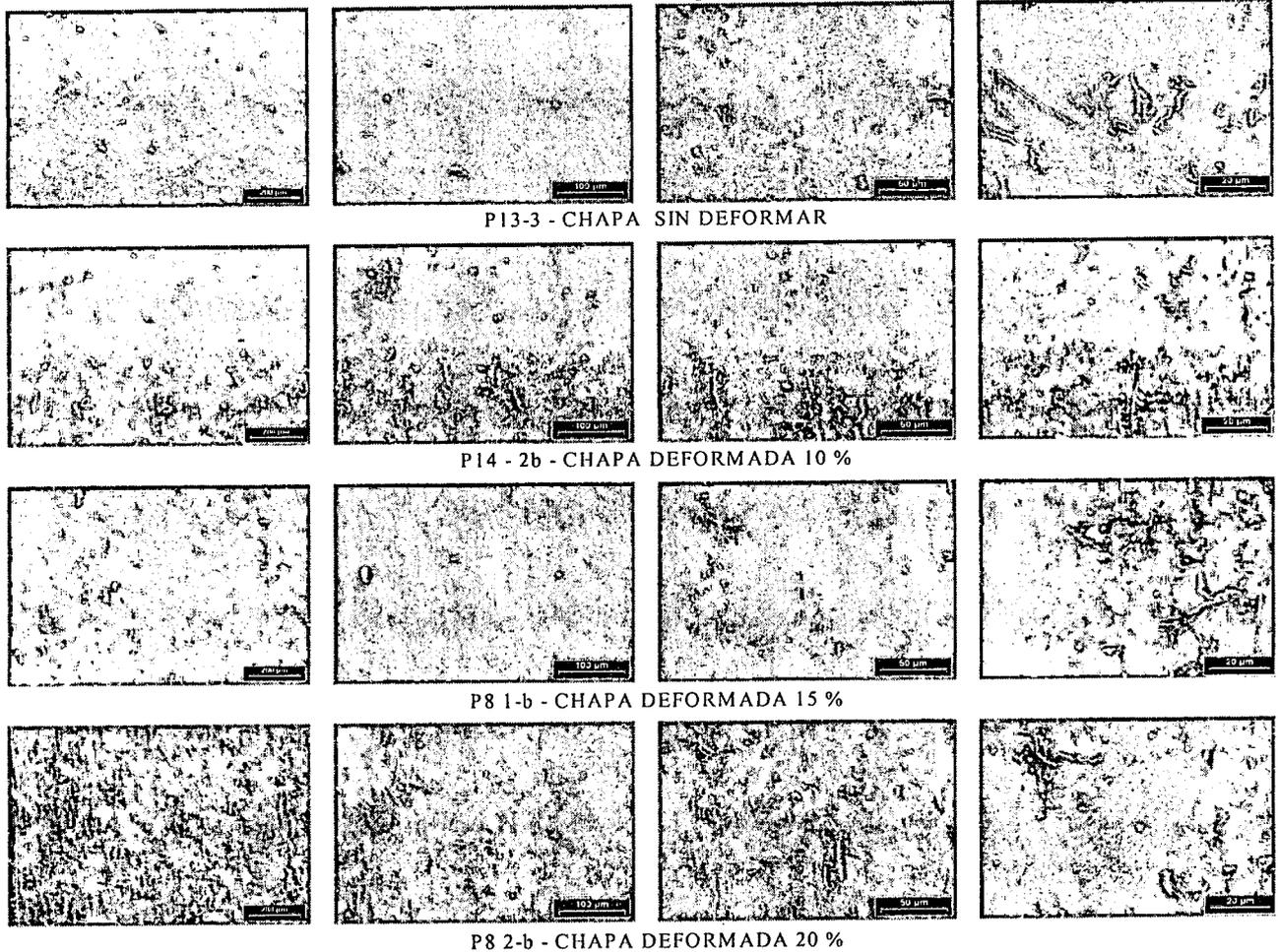


Figura 3

2.2 Análisis de la superficie en diferentes puntos de las copas embutidas

Para analizar el efecto de las variables de proceso en la superficie de las copas embutidas, se tomaron dos muestras, una lubricada con polietileno entre chapa y matriz y la otra con aceite TSD 996 en ambas caras de la

chapa.

Se cortaron tiras de aproximadamente 1 cm. de ancho de las copas, en el sentido de laminación de la chapa original.

Las determinaciones de rugosidad y el análisis por microscopía electrónica de la superficie, se hicieron en los puntos indicados en la Figura 4.

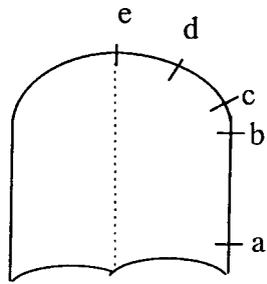


Figura 4

Los valores de parámetros de rugosidad obtenidos se muestran en la Tabla 2. Solamente se consignan los resultados correspondientes a las paredes laterales de las copas, dado que la curvatura del fondo impidió hallar valores repetitivos en dicha área.

TABLA 2

PARED LATERAL - PROBETA LUBRIC. C/ ACEITE

Muestra	Ra	Rz	Rt	Rm	Perfil
A - 8	1.12	6.52	8.54	8.15	Long.
	1.26	8.69	12.9	12.58	Trans

PARED LATERAL - PROBETA LUBRIC. C/ POLIET

Muestra	Ra	Rz	Rt	Rm	Perfil
A - 7	1.57	9.00	11.05	10.39	Long.
	1.69	11.4	15.00	14.38	Trans

Las Figuras 5 y 6 muestran los aspectos superficiales de las paredes en diferentes puntos de las copas embutidas.

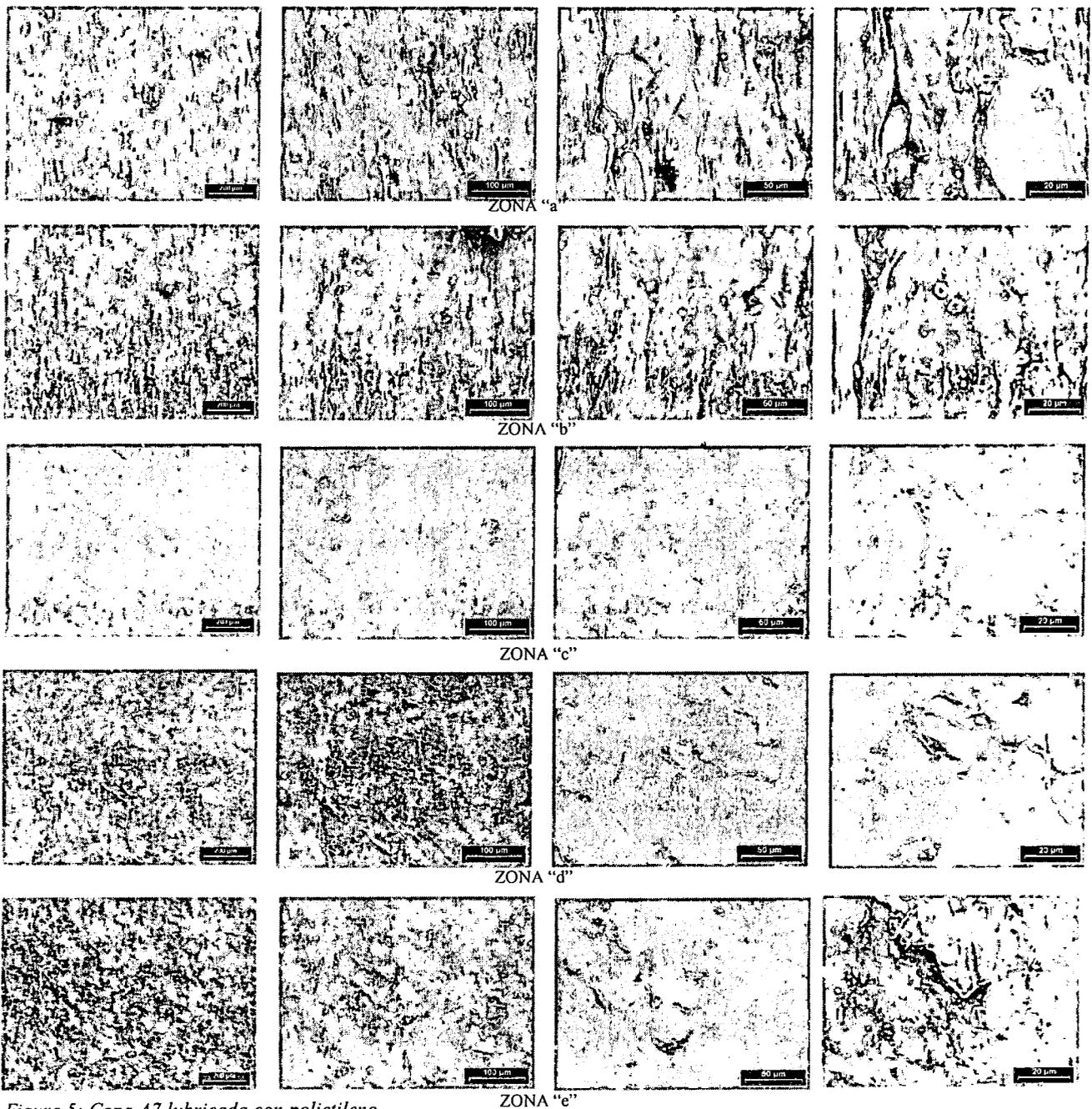


Figura 5: Copa A7 lubricada con polietileno

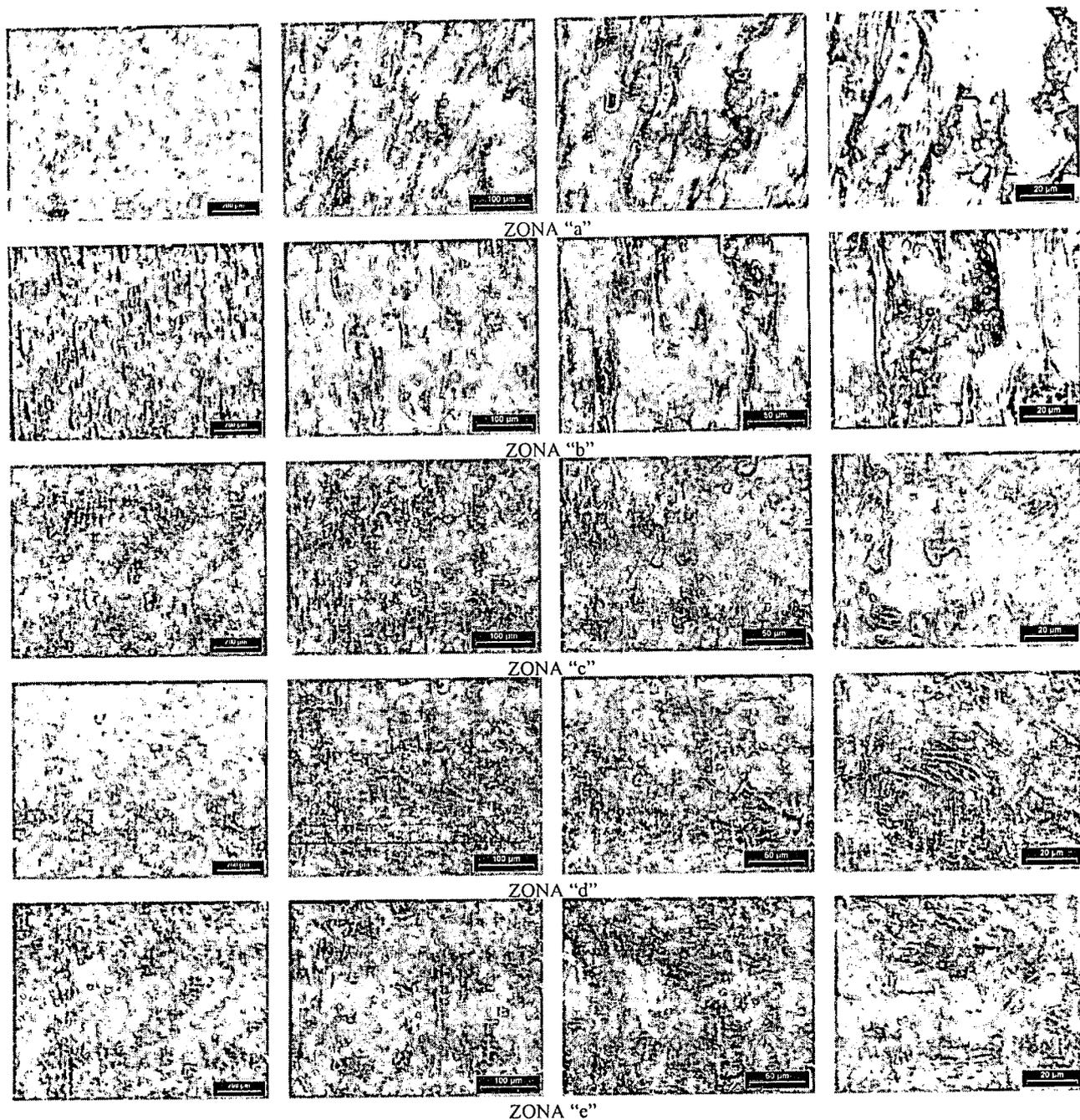


Figura 6: Copa A8 lubricada con aceite

2.3 Variación del espesor en diferentes puntos de las copas embutidas

Mediciones del espesor de pared de las copas realizadas con la técnica descrita, permitieron obtener los siguientes valores:

TABLA 3
Espesor (mm)

Condición de conformado	a	b	c	d	e
Lubricada con polietileno	0.94	0.86	0.85	0.79	0.77
Lubricada con aceite	0.94	0.82	0.80	0.70	0.71

3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

3.1. Evolución de la superficie en la tracción uniaxial.

El análisis de los valores indicados en la Tabla 1 y de las superficies mostradas en la Figura 3, permite indicar que no se aprecian variaciones importantes en el aspecto superficial de la chapa con acabado original hasta deformaciones mayores que el 15% de alargamiento convencional.

El comportamiento observado muestra que la rugosidad inicial impresa durante el proceso de laminación sobre la chapa comercial enmascara el efecto

de deformación disímil que se produce en los diferentes granos metálicos.

Es muy probable que, con un tamaño de grano mayor, este efecto se empiece a notar con deformaciones menores.

3.2 Estados superficiales en diferentes puntos de las copas embutidas

Los valores de parámetros de rugosidad mostrados en la Tabla 2 indican que la rugosidad de la pared lateral de las copas embutidas es mayor cuando se lubrica con polietileno que cuando el lubricante usado es aceite. En este último caso, la separación entre chapa y herramental es parcial y aparece el fenómeno de "planchado" de la superficie, como se puede ver en el estudio realizado con microscopía electrónica (Figura 5).

Por el motivo señalado, no se puede comparar el estado superficial de las paredes de las copas embutidas con aceite con el de las probetas traccionadas, para inferir grados de deformación.

En cambio, en el caso de las copas lubricadas con polietileno, podría establecerse cierto grado de correlación. En efecto, si se observan los valores de los parámetros de rugosidad de la chapa deformada 20%, con los longitudinales de la pared de la copa, es posible inferir que en esa zona la copa ha sufrido deformaciones superiores al 20%, aunque no demasiado mayores, como surge de la comparación de Rz, Rt y Rm.

El análisis del fondo de las copas merece una consideración especial. Es la zona no afectada exteriormente por el herramental, donde la superficie se deforma libremente. Debido a la curvatura de la chapa en ese sitio, no se pudieron obtener valores confiables de los parámetros de rugosidad. Es necesario para ello instalar un dispositivo que permita al palpador del rugosímetro seguir la curvatura de la pieza.

Es lo que se hará en una próxima etapa de la investigación. No se puede, por otra parte, reducir la longitud de muestreo, dado que la misma depende de la rugosidad que presenta la pieza a medir.

La Figura 5 muestra que la superficie del fondo de la copa lubricada con aceite exhibe una rugosidad mayor que la lubricada con polietileno.

Los valores de espesor de pared de los copas indicadas en el punto 2.3, muestran que la copa lubricada con aceite presenta un mayor grado de estirado sobre la cabeza del punzón, puesto de manifiesto por un mayor adelgazamiento del espesor. La máxima deformación en espesor medida es del 26% (logarítmico), comparada con 16% en la copa lubricada con polietileno.

Esta es la causa de la mayor rugosidad observada en el fondo de la copa lubricada con aceite.-

4. CONCLUSIONES

La metodología adoptada para analizar variaciones de estados superficiales de chapas de acero durante la deformación plástica demostró ser apta.

Es necesario perfeccionar el mecanismo de desplazamiento del palpador del rugosímetro para adaptarlo a superficies curvas.

En principio, se puede establecer un grado de correlación entre deformaciones provocadas con diferentes solitudes mecánicas con la rugosidad superficial, aunque este último aspecto debe ser motivo de análisis más exhaustivos.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración brindada por el Ing. Daniel E. Ziegler.

6. REFERENCIAS

1. L. Iurman, A.O. Lucaioli, D. Ziegler, A.R. Saenz Lopez, J.M. Blanco, N.E. Mazini, "Mejoras obtenidas en el conformado de chapas de acero utilizando gradiente térmico", XVI Encuentro de Investigación Metalúrgica y I Congreso de Materiales, Instituto Tecnológico de Saltillo, Octubre, Méjico (1994).
2. N.E., Mazini, L. Iurman, A. R. Saenz Lopez, A.O. Lucaioli, J. M. Blanco, "Parámetros mecánicos que inciden en la estampabilidad de chapas metálicas", ILAFA, Santiago de Chile (1973).
3. G.E. Dieter, "Mechanical Metallurgy", Third Ed., Mc. Graw Hill (1986).
4. S. Barrett, "Estructura de los metales", Ed. Aguilar.
5. M.J. Painter, R. Pearce, "Metal flow through a drawbead", Sheet Metal Industries, 12-19 (1976).
6. A.O. Lucaioli, L. Iurman, N. E. Mazini, G. Bergé, P. Cebreiro, "Influencia de la lubricación sobre el espesor y la rugosidad de copas conformadas con punzón semiesférico", Jornadas SAM 97, Tandil (1997).
7. Leigh Mummery, "Surface Texture Analysis. The Handbook". Hommelwerke GmbH (1990).
8. L. Iurman, P. Traversa, A. O. Lucaioli, P. Benedetti, J. Insausti, D. Ziegler, "Estudio de defectos superficiales de chapas de acero mediante microscopía electrónica", Jornadas SAM 97, Tandil (1997).