

EL PROCESO DE CORTE LASER APLICADO A LA MANUFACTURA DE PROBETAS PLANAS DE TRACCIÓN NORMALIZADAS OBTENIDAS A PARTIR DE CHAPAS FINAS DE ACERO GALVANIZADO

D. Martinez Krahrmer, A. Paredes y G. Maceira.

Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Centro de Investigación y Desarrollo en Mecánica, Casilla de Correo 1650, Miguelete, Provincia de Buenos Aires, Argentina,
e-mail: mkrahrmer@inti.gov.ar , aparedes@inti.gov.ar , maceira@inti.gov.ar.

RESUMEN

El único método aceptado internacionalmente para la manufactura de probetas planas de tracción normalizadas obtenidas a partir de chapas, es el proceso de mecanizado por arranque de viruta [1-2-3], denominado fresado. Sin embargo, en la industria, son el punzonado por control numérico, el corte por láser y el corte por chorro de agua, las tecnologías utilizadas para la fabricación de piezas partiendo de chapas [4].

Con el objeto de mostrar que el proceso de corte por láser es apto para la manufactura de estas probetas, cuando se compara frente al proceso de arranque de viruta, considerado como método de referencia, se estudiaron las condiciones geométrico – dimensionales, las características de las distintas Zonas Afectadas Térmicamente (ZAT) y las propiedades mecánicas (Resistencia a la tracción, límite de fluencia y alargamiento), de probetas normalizadas construidas por ambos métodos.

Los resultados de la comparación ponen en evidencia que, mayoritariamente, las diferencias observadas, están comprendidas en las incertidumbres resultantes del ensayo. Además, aunque el corte por láser produce una superficie de corte con una rugosidad superficial superior y genera una zona ZAT, estos cambios no afectan significativamente los resultados numéricos de los ensayos.

Palabras claves: Corte por láser, probetas planas de tracción, ensayo de tracción, chapas finas galvanizadas.

1. INTRODUCCIÓN

El corte por láser aplicado industrialmente a metales, comenzó a principios de los años 80 y está posicionado hoy como una de las principales alternativas para el corte de la chapa. Presenta las siguientes propiedades:

- Adaptable a una variada gama de materiales (Metálicos y no metálicos).
- Alto grado de automatización, incluyendo setup cero de máquina.
- Permite por su flexibilidad ser empleado en la manufactura de pequeñas series o piezas complejas.
- Posibilidad de obtener piezas terminadas con un sólo proceso.
- La inexistencia de esfuerzos permite que la carga y descarga de material sea simple y rápida.
- Alta velocidad de producción.
- El proceso no requiere la utilización de herramienta sujeto a desgaste.
- El material se corta independientemente de su dureza y no necesita ser conductor.

- Es posible obtener cortes limpios y en escuadra (Cuando se trabaja con chapas planas), con una rugosidad media aritmética R_a normalmente menor a $6\mu\text{m}$.
- Las piezas cortadas no presentan distorsión y la precisión del proceso se sitúa dentro de $\pm 0.1\text{mm}$.
- El espesor de la zona ZAT no supera generalmente los $0,25\text{mm}$.

Si bien existen una amplia variedad de fuentes láser, es la de dióxido de carbono (CO_2) desarrollada por K. Patel en 1964 [5], la que más ha evolucionado hasta convertirse en la de mayor aplicación industrial. Esta fuente asistida por una corriente gaseosa constituye la tecnología Laser Beam Torch [6].

La asistencia gaseosa puede ser con oxígeno (O_2) para provocar una reacción exotérmica que acelere el proceso o con un gas inerte como el nitrógeno (N_2), que produce superficies de corte brillante sin oxidación. Estos gases ayudan a la remoción del material vaporizado y a la protección de los elementos ópticos de focalización-conducción del haz.

El corte por láser se produce por la absorción de la energía del rayo. El comportamiento frente a la absorción es función del material y de su estado superficial, de la longitud de onda del láser y de la temperatura (La absorción aumenta drásticamente al alcanzar la temperatura de fusión del material).

La conductividad térmica y la reflectancia del material juegan un papel muy importante. Si el calor se difunde rápidamente (Oro, plata, cobre), el corte se ve dificultado [7]. Lo mismo sucede con materiales muy reflectantes (Aluminio), que requieren el empleo de elevadas potencias.

Este proceso, aplicable al corte de aceros estructurales, hasta espesores de unos 20mm, se presenta como una alternativa para la fabricación de probetas planas de tracción obtenidas a partir de chapas finas, según lo establecido por la norma IRAM-IAS U500-102 Parte III. [3].

No obstante, como la eliminación del material se produce por vaporización del contorno de las probetas, el cambio de las características metalúrgicas podría afectar sus propiedades mecánicas.

La bibliografía consultada indica que la influencia térmica es despreciable [7] (Las alteraciones metalúrgicas se producen sobre el contorno del corte, dependen del espesor del material a cortar y la ZAT no excedería los 0,25mm). Además las chapas estudiadas son de muy bajo tenor de carbono (< 0,06%), por lo que no debieran producirse cambios metalúrgicos significativos, salvo se produjera una interacción del gas de asistencia, facilitada por la temperatura alcanzada en la zona de corte (Según el proveedor de corte láser, el gas de asistencia utilizado fue nitrógeno). Estas evidencias permiten presuponer que los cambios en las propiedades mecánicas de probetas obtenidas partiendo de una misma chapa por fresado y corte láser, se ubicarían dentro de la incertidumbre resultante del ensayo, validando una nueva tecnología para la manufactura de estas probetas.

Además, como el proceso láser produce sobre el perímetro de corte, características superficiales que le son propias, se presentarán las rugosidades resultantes (Se comparan con las alcanzadas por fresado) como así también, las características de las diferentes zonas ZAT.

2. OBJETIVOS

- Comparar las propiedades mecánicas de probetas obtenidas por fresado y corte láser.
- Validar el método de corte láser como una alternativa para la manufactura de dichas probetas.
- Evaluar la terminación superficial obtenidas por ambos métodos de fabricación.
- Presentar las características de las zonas ZAT según el espesor de la chapa.

3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3.1 Materiales y diseño del experimento

Las muestras para los ensayos fueron extraídas de chapas finas de acero galvanizado correspondientes a 5 espesores diferentes, comprendidos en el intervalo de 0,5 a 3mm. La extracción de las probetas se realizó según la norma IRAM-IAS U500-214 [8].

En la tabla I se da el listado correspondiente a la composición química de las chapas (% en peso), según el espesor promedio (mm) sin revestimiento (Los porcentajes de Ti, V, Mo; Ni y Cr resultaron $\leq 0,003\%$ en todos los casos).

Tabla I.

Espesor	C	Mn	S	P	Si	Al	Cu	N
0,54	0,05	0,22	0,013	0,01	0,028	0,045	0,03	---
0,89	0,06	0,22	0,013	0,011	0,026	0,03	0,12	0,05
1,49	0,06	0,31	0,009	0,02	0,032	0,035	0,04	---
2,01	0,06	0,24	0,006	0,007	0,031	0,031	0,14	---
2,73	0,06	0,21	0,006	0,008	0,027	0,025	0,04	---

La dimensión inicial aproximada de las chapas fue 1220mm (ancho) x 500mm (longitud).

En primer lugar se obtuvieron las probetas cortadas por láser (Se extrajeron paralelas a la dirección de laminación de la chapa = dimensión menor), resultando por cada espesor 6 probetas o un total de 30 cuando se consideran los 5 espesores (Las dimensiones y especificaciones de fabricación, se detallan en 3.2). Posteriormente se obtuvo igual número de probetas mecanizadas.

Para el control dimensional de las probetas se utilizó un calibre digital centesimal Etalon, para la medición de rugosidad un rugosímetro Taylor-Hobson Surtronic 3+, las microdurezas se tomaron con un durómetro Karl Frank con penetrador Knoop, las observaciones metalográficas se efectuaron en un microscopio Olympus M02 y fueron ensayadas en una máquina de tracción universal Shimadzu modelo UH-1000 KNA.

3.2 Muestra

Las especificaciones geométricas de las probetas responden a IRAM-IAS U500-102 parte III [3].

La hoja de fabricación para las construidas por corte láser corresponde a la Fig. 1.

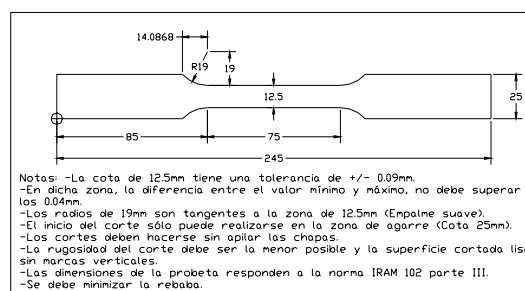


Fig. 1: Hoja de fabricación de probeta plana de tracción normalizada.

Las probetas planas de tracción fresadas se elaboraron en un Centro de Mecanizado con husillo horizontal Kearney & Trecker MM200 comandado por un control numérico Allen & Bradley

Las cortadas por láser, se construyeron en un Centro de Corte Láser marca Bystronic.

3.3 Procedimiento de ensayo y resultados

3.3.1 Dimensional

Para evaluar la capacidad de manufactura de cada proceso de fabricación (Fresado y corte por láser), se midió el ancho de las probetas en la zona calibrada (Cota nominal 12,5mm).

En la Tabla II se presentan los anchos medidos promedios (Amp) en mm y los errores de forma máximos (Efm) resultantes en mm, de la zona calibrada de 12,5mm nominal, en función del espesor promedio (mm) de la chapa sin revestir y el tipo de proceso.

Tabla II

Espesor	Probetas mecanizadas		Probetas cortadas por láser	
	Amp	Efm	Amp	Efm
0,54	12,53	0,01	12,54	0,02
0,89	12,54	0,01	12,49	0,02
1,49	12,54	0,02	12,51	0,03
2,01	12,54	0,02	12,53	0,03
2,73	12,53	0,02	12,58	0,02

3.3.2 Rugosidad superficial de la zona de corte

Con el objeto de caracterizar la terminación superficial obtenida en la superficie de corte de las probetas, se midió la rugosidad media aritmética Ra y la rugosidad total Rt (Parámetros Lc = 0,8mm; Ln = 4mm).

En la Tabla III se presentan los valores de Ra promedio y sus incertidumbres asociadas U promedio, en función del espesor promedio (mm) de la chapa y el tipo de proceso.

Tabla III

Espesor	Probetas fresadas		Probetas cortadas por láser	
	Ra (μm)	U(μm)	Ra(μm)	U(μm)
0,54	1,2	0,21	2,25	0,54
0,89	1,19	0,07	3,34	0,2
1,49	1,25	0,08	4,47	0,15
2,01	1,2	0,14	2,19	0,19
2,73	1,11	0,13	1,89	0,28

Del mismo modo, en la Tabla IV se presentan los valores correspondientes a Rt promedio y sus incertidumbres asociadas U promedio.

Tabla IV

Espesor	Probetas fresadas		Probetas cortadas por láser	
	Rt (μm)	U(μm)	Rt(μm)	U(μm)
0,54	9,44	2,4	17,37	3
0,89	9,23	1,2	23,42	2,2
1,49	9,15	0,95	32,04	0,6
2,01	9,54	1	18,03	2
2,73	8,91	1,1	15,02	1,6

(Todas las probetas cortadas por láser presentaron al examen visual, superficies de corte brillante, sin signos de oxidación).

3.3.3 Microdureza Knoop y espesor zona ZAT de las probetas cortadas por láser

Se tomaron perfiles de microdureza Vickers en probetas metalográficas obtenidas a partir de secciones transversales a la zona calibrada de las probetas planas de tracción (Carga = 980 mN) de todos los espesores.

La existencia de un importante gradiente de dureza en la zona ZAT, producía improntas muy deformadas según la diagonal perpendicular a la superficie de corte, debiendo optarse por la microdureza Knoop (HK) con igual carga.

En la tabla V se presentan los valores promedios de dureza HK en el núcleo, el porcentaje de incremento máximo de dureza HK en la zona ZAT respecto del núcleo (δ HK máx.) y el espesor (μm) de la zona ZAT, en función del espesor promedio (mm) de la chapa sin revestir (En la Fig. 2 se observa un perfil obtenido de microdureza Knoop).

Tabla V

Espesor	HKnúcleo	δ HK máx.	Esp. ZAT (μm)
0,54	264	+47%	40
0,89	225	+67%	50
1,49	244	+75%	70
2,01	220	+89%	70
2,73	199	+95%	130

Dureza Knoop (Hk) Chapa 1,49mm

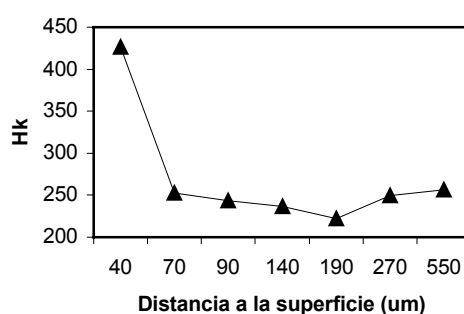


Fig.2: Perfil típico de microdureza Knoop para una probeta cortada por láser.

3.3.4 Observación metalográfica

Los tamaños de grano corresponden según ASTM E112 a tamaños 9-10, tanto para el núcleo cuanto para la zona ZAT, en todos los espesores de chapa estudiados.

La microestructura correspondiente al núcleo es ferrita de grano equiaxial, y en la zona ZAT se evidencian dos constituyentes (Fig.3): ferrita equiaxial y un nuevo microconstituyente, que examinado hasta 1000 X, no parece ser perlita laminar (Las microestructuras descritas se manifiestan de igual forma, en todos los espesores de chapa analizados).

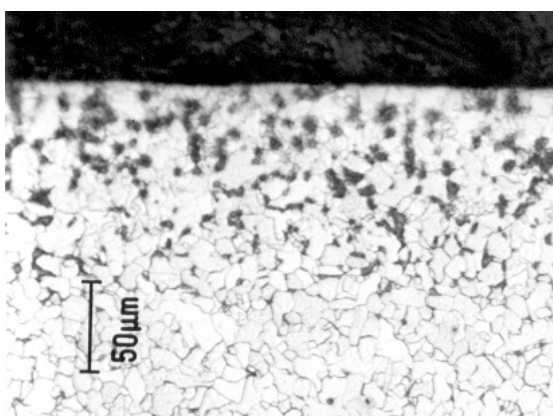


Fig. 3: Fotomicrografía (200 X) zona ZAT de probeta cortada por láser (2,01mm de espesor promedio).

3.3.5 Propiedades mecánicas

Se ensayó cada probeta a tracción, resultando 3 propiedades mecánicas asociadas: Resistencia a la tracción (Rm), límite de fluencia (Re) y alargamiento (A).

Las condiciones generales del método de ensayo de tracción son las establecidas por la norma IRAM-IAS U500-102 parte I [9] (El laboratorio que realizó los ensayos de tracción tiene acreditación de UKAS y OAA).

En las tablas VI, VII y VIII se presentan los valores correspondientes promedios con su incertidumbre asociada U, en función del espesor promedio (mm) de la chapa sin revestir y el tipo de proceso.

Tabla VI

Espesor	Probetas mecanizadas		Probetas cortadas por láser	
	Rm(Mpa)	U(Mpa)	Rm(Mpa)	U(Mpa)
0,54	427,6	6,5	420	7,6
0,89	428,7	1,7	427	0,8
1,49	414,7	1,5	415,2	1,9
2,01	418,1	2,1	418,9	2
2,73	399,6	0,8	408,8	2,6

Tabla VII

Espesor	Probetas mecanizadas		Probetas cortadas por láser	
	Re(Mpa)	U(Mpa)	Re(Mpa)	U(Mpa)
0,54	400	15,1	379,2	16,8
0,89	380,6	8,6	378,3	9,5
1,49	346,3	3,3	349,8	4,8
2,01	343,8	5,2	343,5	4,1
2,73	325,1	4,2	324,1	2,6

Tabla VIII

Espesor	Probetas mecanizadas		Probetas cortadas por láser	
	A(%)	U(%)	A(%)	U(%)
0,54	32,9	1,4	32,8	1,4
0,89	32,9	1,3	32,1	1,9
1,49	38	0,8	36,4	1,6
2,01	33,4	1,6	33,6	1,3
2,73	36,5	0,7	36,0	1,1

4. DISCUSION

4.1 Dimensional

Ambos procesos cumplen los requerimientos dimensionales de la norma IRAM-IAS U500-102 parte III [3], esto es, la tolerancia en el ancho (Ningún valor medido excedió los límites tolerados) y el error de forma (El valor máximo encontrado fue de 0,03mm).

4.2 Rugosidad superficial de la zona de corte

La rugosidad media aritmética Ra de las superficies cortadas por láser son superiores y presentan un rango más amplio en todo el espectro de espesores, respecto de las probetas fresadas. Mientras que para las probetas mecanizadas va de 1,11 a 1,25µm en promedio, para las cortadas por láser, el rango se extiende entre 1,89 a 4,47µm.

Las incertidumbres asociadas consideradas en forma porcentual, son de magnitud similar.

Los valores obtenidos para la rugosidad total Rt muestran la misma tendencia, con un rango de 15,02 a 32,04µm (8,91 a 9,54µm para las fresadas) Para ambos procesos de manufactura, las mayores incertidumbres asociadas corresponden a la chapa de menor espesor.

4.3 Microdureza Knoop y espesor zona ZAT de las probetas cortadas por láser

Tanto el porcentaje de incremento de la microdureza Knoop respecto del núcleo, como el espesor de la zona ZAT aumentan conforme se incrementa el espesor de la chapa cortada.

4.4 Observación metalográfica

La zona ZAT presenta un tamaño de grano similar al del núcleo de la chapa.

4.5 Propiedades mecánicas

Analizados los valores correspondientes a las 3 propiedades mecánicas, en todo el rango de espesores, se observa que el 80% de los resultados obtenidos en probetas cortadas por láser, se hallan dentro del intervalo resultante para las cortadas por arranque de viruta. Este valor asciende al 87%, cuando se considera la incertidumbre máxima obtenida en todo el rango de espesores.

Las incertidumbres asociadas a las probetas obtenidas por corte láser son ligeramente superiores.

5. CONCLUSIONES

Se ha demostrado que el proceso de corte por láser es apto para la manufactura de probetas planas de tracción normalizadas obtenidas a partir de chapas finas de acero galvanizado, por cuanto las probetas obtenidas por este método cumplen las exigencias dimensionales de la norma IRAM-IAS U500-102 parte III y los resultados inherentes a las propiedades mecánicas, se hallan mayoritariamente comprendidos dentro de la incertidumbre asociada a los ensayos de tracción realizados.

Por otra parte, el proceso de corte por láser produce un contorno con una rugosidad superficial superior a la obtenida por arranque de viruta y genera una zona ZAT.

Además, si bien la ZAT no supera en ningún caso los 130µm de espesor, provoca cambios en la microestructura que en los casos estudiados producen un incremento de dureza no menor al 47% respecto a la encontrada en el núcleo.

Se observó también, que el tamaño de grano, no es alterado por el proceso de corte láser.

Asimismo, existen dos evidencias que indicarían que el corte fue realizado con asistencia de un gas inerte como el nitrógeno, pues las superficies de las probetas cortadas por láser son brillantes sin oxidación y examinadas hasta 1000X, en ningún caso se observa perlita laminar en la zona ZAT.

Finalmente, a pesar de las modificaciones citadas producidas por el proceso de corte láser, estos cambios no afectan significativamente los resultados numéricos de los ensayos de tracción.

6. REFERENCIAS

1. BS EN 10002-1:2001, Metallic Materials – Tensile Testing. Part 1: Method of Test at Ambient Temperature, September 2001, p. 34.
2. ASTM E 8M-00b, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, February 2001, p. 2-3.
3. IRAM-IAS U500-102 Parte III, Chapas y flejes finos de acero, Método de ensayo de tracción, Junio de 1987, p. 4.
4. Anónimo, Metalurgia y electricidad, 655 (1993) 92-95.
5. García Zayas J., Novamaquina, 148 (1989) 95-118.
6. Machinability Data Center, Machining Data Handbook, Third edition, Metcut Research Associates Inc., Cincinnati, 1980, p. 12-71.
7. Fischer R., Máquinas y equipos, 400 (1993) 76-79.
8. IRAM-IAS U500-214, Chapas y bobinas de acero al carbono y de baja aleación, de calidad estructural, cincadas o de aleación cinc-hierro por el proceso continuo de inmersión en caliente, Abril de 2001, p. 13 y 15.
9. IRAM-IAS U500-102 Parte I, Método de ensayo de tracción de productos de acero. Condiciones Generales, Junio de 1987.

AGRADECIMIENTOS

A Siderar, que facilitó los materiales de ensayo, a Oxpane Láser que proveyó el servicio de corte láser y al laboratorio de Metalografía de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora, que prestó sus instalaciones.