

PROCESOS DE CORTE ALTERNATIVOS APLICADOS A LA MANUFACTURA DE PROBETAS PLANAS DE TRACCIÓN OBTENIDAS A PARTIR DE CHAPAS FINAS DE ACERO GALVANIZADAS

D. Martinez Krahmer^a

^a Centro de Investigación y Desarrollo en Mecánica - Instituto Nacional de Tecnología Industrial – Avenida General Paz 5445 - Buenos Aires - Argentina. Email: mkrahmer@inti.gov.ar

RESUMEN

El único método aceptado internacionalmente para la manufactura de probetas planas de tracción normalizadas obtenidas a partir de chapas finas, es el proceso de mecanizado denominado fresado [1,2,3].

Sin embargo, en la industria metalmecánica, son el corte por láser, el corte por chorro de agua con abrasivos, el punzonado con matriz cortante convencional y el punzonado de control numérico, las tecnologías de corte empleadas para la fabricación de piezas obtenidas a partir de chapas [4].

También es factible el uso de la electroerosión por hilo, ya que a pesar de su bajo índice de remoción de material, es posible realizar cortes apilando las chapas y el proceso puede operar en forma continua sin atención humana.

El empleo del fresado para la construcción de estas probetas, implica una serie de dificultades, fundamentalmente: Demanda la construcción de un dispositivo especial de sujeción, por cada tipo de probeta; previo al mecanizado deben cortarse sectores aproximados a partir de las chapas a evaluar, por cizallado, aserrado o punzonado en matriz cortante convencional; para llevar las probetas a la forma deseada debe recorrerse el perfil varias veces durante el corte; la fabricación de estas probetas insume tiempos de preparación y mecanizado elevados, y dependiendo del tipo de máquina empleada, es difícil cumplir con la tolerancia de forma (conicidad existente en la zona calibrada de la probeta de tracción).

Los procesos de corte empleados en la industria para trabajar la chapa, que de ahora en más llamaremos no normalizados, solucionan de alguna manera los inconvenientes citados: ninguno de ellos requiere dispositivos de sujeción especiales (es más, salvo en la electroerosión por hilo, en los restantes se lleva a la máquina directamente la chapa a cortar); con excepción del punzonado CNC que hace uso de herramientas para realizar los cortes, los demás métodos poseen una “herramienta de corte” universal (un haz de luz en el láser, un chorro de agua y un alambre en la electroerosión por hilo); en todos los casos el contorno de la probeta se recorre una sola vez; los tiempos de preparación son reducidos, mientras los de corte también lo son con la salvedad de la electroerosión por hilo (para disminuirlo, el corte de todas las probetas se efectúa de manera simultánea mecanizando un paquete); y finalmente la tolerancia de forma se logra con facilidad, salvo en el punzonado CNC.

Todas estas circunstancias indicarían la posibilidad del empleo de los métodos no normalizados, aunque debe evaluarse en cada uno, que las modificaciones que introduzcan sobre el perímetro de corte (cambio de la ductilidad), no afecten las propiedades mecánicas de las probetas.

Por ello, con el objeto de evaluarlos, se realizaron sucesivamente cuatro trabajos de investigación [5,6,7,8] y en cada uno de ellos, se construyeron probetas normalizadas por fresado, considerado método de referencia, y por cada método no normalizado, a partir de las mismas chapas finas de acero galvanizadas.

En este trabajo final sobre procesos de corte no normalizados aplicados a la manufactura de probetas planas de tracción, se presentan algunos datos no comentados en los cuatro trabajos previos: la zona de inicio y los tipos de fractura, los costos relativos al fresado, y se analizan además, los puntos a favor y en contra de estos métodos para ser utilizados para el destino indicado.

Se repasan y comparan los resultados referidos a las condiciones geométrico-dimensionales de las probetas, la rugosidad y aspecto superficial de los perímetros cortados, los estudios metalográficos de dichos contornos, así como las propiedades mecánicas de probetas fresadas respecto de las probetas cortadas por los métodos no normalizados.

Se concluye que el método de corte por chorro de agua con cabezal inclinable constituye la mejor alternativa, mientras la electroerosión por hilo es una muy buena alternativa al fresado aunque a un costo mayor. Respecto del corte láser debe ser empleado con recaudos dado que modifica la dureza del contorno, pudiendo alterar las propiedades mecánicas del material en estudio. En tanto, el punzonado CNC debe ser descartado dado que endurece el perímetro por deformación en frío, reduciendo su ductilidad, modificando la zona de inicio de fractura, adelantando la misma y disminuyendo el alargamiento porcentual de rotura.

Palabras clave: Fresado, láser, chorro de agua, electroerosión, punzonado, probetas, tracción, chapas.

1. INTRODUCCIÓN

El único método aceptado internacionalmente para la manufactura de probetas planas de tracción normalizadas obtenidas a partir de chapas finas, es el proceso de mecanizado denominado fresado [1,2,3].

Sin embargo, en la industria metalmeccánica, son el corte por láser, el corte por chorro de agua con abrasivos (denominado en inglés Abrasive Water Jet Cutting o AWJC), el punzonado con matriz cortante convencional y el punzonado de control numérico, las tecnologías de corte empleadas para la fabricación de piezas obtenidas a partir de chapas [4].

Adicionalmente, es también factible el uso de la electroerosión por hilo (denominado en inglés Wire Electric Discharge Machining o WEDM), ya que a pesar de su bajo índice de remoción de material, es posible realizar cortes apilando las chapas y el proceso puede operar en forma continua sin atención humana.

El empleo del fresado para la construcción de estas probetas, implica las siguientes dificultades:

- Demanda la construcción de un dispositivo especial de sujeción, por cada tipo de probeta (las probetas normalizadas presentan variaciones en la forma y sus dimensiones).
- Requiere el empleo de fresas con dimensiones acordes con la geometría de la probeta a cortar.
- Previo al mecanizado deben cortarse sectores aproximados a partir de las chapas a evaluar, por cizallado, aserrado o punzonado en matriz cortante convencional.
- Para llevar las probetas a la forma deseada debe recorrerse el perfil varias veces durante el corte.
- Como las probetas se mecanizan en paquetes, el espesor máximo del mismo viene determinado por la longitud del filo de la herramienta de corte (para espesores superiores a 10 mm se emplean necesariamente fresas de acero rápido), y su esbeltez.
- La fabricación de estas probetas insume tiempos de preparación y mecanizado elevados.
- Dependiendo del tipo de máquina empleada, es difícil cumplir con la tolerancia de forma (conicidad existente en la zona calibrada de la probeta de tracción).

Los procesos de corte empleados en la industria para trabajar la chapa, que de ahora en más llamaremos no normalizados, solucionan de alguna manera los inconvenientes citados: ninguno de ellos requiere dispositivos de sujeción especiales (es más, salvo en la electroerosión por

hilo, en los restantes se lleva a la máquina directamente la chapa a cortar); con excepción del punzonado CNC que hace uso de herramientas para realizar los cortes, los demás métodos poseen una "herramienta de corte" universal (un haz de luz en el láser, un chorro de agua en el AWJC y un alambre en la electroerosión por hilo); en todos los casos el contorno de la probeta se recorre una sola vez; los tiempos de preparación son reducidos, mientras los de corte también lo son con la salvedad de la electroerosión por hilo (para disminuirlo, el corte de todas las probetas se efectúa de manera simultánea mecanizando un paquete); y finalmente la tolerancia de forma se logra con facilidad, salvo en el punzonado CNC.

Todas estas circunstancias indicarían la posibilidad del empleo de los métodos no normalizados, aunque debe evaluarse en cada uno de los procesos, que las modificaciones que introduzcan sobre el perímetro de corte (cambio de la ductilidad), no afecten las propiedades mecánicas de las probetas.

Por ello, con el objeto de evaluarlos, se realizaron sucesivamente cuatro trabajos de investigación [5,6,7,8] y en cada uno de ellos, se construyeron probetas normalizadas por fresado, considerado método de referencia, y por cada método no normalizado, a partir de las mismas chapas finas de acero galvanizadas.

2. NORMALIZACION

Tanto la norma Argentina IRAM-IAS U500-102 Parte III [3], como las normas internacionales BS EN 10002-1 Part 1 [1] y ASTM E 8M-00b [2], que entre otros ensayos se refieren a los ensayos de tracción de probetas planas obtenidas a partir de chapas finas, establecen una serie de requisitos geométricos (medidas de las probetas y discrepancias en el ancho) y el modo de preparación de dichas probetas.

Basándonos en la norma IRAM-IAS U500-102 Parte III, "Chapas y flejes finos de acero, Método de ensayo de tracción", se analizará el significado de los citados requisitos para una probeta de tracción tipo 3 (como todas las construidas) que posee un ancho nominal b en la zona calibrada de 12,5mm:

- Discrepancia de mecanizado = $\pm 0,09$ mm. Esto es, que el rango admisible para el ancho nominal de 12,5mm es de 12,41mm hasta 12,59mm inclusive.
- Discrepancia de forma = 0,04mm. Esto es, que la máxima conicidad admisible en la longitud calibrada L_c sea de 0,04mm.
- Modo de preparación = mecanizado (fresado). La indicación respecto de emplear mecanizado para la fabricación de las probetas se debe a que este, no produce modificaciones metalúrgicas en el perímetro de corte, que afecten su ductilidad.

Es evidente que cualquier método de corte no normalizado, para ser aceptado como método alternativo, debe producir probetas que cumplan los requisitos geométricos citados y además, no tiene que modificar la ductilidad del perímetros de dichas probetas.

Una manera de evaluar sus posibilidades de aplicación consiste entonces en trabajar con no menos de 3 espesores de chapa en el rango de 0,5 a 3mm de espesor, obtener de dichas chapas, probetas fresadas y construidas por el método no normalizado, evaluar su geometría, para luego determinar las propiedades mecánicas y compararlas en forma estadística (ANOVA o T-test), para determinar si los promedios de cada una de las propiedades mecánicas resultantes, poseen o no diferencias significativas entre sí.

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.1 Materiales y procesos

Las probetas planas de tracción se extrajeron según IRAM-IAS U500-214 [9], a partir de chapas finas de acero galvanizadas de bajo carbono ($\cong 0,04$ a $0,06\%C$), correspondientes a no menos de 3 espesores, comprendidos en el intervalo 0,5 a 3mm. La dimensión aproximada de las chapas fue 1000 mm (ancho) x 500 mm. Algunos de los espesores nominales empleados fueron de 0,5; 0,9; 1,5; 1,6; 2; 2,5 y 2,7mm.

En primer lugar se obtuvieron las probetas cortadas por el método de corte a evaluar paralelas a la dirección de laminación[9], a razón de no menos de 4 probetas por espesor (las dimensiones y especificaciones de fabricación, se detallan en el apartado muestra). Posteriormente se construyeron las muestras fresadas totalizando un conjunto de entre 24 a 40 probetas, por cada trabajo de investigación.

Para evaluar la capacidad de manufactura geométrico-dimensional de probetas planas de tracción de cada uno de los procesos estudiados, se midió el ancho en la zona calibrada (cota nominal 12,5 mm).

La terminación superficial de los perímetros cortados fue caracterizada por dos o hasta tres parámetros: la rugosidad media aritmética Ra, la rugosidad total Rt (ambos describen el perfil evaluado en dirección vertical) y la rugosidad Sm (describe el perfil en dirección horizontal).

Se prepararon metalográficamente para su análisis secciones transversales correspondientes a cada uno de los espesores de chapas evaluadas, a partir de aquellas probetas construidas por los métodos no normalizados. Las microestructuras fueron reveladas usando como reactivo Nital al 2% (solución de 2 ml de HNO₃ en 100 ml de alcohol etílico 95%). Las microdurezas Vickers y Knoop, fueron determinadas empleando una carga de 50g.

Se ensayaron todas las probetas a tracción, resultando 3 propiedades mecánicas: Resistencia a

la tracción (Rm), límite de fluencia (Re) y alargamiento porcentual de rotura (A).

Para medir el ancho de las probetas se utilizó un calibre digital NSK, para el espesor un micrómetro Mitutoyo, para la rugosidad un rugosímetro Taylor-Hobson, para el alargamiento un sistema de medición láser Hewlett-Packard, las imágenes SEM se tomaron en un microscopio Philips SEM 505, los perfiles de microdureza con un microdurómetro Shimadzu HMV 2000, las observaciones metalográficas con un microscopio Zeiss Axiotech, y se ensayaron en una máquina de tracción Shimadzu UH-1000 KNA.

3.2 Muestra

Las especificaciones geométricas responden a la norma IRAM-IAS U500-102 parte III y el plano de fabricación para las probetas corresponde a la Figura 1.

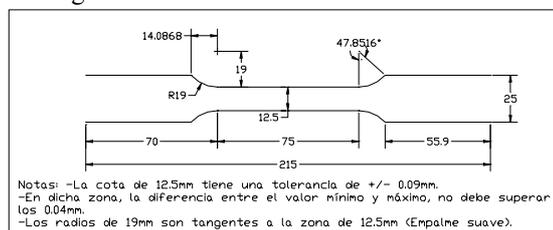


Fig 1. Plano de fabricación de probeta plana de tracción normalizada.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. Dimensional

Dado que los cinco procesos cumplen con la condición de $12,5 \pm 0,09$ mm, en el 100% de las probetas construidas, en la Tabla I se presentan los errores de forma mínimos (Efmín.) y máximos (Efmáx.) en mm, de la zona calibrada de 12,5mm nominal, para cada uno de los procesos evaluados.

Tabla I. Errores de forma (conicidad) de las probetas de tracción.

Método de corte	Efmín. (mm)	Efmáx. (mm)
Fresado	0,01	0,02
Láser	0,02	0,03
AWJC	0,01	0,02
WEDM	0,02	0,03
Punzonado CNC	0,04	0,16

El único método de corte que no verifica el error de forma, es el punzonado CNC.

4.2 Rugosidad y aspecto superficial del perímetro de corte

Los parámetros de rugosidad fueron medidos empleando una longitud de referencia $L_c=0,8$ mm y una longitud de evaluación $L_n=4$ mm.

En las tablas II, III y IV se presentan respectivamente, los valores de Ra, Rt y Sm mínimos y máximos promedio, en función del tipo de proceso.

Tabla II. Rango de rugosidades Ra.

Método	Ra mín. (μm)	Ra máx. (μm)
Fresado	0,7	1,25
Láser	1,9	4,5
AWJC	3,4	4,9
WEDM	2,7	3,3
Punzonado	0,7	0,9

Tabla III. Rango de rugosidades Rt.

Método	Rt mín. (μm)	Rt máx. (μm)
Fresado	5,2	9,5
Láser	15	32
AWJC	30	38
WEDM	22	27,5
Punzonado	12	22

Tabla IV. Rango de rugosidades Sm.

Método	Sm mín. (μm)	Sm máx. (μm)
Fresado	60	79
Láser	No se midió	No se midió
AWJC	No se midió	No se midió
WEDM	64	82
Punzonado	64	75

En las Figuras 2 a 6, puede observarse el aspecto superficial en todo el espesor de probetas cortadas por fresado, láser, agua, electroerosión y punzonado.

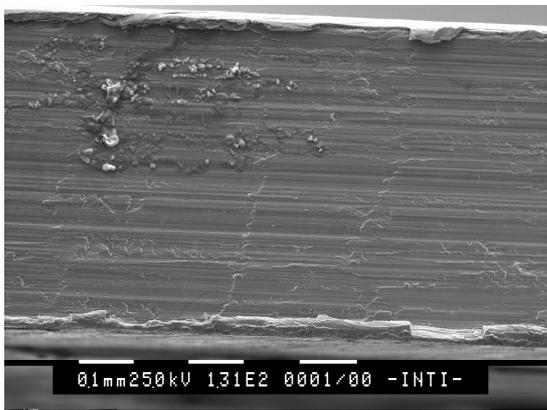


Fig. 2: Imagen SEM de superficie fresada

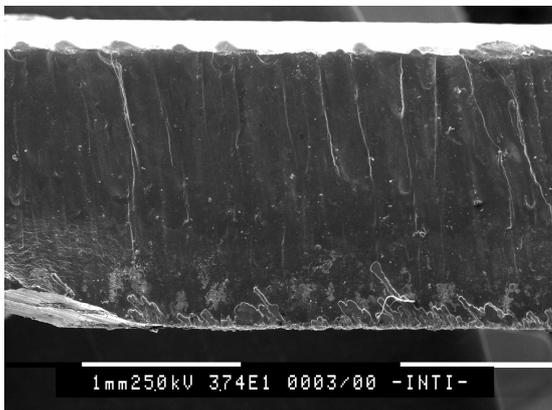


Fig. 3: Imagen SEM de superficie cortada por láser

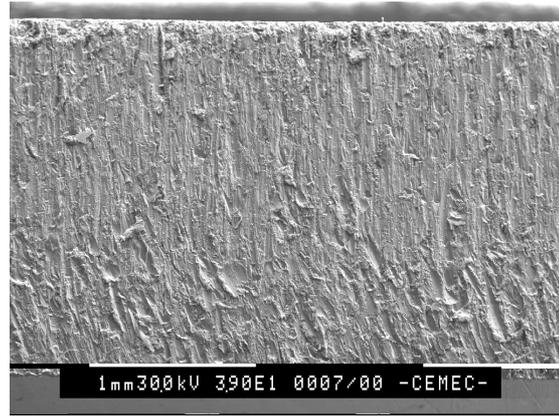


Fig. 4: Imagen SEM de superficie cortada AWJC

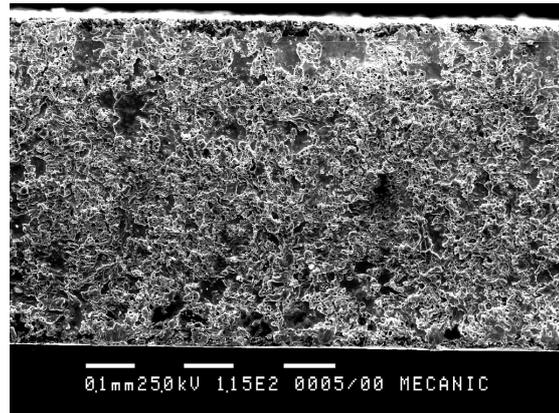


Fig. 5: Imagen SEM de superficie cortada WEDM

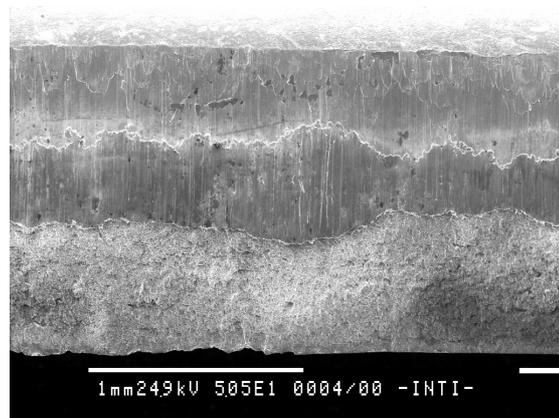


Fig. 6: Imagen SEM de superficie punzonada

A partir de los resultados de rugosidad obtenidos, se desprende que es el fresado aquel método que genera surcos de menor profundidad, mientras el corte por chorro de agua con abrasivos produce los más profundos.

4.3 Análisis microestructural y microdureza.

En las Tablas V y VI se resumen los mecanismos de corte, el tipo de afectación producida y las modificaciones introducidas por los métodos alternativos evaluados, relacionadas con la ductilidad del borde.

Tabla V. Mecanismo y afectación de los procesos de corte alternativos

Proceso	Mecanismo de corte	Tipo de afectación
Láser	Vaporización	Zona ZAT
AWJC	Erosión mecánica	No hay
WEDM	Erosión térmica	Zona ZAT
Punzonado	Deformación	Zona deformada

Tabla VI. Modificaciones introducidas por los procesos de corte alternativos

Proceso	Incremento dureza Vickers (%)	Profundidad afectada (mm)
Láser	47 a 95	0,04 a 0,13
AWJC	0	0
WEDM	0	Inferior a 0,03
Punzonado	13 a 64	0,4 a 0,65

De los cuatro métodos alternativos evaluados, el corte por agua es aquel que menos afectó la ductilidad del borde. Casi el mismo efecto nulo produce la electroerosión por hilo, a pesar de ocasionar la remoción de material mediante un proceso electro-térmico.

El corte por láser y el punzonado CNC, por el contrario, produjeron incrementos significativos de dureza tanto en la zona ZAT, el primero, como en la zona deformada plásticamente, el segundo.

El área afectada por el punzonado CNC abarca entre un 6,4 a 10,4% de la sección de la probeta de tracción, mientras en el corte por láser este porcentaje se sitúa entre 0,64 a 2,1%.

Las Figuras 7 y 8 corresponden a imágenes metalográficas de la sección transversal de probetas cortadas con procesos que alteran la ductilidad del borde (láser y punzonado).

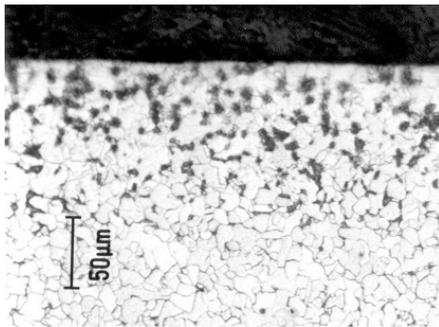


Fig 7. Sección de probeta cortada por láser.

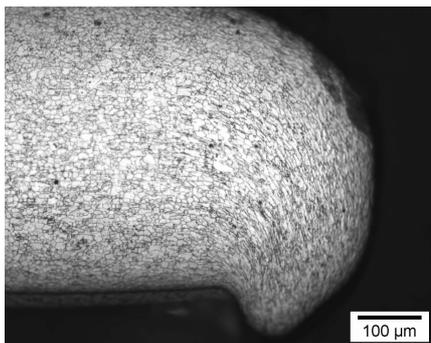


Fig. 8: Sección transversal de probeta punzonada.

En la Figura 7 se observa la Zona Afectada Térmicamente (ZAT) producida por el corte láser, mientras en la Figura 8 se visualiza la deformación plástica provocada por el punzonado CNC.

4.4 Propiedades mecánicas

Las condiciones generales de los ensayo de tracción, fueron las establecidas por IRAM-IAS U500-102 parte I [10].

En la Tabla VII se presentan las diferencias mínimas y máximas porcentuales de cada una de las tres propiedades mecánicas obtenidas del proceso alternativo respecto del fresado (un signo menos significa una reducción de la propiedad mecánica promedio respecto de la misma obtenida a partir de probetas fresadas).

Tabla VII. Rango de variación (%) de las propiedades mecánicas respecto del método de referencia

Proceso	δRe (%)	δRm (%)	δA (%)
Láser	-5,2 a 1	-1,8 a 2,3	-4,2 a 0,6
AWJC	-0,7 a -3,4	-1,9 a -3,4	0,7 a 4,7
WEDM	1 a 2	0,2 a 1,7	-3,8 a 5,4
Punzonado	2 a 2,9	-4,4 a 0,8	-22,7 a -48,4

Con excepción del alargamiento de probetas cortadas por punzonado CNC, en ningún caso la variación máxima encontrada supera el 5,4%. Este porcentaje es aceptable dado que en ensayos de intercomparación de laboratorios, para las 3 propiedades mecánicas evaluadas, la mínima Reproducibilidad indicada es de $\pm 5\%$ para láminas de acero de bajo carbono [1].

5. ALGUNOS DATOS MAS

5.1 Zona de inicio y tipo de fractura

En todo material dúctil, como todas las chapas de acero galvanizadas de muy bajo carbono evaluadas, el inicio de la grieta en la probeta de tracción durante el ensayo mismo debe ocurrir desde el centro de la muestra, para luego propagarse hacia los bordes, hasta que se produzca la fractura.

En el caso que esto no ocurra así, sino por el contrario, la grieta se inicie en los bordes de la muestra y se propague hacia el centro, se debe a que el proceso de corte empleado produjo sobre el perímetro de corte un endurecimiento del mismo con la consiguiente pérdida de ductilidad del perímetro, ocurriendo un adelanto de la fractura, y en consecuencia, una reducción del alargamiento porcentual de rotura.

La zona de inicio de la grieta durante los ensayos, los tipos de fractura y la reducción del alargamiento de probetas construidas por el método no normalizado frente a las fresadas en todo el rango de espesores de chapas evaluado, arrojan los resultados presentados en la tabla VIII.

Tabla VIII. Zona de inicio y tipo de fractura y reducción de alargamiento.

Método de corte	Zona inicio fractura	Tipo de fractura	Reducción alargamiento
Fresado	Centro	Dúctil	-----
Láser	Centro	Dúctil	Poco significativo
AWJC	Centro	Dúctil	Poco significativo
WEDM	Centro	Dúctil	Poco significativo
Punzonado	Borde	Frágil	Muy significativo

Del análisis conjunto de estos resultados se desprende que el corte por láser a pesar de haber provocado un endurecimiento importante del perímetro de corte (ver Tabla VI) aunque sin deformación plástica, si bien en casi todos los casos redujo el alargamiento, lo hizo de manera poco significativa, y sin modificar el tipo de fractura, como tampoco su zona de inicio.

Tanto el corte por chorro de agua con abrasivos como la electroerosión por hilo, no produjeron cambios significativos, mientras que el endurecimiento en frío del perímetro cortado por el punzonado CNC, no sólo redujo considerablemente el alargamiento porcentual de rotura sino que modificó la zona de inicio y el tipo de fractura de las probetas.

5.2 Costo relativo

Dado que como cierre del trabajo se van a proponer uno o más métodos de corte no normalizados para ser empleados en la fabricación de probetas planas de tracción. Que estos métodos de corte se constituyen como alternativos al fresado, luego de haber analizado extensamente sus posibilidades tanto en aquellos requisitos geométrico-dimensionales cuanto en la afectación o no que producen sobre las propiedades mecánicas estudiadas, es importante poseer una aproximación de los costos relativos en Argentina entre los procesos no normalizados y el método de referencia por arranque de viruta denominado fresado.

Esta información adicional permitirá al posible usuario considerar para una eventual elección de estos métodos de corte, no sólo sus posibilidades técnicas, sino también su costo.

En consecuencia, en la tabla IX se presentan los valores de costo relativo, tomando como base un costo para el fresado igual a 1.

Tabla IX. Costo relativo.

Método de corte	Costo relativo
Fresado	1
Láser	0,3
AWJC	0,3
WEDM	4,3
Punzonado CNC	2

Resulta evidente que tanto el corte por láser como el corte por chorro de agua con abrasivos poseen el menor costo (30% del costo de fresado), mientras que el de la electroerosión por hilo es el mayor (330% más que el costo de fresado).

5.3 Ventajas y desventajas

Previo a las conclusiones, se exponen a modo de resumen los puntos a favor y en contra, que poseen cada uno de los métodos evaluados, pero a diferencia de lo comentado en la Introducción, se considerarán aquí sólo aquellos aspectos principales para la comparación. Son estos: cumplimiento de los requisitos geométrico-dimensionales, alteraciones en la ductilidad del borde, variación de las propiedades mecánicas, valoración de la velocidad y costo de fabricación. En las tablas X y XI se presentan los cuadros de factibilidad de aplicación y ventajas-desventajas.

Tabla X. Factibilidad de aplicación de los procesos de corte no normalizados.

Proceso	Requisitos dimensionales	Ductilidad del borde	Propiedades mecánicas
Láser	Cumple	CAMBIA	No cambia
AWJC	Cumple	No cambia	No cambia
WEDM	Cumple	No cambia	No cambia
Punzonado	NO Cumple	CAMBIA	CAMBIA

Tabla XI. Ventajas y desventajas de los procesos de corte no normalizados.

Proceso	Velocidad de fabricación	Costo
Láser	Alta	Bajo
AWJC	Media	Bajo
WEDM	Muy baja	Alto
Punzonado	Media	Medio

6. CONCLUSIONES

1. El corte por chorro de agua con abrasivos CON CABEZAL DE CORTE FIJO, posee una limitación desde el punto de vista de la geometría de las probetas de tracción que produce, por cuanto genera una conicidad en la sección transversal de las probetas, restringiendo de este modo el espesor máximo de chapa a que sería aplicable, ya que debe respetarse la tolerancia de fabricación de las probetas en dicha zona.

Este problema ha sido solucionado recientemente, por cuanto dos desarrollos paralelos de las empresas norteamericanas Flow Industries y Omox Corporation, denominados "Dynamic Waterjet" y "Tilt a Jet" respectivamente, haciendo uso de un cabezal de corte INCLINABLE por software según sea el espesor, material y contorno a ejecutar, reduce considerablemente esta conicidad, propiciando la aplicación del corte por chorro de agua con abrasivos a TODO EL RANGO DE ESPESORES ESTUDIADO.

Una pequeña dificultad adicional que se resuelve con un poco de paciencia y tiempo, tiene que ver

con la puesta a punto del proceso (offset del chorro respecto del contorno y velocidad con que se recorre el mismo), para poder obtener probetas en tolerancia.

Por otra parte, como este proceso cumple los requisitos dimensionales, no afecta la ductilidad del borde, no produce cambios significativos sobre las propiedades mecánicas, su velocidad de fabricación es media mientras su costo es bajo. El corte por chorro de agua con abrasivos con cabezal de corte inclinable constituye la MEJOR alternativa al fresado, para construir probetas planas de tracción normalizadas obtenidas a partir de chapas de acero galvanizadas.

2. La electroerosión por hilo también constituye una MUY BUENA alternativa al fresado, pero presenta algunos puntos bajos: su muy baja velocidad de corte que radica en el reducido régimen de remoción de material, su costo elevado, así como un tiempo previo de preparación mayor a todos los otros procesos y similar al del fresado. Entre sus principales ventajas, produce probetas que cumplen fácilmente los requisitos geométricos-dimensionales, no afecta la ductilidad del borde y no produce cambios significativos sobre las propiedades mecánicas.

3. El corte por láser debe ser empleado con RECAUDOS. Si bien es el proceso de mayor velocidad de fabricación, menor costo, que produce probetas que cumplen fácilmente los requisitos geométricos-dimensionales y en los estudios realizados, no ha provocado cambios significativos en las propiedades mecánicas, genera una disminución de la ductilidad del perímetro de borde, con los inconvenientes que esto puede generar. Esta situación debiera ser estudiada con mayor profundidad.

4. El punzonado CNC debe ser DESCARTADO, dado que el endurecimiento en frío que provoca sobre el perímetro de corte, produce una pérdida de ductilidad del mismo de tal magnitud, que afecta significativamente las propiedades mecánicas, fundamentalmente el alargamiento porcentual de rotura. Este efecto aumenta significativamente a medida que disminuye el espesor de la chapa cortada. Además, produce un contorno poco homogéneo y al proceso le resulta muy difícil cumplir los requisitos geométricos-dimensionales, en especial el error de forma.

5. Dado el conjunto de evaluaciones realizadas, se desprende que sólo el alargamiento porcentual a la rotura es sensible a los cambios de ductilidad producidos sobre el perímetro de corte por los diferentes métodos de corte evaluados.

6. No pareciera existir relación alguna entre la profundidad de los surcos producidos por cualquiera sea el método de corte empleado y las propiedades mecánicas de tracción obtenidas. Aunque más probablemente, de existir dicha relación, permanece disimulada por las distintas fuentes de error que afectan los resultados de los ensayos de tracción.

7. REFERENCIAS

1. BS EN 10002-1:2001, Metallic Materials – Tensile Testing. Part 1: Method of Test at Ambient Temperature, September 2001.
2. ASTM E 8M-00b, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, February 2001, pp. 2-3.
3. IRAM-IAS U500-102 Parte III, Chapas y flejes finos de acero, Método de ensayo de tracción, Junio de 1987, pp. 4.
4. Anónimo, Metalurgia y electricidad, 655 (1993), pp. 92-95.
5. Martínez Kraher D., y otros, El proceso de corte láser aplicado a la manufactura de probetas planas de tracción normalizadas obtenidas a partir de chapas finas de acero galvanizadas, Congreso Conamet / Sam Simposio Materia 2002, Santiago de Chile, pp.389-393.
6. Martínez Kraher D., y otros, El corte por chorro de agua con abrasivos aplicado a la manufactura de probetas planas de tracción obtenidas a partir de chapas finas de acero galvanizadas, Congreso Sam / Conamet Simposio Materia 2003, Bariloche, pp.171-174.
7. Martínez Kraher D., y otros, La electroerosión por hilo aplicada a la manufactura de probetas planas de tracción normalizadas obtenidas a partir de chapas finas de acero galvanizadas, Congreso Sam / Conamet 2004, Universidad de La Serena, Chile, pp.233-236.
8. Martínez Kraher D., y otros, El punzonado por control numérico aplicado a la manufactura de probetas planas de tracción normalizadas obtenidas a partir de chapas finas de acero galvanizadas, Congreso Sam / Conamet 2005, Mar del Plata.
9. 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, pp. 13 y 15.
10. IRAM-IAS U500-102 Parte I, Método de ensayo de tracción de productos de acero. Condiciones Generales, Junio de 1987.