

# CAPITULO 6

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1.-Conclusiones.

- Las variaciones en la distribución microestructural de los planchones obtenidos fue similar en todos los casos, ya que fueron obtenidos bajo el mismo proceso de fabricación.
- Los ensayos mecánicos presentaron evidencia de la diferencia en propiedades mecánicas presentes en el material, según la zona de obtención de la probeta (centro y orilla del planchon) y la dirección de la obtención de las probetas.
- Los resultados de este estudio indican que la magnitud de los valores locales de deformación dependen del tipo de componente. Las componentes normales se ven afectadas principalmente por la reducción en altura, en tanto que las componentes de la deformación cortante y equivalente varían con la reducción en altura y a lo largo del espesor del espécimen, presentando niveles más altos de deformación en las orillas superior e inferior.
- El efecto de desplazamiento lateral del material durante la laminación (ensanchamiento) no es sólo un problema geométrico, ya que presenta variación en su comportamiento dependiendo de la composición química del acero que se procese.
- El perfil de la distribución de la deformación en cada acero estudiado presentó diferencias cualitativas significativas, que inclinan a inferir una dependencia con los elementos de aleación.

- La morfología y tamaño de grano ferrítico se ve afectada por el gradiente de deformación cortante, reflejándose en cambios de tamaño de grano final, o en la homogeneidad de la morfología del grano presente en las zonas con distintos gradientes de deformación.
- Los aceros de baja aleación (Acero "A") son los más susceptibles al efecto de ensanchamiento y son los que poseen mayores valores de deformación cortante.
- El modelo geométrico que predice de manera más acertada el ensanchamiento producido en estos aceros es el propuesto por Beese.
- El error en la evaluación de la deformación equivalente, con la corrección obtenida es menor a 10% su valor, con lo que se considera aceptable.
- El método utilizado para la digitalización de imágenes que fueron utilizadas en el análisis visioelástico, presenta un error de  $\pm 0.001$  mm como máximo en cada uno de los datos capturados, haciendo que este método sea el más accesible para el análisis.
- La deformación permite apreciar con mayor claridad los puntos de inicio de transformación de fase, pero no afecta en forma significativa a la temperatura en la que se presentan las transformaciones, salvo en el acero microaleado.
- Los métodos empleados en el presente trabajo son aplicables a cualquier material que se someta al proceso de laminación y, con las respectivas modificaciones, a casi cualquier proceso de formado.

## **6.2.- Recomendaciones para posibles trabajos futuros.**

El análisis visioelástico se puede adaptar para el estudio de casi cualquier proceso de formado y, por su versatilidad e información que aporta, es de gran utilidad. A continuación se presentan algunas recomendaciones para continuar esta línea de investigación.

- Continuación del análisis visioelástico variando la temperatura de laminación.
- Obtención de las curvas de evolución térmica y mecánica a partir de ensayos a compresión realizados a diversas temperaturas de ensayo y diversas velocidades de enfriamiento.
- Si la reducción a aplicar es mayor al 35% es recomendable cambiar el espaciamiento de la red del análisis visioelástico a un valor por encima de 1.27 mm (0.050 in)
- Realizar pruebas de laminación, como las propuestas en éste trabajo, pero de sección longitudinal constante y con enfriamiento diferencial de punta a cola del espécimen.

## REFERENCIAS

- 1.- The British Iron and Steel Research association. Research on the rolling of strip, Symposium of selected papers 1948-1958.
- 2.- R. Colás; Thermomechanical processing of steel, J.J. Jonas symposium, S. Yue y E. Essadaiyi (eds.), CIM, Montreal, 2000, 569.
- 3.- M.G. Rdz, E. Valdéz-Covarrubias, M.P. Guerrero-Mata, R. Colás; A ser púb. en J. of Materials: Design & Applications.
- 4.- P. Hartley, C.E. Sturgess, C. Liu. and G. W. Rowe: Experimental and Theoretical Studies of Workpiece Deformation, Stress, and Strain during flat rolling, Inter. Materials Rev. Vol. 34, No.1. (1989). 19-34.
- 5.- Lutz Lachmann and G. Zouhar: Investigation of Strain-Inhomogeneities during hot flat rolling-influences on the microstructure evolution., Steel research 62 (1991), No 10, Pp 447-451.
- 6.- R. A. Grange; Microstructural Alterations in Iron & Steel During Hot Working, fundamentals of deformation Procesing, 1964. Syracusi Univ. Press, Pp 299-320.
- 7.- V. Radcliffe, E.B. Kula; Deformation Transformation & Strenght, , Fundamentals of Deformation Processing, 1964, Syracusi Univ. Press. Pp 321.
- 8.- A.Rdz., G. Olvera, P. Fodor, R. Colas; Strain distribution análisis of hot forged seamless pipen fitting.
- 9.- J. Godwin, A. Mallinson. Brian Walker, I. Earnshaw; Use of Laboratory Compresión Testing for Process Control of Hot and Cold Continuos Strip Mills. Pp 819- 828.
- 10.- G.W. Rowe; Conformado de los metales, Ed. Urmo.
- 11.- S.P. Timoshenko; History of strength of materials, Ed. Dover.
- 12.- J. Mazurkiewicz & P. Myszkowski: Similarity in the deformation of lead and steel in the hot rolling process, Journal of Materials Processing Technology, 26 (1991), Pp 23-33, Ed. Elsevier.
- 13.- G.J. Rochardson, D.N. Hawkins, C.M. Sellars; Worked Examples in Metalworking, Institute of Metals, London, 1985.
- 14.- Zygmunt Wusatowski; Fundamentals of Rolling, D.Sc. Pergamon Press.

- 15.- Mathematical Modelling of Hot Rolling of Steel, International Simposium on Hot Rolling, Ed.by S. Yue, August26-29, 1990. Hamilton Ontario, Canada.
- 16.- E. Valdes; Influence of Roughing Deformation on Strain induced precipitation in HSLA Steels, Ph.D Thesis, 1988. Sheffield.
- 17.- A. Young; A Method for the Measurement of the Phase Transformation Temperature in Steel During cooling after Rolling, Mackenzie, Journal of the Iron and Steel Institute, Nov. 1971.
- 18.- C.M. Sellars and G.J. Davies; Hot Working and Forming Processes, The Metals Society, London, Book 246.
- 19.- W.C. Leslie; The Physical Metallurgy of Steels, Mc.Graw Hill, 1982.
- 20.- L.E.Samuels; Optical Microscopy of Carbon Steel, American Society for Metals (1980).
- 21.- T.Z. Blazynski; Applied Elastoplasticity of Solids, Ed. Pergamon.
- 22.- B. Avitzur; Metal Forming: Processes and Analysis, Mc Graw-Hill, New York, 1968.
- 23.- J.H.Beynon y C.M. Sellars, J. Test Eval. 13,28(1985).
- 24.- R. Colas, J. H. Beynon, J. Mat. Proc. Technolol., 88. 276, (1999)
- 25.- G.E. Dieter; Mechanical Metallurgy, Pp 30-92, 552-523, Ed. Mc Graw-Hill.
- 26.- J. Lubliner; Plasticity theory, Ed. Macmillan Pub. Co. Pp100-150,420-422.
- 27.- R. Hill; The Matematical Theory of Plasticity, Ed. Oxford, Pp 70-74,38-55.
- 28.- Applications of Nuemerial Methods to Forming Processes, Edited by H. Armen, ASME, (1982), Pp 27-35.
- 29.- A.Shabaik; Analysis of Forming Processes: Experimental and Numerical Methods, AMD-Vol 28, ASME, (1982) Pp 15-26.
- 30.- M.A. Meyers, K.K. Chawla; Mechanical Metallurgy Principles & Aplications, Prentice-Hall, (1984) Pp 97,102.
- 31.- Willard. Merritt. Dean; Métodos Instrumentales de Análisis, Ed. CECSA, Pp 155-205.
- 32.- F. Orozco. Análisis Químico Cuantitativo, Ed. Porrua. Pp 27-47.
- 33.- L.A. Leduc Lezama; Hot rolling of titanium bearing steel, 1980, PhD thesis, Sheffield.
- 34.- ASM Handbook Vol. 9. Metallography & Microstructures, The Materials Information Society, USA,(1992).

- 35.- R. Hill, Proc. Inst. Mech. Engrs. 163, 135(1950).
- 36.- A.K.E.H.A. El-Kalag & L.G.M. Sparling, J. Iron Steel Inst.,206, 152 (1968).
- 37.- A. Helmi & J.M. Alexander, J. Iron Steel Inst., 206, 1110(1968).
- 38.- J.G. Beese, J. Iron Steel Inst., 210, 433 (1972).
- 39.- J.P. Sah, C.M. Sellars, J. H. Beynon, S.R. Foster. Plane Strain Testing at elevated Temperatures. Report SRC B RG 1482, 1976.
- 40.- D.M.K. de Grinberg; Tratamientos Térmicos de Aceros, Ed. Limusa.
- 41.- H.K.D.H. Bhadeshia, Bainite in Steels. Institute of Materials. London, 1992, Pp 349.
- 42.- W. C. Leslie: The Physical Metallurgy of Steels. Ed. McGraw Hill, 1988. Pp 257.
- 43.- K.W. Andrews 1965, ISIJ, 203, 721.
- 44.- Isabel Gutiérrez; II Seminario de Tecnología Metalúrgica, Laminación en Caliente, Ed. R. Colas y F.B. Cabrera, Barcelona, (1998), Pp 171-201.
- 45.- K.J. Irvine y F. B. Pickering, Journal of the Iron & Steel Int., 201,(1957), 518.
- 46.- N.Stiven & A.G. Hagnes, J. Iron Steel Inst., 183 (1956) Pp 349.
- 47.- Ing. Lucio Iurman; Trabajo Mecánico de los Metales, 1986. Ed. ILFA.
- 48.- M. Hatherly, W.B. Hutchinson; An Introduction to Textures in Metals. Ed. The Inst. of Metallurgists. Chameleon Press.
- 49.- J.D. Verhoeven; Fundamentos de Metalurgia Física, Ed. Limusa, Cáp. 8 y 10.
- 50.- E. Thomsen, Ch. Yang, S. Kobayashi; Plastic Deformation in Metal Processing, McMillan Press. Co (1965).
- 51.-F. Hollander, Mathematical Models in Metallurgical Process Development, Iron Steel Inst. 123, (1970), pp 46-47.
- 52.- E. C. Bain, H. W. Paxton, Alloying. Elements in Steel, ASM, (1966) Pp. 243-247.
- 53.- R.W.K. Honeycombe. P. Hancock. Metallurgy and Materials Science, Pp. 59.
- 54.- R. Colás and C.M. Sellars, J. Test. Eval., 15, 342 (1985).
- 55.- R. Colás and A. Grinberg. J. Mat. Proces. Techn., 88, 276, (1999).
- 56.- V.A. Zaimovskii et al.,Stal', (5), 382-383, (1979).