Elementos para la selección de aceros que necesitan temple y revenido

V. Carrera Martínez*, V. Millo Carmenate, F. Hernández González*****
Universidad de Cienfuegos
Facultad de Ingeniería Mecánica. Departamento de Mecánica.
Cienfuegos 59430, Cuba.
E-mail vmillo@ucfinfo.ucf.edu.cu
* Profesor Auxiliar y Jefe de la Disciplina Procesos Tecnológicos de la Facultad de Mecánica.
** Profesor Auxiliar, Master en Ciencias y Decano de la Facultad de Ingeniería Mecánica.
*** Profesor Asistente y segundo Jefe del Departamento de Mecánica.

(Recibido el 21 de febrero de 1999; aceptado el 10 de marzo de 1999)

Resumen

A partir del análisis de la metodología de selección del material que se utiliza tanto para el diseño mecánico como para el de herramientas, se da una metodología para el caso de aceros con temple y revenido, que tiene en cuenta la templabilidad del mismo en combinación con la solicitación mecánica a la que se encuentra sometida la pieza. Se ilustra la metodología de determinación del diámetro crítico del acero con los diagramas de templabilidad obtenidos por el ensayo Yominy y un nomograma de templabilidad.

Palabras claves: Temple, revenido, selección de material, ensayo Yaming.

1. Introducción

En general, la literatura que se ha difundido sobre el diseño mecánico aborda muy bien la parte que se refiere a la solicitación mecánica y al procedimiento de cálculo de las dimensiones de las piezas de los elementos de máquina y de herramientas. No es así en el caso de la selección del acero, que es un paso tan importante como el primero. Puede usted hacer los cálculos muy eficientemente, pero si al elegir un material escoge un acero que tiene una resistencia superior o inferior a la necesaria, la eficiencia anterior es ficticia. Este problema se advierte no solo en gran cantidad de centros de educación superior sino también en muchas empresas.

Es posible introducir una metodología de selección que tenga en cuenta las propiedades reales de los materiales a la hora de realizar un diseño mecánico. El uso de los aceros que necesiten temple y revenido requiere tomar en consideración la templabilidad y su diámetro crítico, así como la forma de obtener la máxima resistencia posible mediante los tratamientos termomecánicos. Esta presente también la posibilidad de utilizar un acero con un diámetro critico inferior a su espesor para obtener un núcleo dúctil resistente a cargas dinámicas.

Se propone solucionar estas situaciones por medio de una metodología de selección del acero con mejoramiento o cualquier acero que necesite temple y revenido que tenga en cuenta los aspectos antes mencionados y los datos suficientes para poder realizar dicha selección. Se ofrecen recomendaciones para la obtención de la máxima resistencia posible en un acero para elementos de máquina e inclusive para aceros de herramientas de corte y de conformar. Se adiciona la metodología para la determinación del diámetro crítico del acero.

2. La selección del acero que necesitan temple y revenido

La bibliografía disponible para el ingeniero mecánico que se dedica al diseño mecánico [1,3] no está orientada a la selección del material desde el punto de vista de la resistencia real del material en cuestión; se aleja mucho de la realidad en el caso de aquellos aceros que se destinan para el temple y revenido alto (mejoramiento) y, en general para, todos los aceros que necesiten temple y revenido concentrándose a obtener las propiedades que se indican en las tablas orientadas por esta misma literatura.

© 1999 – Ediciones ISPJAE.

Es decir, los cálculos de resistencia tanto estáticos como dinámicos se realizan utilizando las propiedades del material tomados de una tabla, en las mismas no siempre existe la referencia del espesor para el cual se midieron sus propiedades. Estas últimas son fundamentalmente: límite de fluencia, límite de rotura, alargamiento relativo, resistencia al impacto, límite de fatiga y extricción relativa. Todas dependen del espesor de la probeta y de la templabilidad del acero.

En los cálculos estáticos, ya sea para determinar el espesor o para comprobar la resistencia se utiliza el límite de fluencia o de rotura del material, y en los cálculos de fatiga se determina el coeficiente de seguridad a partir del límite de fatiga del material.

Ya Faires [1] aborda el problema, definiendo los conceptos de templabilidad y curvas de templabilidad de algunos aceros e incluso se refiere al asunto que nos ocupa, al exponer los elementos que influyen en los coeficientes de seguridad empleados; entre ellos, explica lo relativo al material y el efecto tamaño: mientras en las tablas aparece una resistencia para dimensiones de probetas pequeñas que fluctúan entre 12.7 y 25 mm de diámetro, en los cálculos se utilizan otras dimensiones. Sin embargo, más adelante, en el proceso de diseño de los diferentes elementos que componen un diseño mecánico propone la selección del acero con los criterios tradicionales y se remite a las tablas anexas al libro. A pesar de que varias de ellas ya traen referencias al espesor para el cual se dan las propiedades, no da una metodología de selección del acero según su templabilidad.

También recomienda árboles huecos teniendo en cuenta esta misma situación, no ya para la disminución del peso de la pieza, como tradicionalmente se piensa y realiza, sino para la utilización de materiales con diámetros críticos pequeños en diámetros grandes de árboles, pues en este caso solo es necesario el diámetro crítico para el espesor de la pieza con forma tubular.

Al seleccionar el acero que necesite temple y revenido para la obtención de las propiedades deseadas, es necesario seguir los conceptos de templabilidad. En general, se presentan tres variantes fundamentales en el proceso de selección del acero cuando se realizan los cálculos estáticos antes de la comprobación a las cargas dinámicas y que definen también la resistencia dinámica. Ellas son:

1. Cuando se necesita igual resistencia en toda la sección de la pieza:

En este caso, es imprescindible la selección del acero de acuerdo al diámetro crítico, es decir: el espesor de la pieza no debe ser mayor que el diámetro crítico del acero para el medio de enfriamiento propuesto. Esto es tan importante que limita la utilización del acero al carbono para piezas de menos de 12 mm de espesor, por lo que en piezas de espesores mayores hay que utilizar aceros con mayor templabilidad. El diámetro crítico del acero es posible aumentarlo hasta ciertos límites con el aumento de la velocidad de enfriamiento (riesgos de agrietamiento) y aumentando la temperatura de temple (riesgos de agrietamiento, oxidación, aumento del tamaño de grano, etc.).

2. Cuando se necesita resistencia en una parte de la sección transversal. (mayor que la que se puede lograr por tratamientos superficiales):

En la práctica real, existen muchas piezas en las que su solicitación mecánica permite hacer un diagrama de tensión equivalente, calculada por una de las teorías de resistencia, para cada punto de la sección transversal (Figura 1); en este caso se encuentran los árboles, ejes, muelles, vigas, etc. Comparando este diagrama de tensión equivalente, que es calculado a partir de los diagramas de tensiones cortantes, normales y las provocadas por los momentos flectores y torzores, con un diagrama de resistencia aproximada que se obtiene a partir de un perfil de dureza de la pieza (probeta) tratada térmicamente y utilizando la Figura 2, la Tabla 1 y otras informaciones que se posean, se puede decir si el material en cuestión se puede utilizar.

Al hacer la comparación es posible y necesario utilizar un coeficiente de seguridad que tiene en cuenta el cálculo aproximado de la resistencia a partir de la dureza. Sus valores pueden fluctuar entre (1.2-1.4), en dependencia del

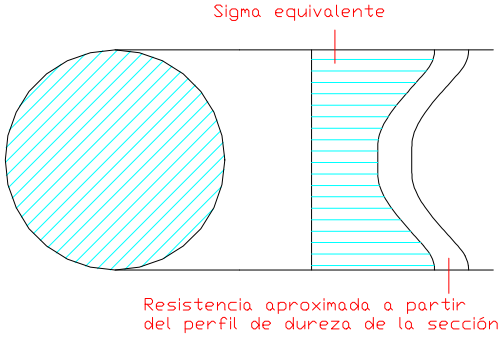

Fig. 1. Comparación entre la resistencia y la sigma equivalente del material.

grado de conocimiento que se tenga de las propiedades reales del material en cuestión.

Es evidente que al seleccionar un acero por este método, es necesario confeccionar varias probetas de diferentes tamaños para determinar el necesario

Fig. 2. Relación entre la dureza y la resistencia a tracción.

3. Cuando se requiere obtener la máxima resistencia:

Esta variante es más difícil y cara pues, se necesita hacer varias probetas con diferentes regímenes de deformación plástica y de tratamiento térmico con los correspondientes ensayos para determinar en cada caso las propiedades mecánicas y de propagación de la grieta. Esto es necesario, dado que la máxima resistencia en los aceros ordinarios, es decir alta resistencia a la rotura y a la fluencia - con aceptable resistencia al impacto y alargamiento relativo - se obtiene con la combinación de los tratamientos térmicos y mecánicos de deformación plástica (Tratamientos termomecánicos).

Las variantes de tratamientos termomecánicos más difundidas son el tratamiento termomecánico a alta temperatura (TTMAT), en el cual - utilizando altas velocidades de calentamiento en lo posible y deformación plástica por encima de la temperatura de temple - se logra un

afinamiento del grano suficiente como para mejorar considerablemente todas las propiedades mecánicas. El tratamiento termomecánico posterior al temple (es decir deformación de la martensita por debajo del 5%, Marforming) logra elevar el límite de fluencia casi al mismo nivel que el límite de rotura. También se utiliza el tratamiento termomecánico previo (TTMP) que logra afinar el grano antes del tratamiento térmico y, si no se elevan mucho el tiempo y la permanencia en este último, se conservará en gran medida el afinamiento del grano.

Además es posible utilizar las posibilidades que nos brindan los aceros martensíticos para envejecer (Maredging) en combinación con el tratamiento termomecánico posterior (Marforming), para alcanzar hasta 2200 MPa de límite de rotura y un alargamiento relativo de 12%, o la combinación del tratamiento termomecánico a baja temperatura (400-500)°C durante el enfriamiento en el temple (TTMB), con los aceros "Trip", lográndose una resistencia a la propagación de la grieta elevada y una resistencia general de hasta (1800-2000) MPa de límite de rotura, (1400-1700) MPa de límite de fluencia y un alargamiento relativo de (20-30) %.

Es de destacar la alta resistencia a la propagación de la grieta que se obtiene en el acero "Trip" del orden de 500 kgf/mm$^{3/2}$, incomparablemente superior al acero común con tratamiento térmico ordinario, que alcanza un valor no superior a 150 kgf/mm$^{3/2}$

3. Determinación del diámetro crítico del acero

El diámetro crítico de un acero es aquel diámetro de pieza a partir del cual, si se somete a un temple en un medio de enfriamiento dado, aparece una región central en su sección transversal que posee menos del 50% de martensita como elemento estructural, considerándose esa zona como no templada. Este parámetro es el elemento más representativo de la templabilidad y depende fundamentalmente de la composición química del acero en cuestión, el tamaño de grano, la temperatura a la cual se calienta para el temple y el medio de enfriamiento que se utilice.

Tabla 1. Dependencia entre el límite de rotura de algunos aceros con respecto a la dureza Brinell.

Tipo de acero	Límite de rotura (MPa)	Coef. Regr.	Err. Standar	Rango validez
al carbono	σ_b= - 0.57764098 + 3.5934984*HB	0.9998	9.0699	(109 - 601)HB
al Cr - Si	σ_b= - 65.504802 + 3.7143091*HB	0.9995	14.88296	(109 - 578)HB
al Cr - Ni	σ_b= 1.6612237 + 3.3913321*HB	0.9998	8.49261	(109 - 601)HB
al Cr - Mo	σ_b= 2.3020022 + 3.2852759*HB	0.99976	9.6731	(109 - 601)HB
al Cr	σ_b= 2.1386823 + 3.4867*HB	0.99963	12.25329	(121 - 534)HB

La metodología para la determinación de su valor es como sigue:

1. Realización del ensayo Yominy para obtener las curvas de templabilidad (Figura 3), en la cual debemos obtener la distancia desde extremo templado hasta donde se encuentra la capa semimartensítica. Para esto, se pueden utilizar datos - conocidos como en la Figura 4, en la que se da la dureza de la capa semimartensítica para los aceros al carbono en dependencia del porciento de carbono. Con este valor, se entra a la curva de templabilidad para obtener la distancia desde el extremo templado a la capa semimartensítica. En caso de desconocer el valor de la dureza de esta capa para un acero en cuestión, es necesario hacer un ensayo metalográfico en la probeta del ensayo Yominy y determinarla directamente. Este último procedimiento es más exacto que el anterior.

2. Con el valor de la distancia desde el extremo templado a la capa semimartensítica, es posible entonces entrar al nomograma representado en la Fig. 5 en la escala del ensayo Yominy. Descendiendo hasta interceptar la línea correspondiente al medio de enfriamiento ideal, encontramos una línea horizontal, correspondiente al acero en cuestión: en cada intersección con las curvas de enfriamiento de cada medio descendiendo hasta las escalas que dependen de la forma de la pieza, encontramos el diámetro crítico del acero en cada uno de esos medios de enfriamiento.

Es necesario explicar que las escalas de la figura 5 correspondientes a la forma de la pieza, se seleccionan teniendo en cuenta la longitud de la zona que contiene el diámetro crítico. Es decir: la escala correspondiente al numero 0.1 es para piezas o probetas con una relación L/D (para piezas cilíndricas) o L/a (para piezas de sección cuadradas) aproximadamente igual a 0.1, o sea: piezas tipo discos o planchas, la escala correspondiente al número 1 es para piezas en forma esférica o que la longitud sea aproximadamente igual al diámetro o longitud y la escala correspondiente al número 10 es para piezas alargadas.

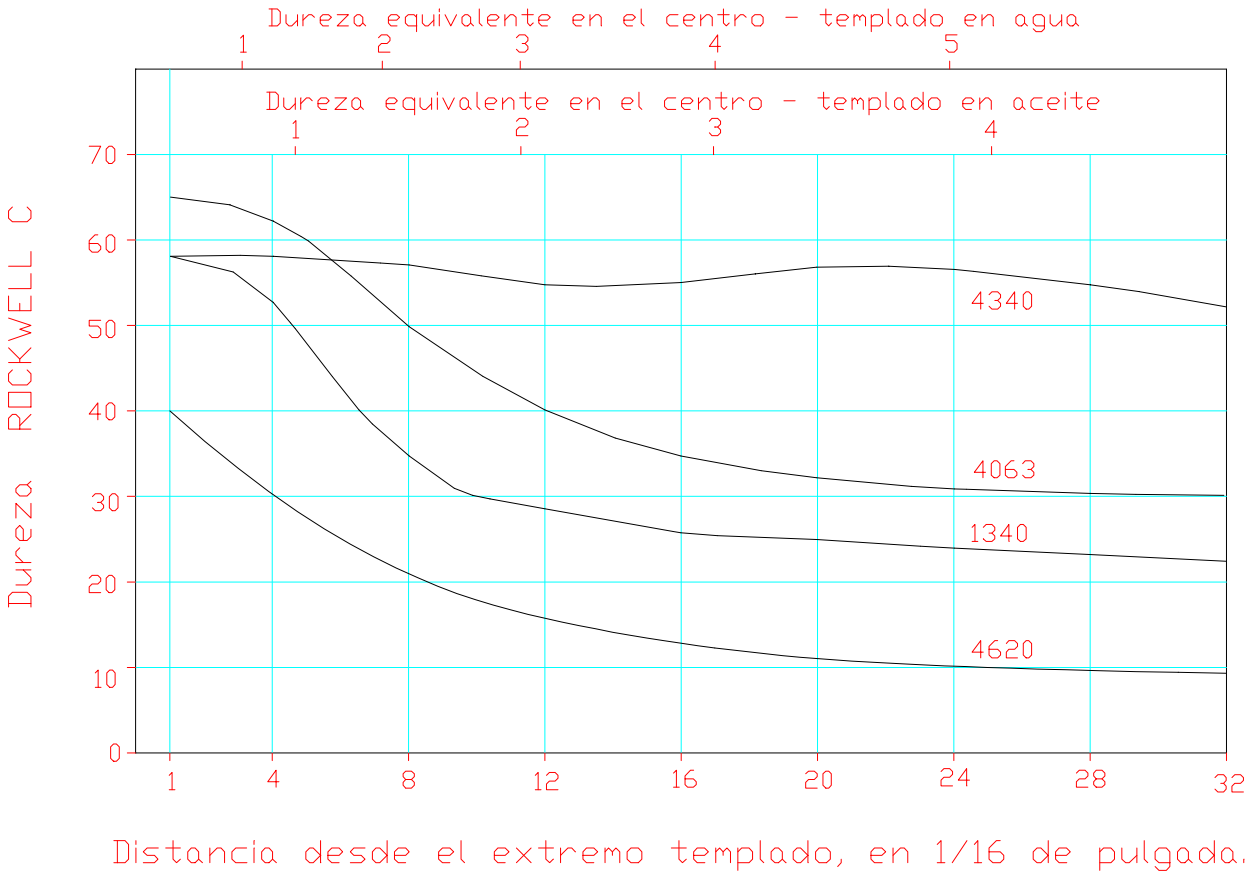

Fig. 3. Curvas de templabilidad obtenidas en el ensayo Yomini de los aceros AISI 1340, 4063, 4340 y 4620.

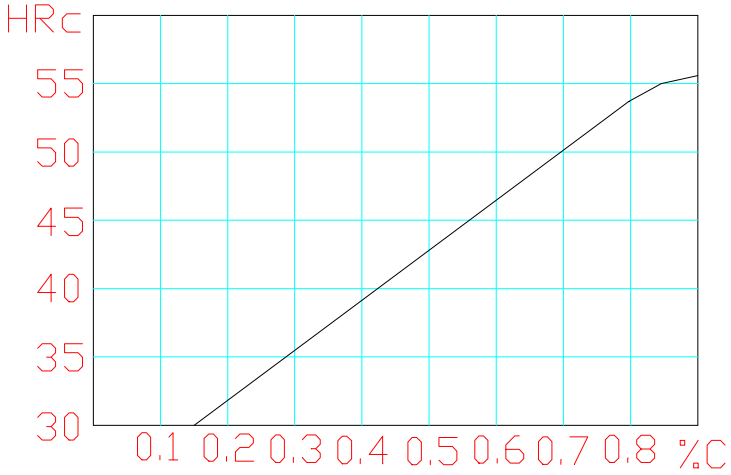

Fig. 4. Dureza de la capa semimartensítica en dependencia de la composición química del acero al carbono.

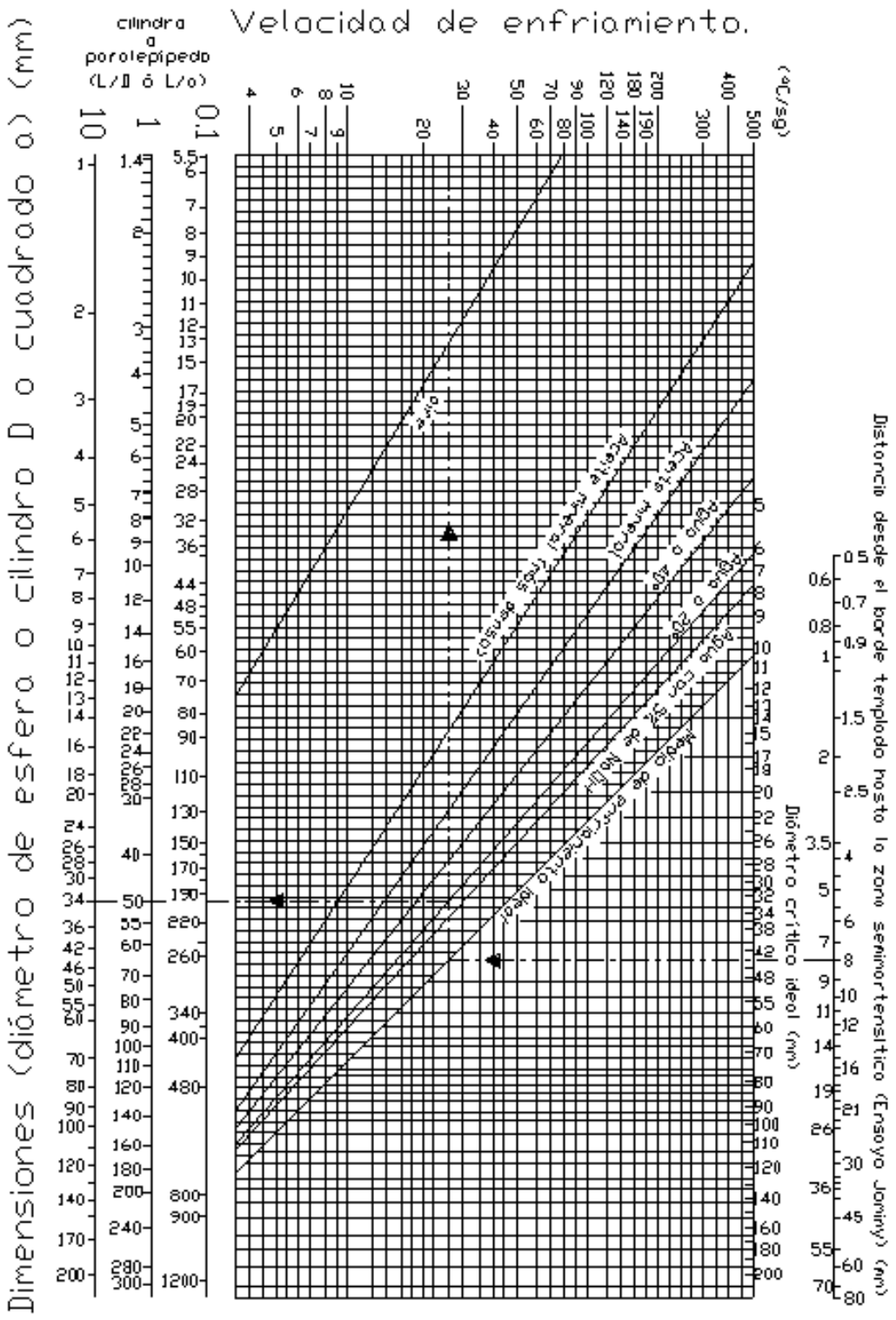

Fig. 5. Nomograma para la determinación de la templabilidad del acero.

5. Conclusiones

- Esta metodología para la selección del acero con mejoramiento para el diseño mecánico garantiza la resistencia estática del material con mayor seguridad que la que se orienta en la literatura para este fin. Se acerca más a la resistencia real de acuerdo a la solicitación mecánica y evita sobredimensionamientos así como la selección de un material que posea una baja resistencia en comparación con la necesaria.
- Es necesario para realizar el cálculo a la fatiga y en general para calcular las cargas dinámicas, tener en cuenta las propiedades reales de los materiales, e inclusive tomar las recomendaciones en cuanto a la máxima resistencia que se relacionan en el tercer caso analizado como método para obtener alta resistencia, elevando al mismo tiempo esta para cargas dinámicas.
- Es importante que en los centros de educación superior en los que se imparta la temática del diseño de elementos de máquina se comience a impartir la selección del material con esta metodología u otra que garantice la selección a partir de la resistencia real que posee el material y así introducir la mentalidad en nuestros egresados de la optimización en el diseño mecánico.
- En el caso de talleres o fábricas que realicen diseño mecánico, es importante que el laminado y acero en general además de tenerlo clasificado por composición química realizarle los ensayos necesarios a aquellos que lo necesiten, para tener disponible la información de estos cuando se necesite acometer un diseño nuevo.

Bibliografía

1. Faires, V. M., *Diseño de elementos de máquinas*, Editorial Cimusa, Mexico,1996, 783 pp.
2. *Metalovidienie i termichescaia abrabotka stali*, Editorial Metalurgia, Moscú, 1991, (tres tomos)
3. Reshetov, D., *Elementos de Máquinas*,Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana, 1985, pp 830
4. Shmicov, A. A., *Spravochnic termista*, Editorial MASHGIZ, Moscú, 1961, 392 pp.

Directions for selection of steel that need to be templing

Abstract

Taking as reference a material selection methodology being used for mechanical design as well as tools design, a new methodology is suggested for thermic treated steels , which takes into account the templing of the steels in combination with the mechanical solicitation to which the piece has been summitted. It is also suggested a methodology for determining the steel's critical diameter with templing diagrams obtained through Yominy test and a templing nomogram.

Key words: Material selection, test Yominy, templing.