

Microstructure and Properties

	page
Morphology of Martensite <i>G. Krauss</i>	0.1
Kinetics of Isothermal Austenitization Process in the Intercritical Temperature Range of Low Carbon Alloy Steel <i>T.C. Lei, J. Pan</i>	1
Zur thermischen Restaustenitstabilisierung bei dem hochlegierten Werkzeugstahl X 210 Cr 12 <i>H.Schwendemann, H.Müller,, O.Vöhringer, E.Macherauch</i>	15
On the Effect of Grain Size on the M_s -Temperature of Fe-C-Ni-Alloys <i>J. Pietikäinen</i>	26
An Investigation of the Bainite Transformations in Fe-Ni-C- and Fe-Si-C-Alloys <i>Chengji Li, G.R. Purdy</i>	32
Bainite Transformation in Si-Mn-Mo-V-Steels <i>Gu Quan-Cheng, Yang Rang</i>	47
The Numerical Method for Mathematical Treatment of TTT-Curve and its Application <i>Gou Wen-Li, Yao Gou-Zi</i>	60
Hardenability: An Alternative to the Use of Austenitic Grain Size as Calculation Parameter <i>M.P. de Andrés, M. Carsi</i>	70
Prediction of the Macro-Hardness by Help of the Individual Hardness of the Microstructural Elements <i>S. Somogyi, M. Gergely</i>	84
Innere Reibung bei den Martensitumwandlungen in Fe-20Ni- und Fe-12Mn-Legierungen <i>I.M. Parsharov, M. Weller</i>	91
Theoretische und experimentelle Untersuchung der Eigenspannungen in kontinuierlich und diskontinuierlich abgeschreckten Zylindern aus 42 CrMo 4 <i>P. Graja, H. Müller, B. Scholtes, E. Macherauch</i>	100
The Investigation of the Ageing Process and α - γ - α -Transformation in the Maraging Steel of Fe-Ni-Co-Mo-Ti-Type <i>N.Vidojević, N.Novocić-Simović, M.Rogulić, B. Andjelić</i>	124
Influence of Hot-Deformation on Morphology and Effective Grain Size of Lath Martensite in 18Ni Maraging Steel <i>C.K. Yao, Z. Xu</i>	132

	page
Effect of Chromium and Microstructure on the Bending Fatigue of 0.75Mo-1.8Ni-0.80C Steels <i>J.B. Kelley, G. Krauss</i>	147
The Low Carbon High Strength Martensitic Steel (russ.) <i>J.-A. Bashnin, V.K. Galkin</i>	164
Formation de Graphite Spheroidal par Recuit de Graphitisation de la Matrice Bainitique d'une Fonte G.S. <i>J.P. Chobaut, J. Saverna, J.M. Schissler</i>	169
Structure and Morphology of Interstitial Phase in Secondary Hardening Steels <i>Ju.I. Ustinovshikov</i>	180
A Study of Modified Martempering of Ball Bearing Steel <i>Xu Zuoren, Xu Guoying, Yu Jinxing</i>	202
A New Exploration of Strengthening and Toughening Heat Treatment of 40 Cr Steel <i>He Zerong</i>	214
Influence of Chemical Composition, Heat and Chemical Heat Treatment Regimes of Hot-Work Tool Steels on Thermal Fatigue Resistance (russ.) <i>V. Mitchev, B. Sokolanski</i>	233
The Role of High-Temperature δ -Ferrite in the Precipitation of Intermetallic Phases in Chromium-Nickel-Molybdenum Steels <i>E. Szpunar, J. Bielaniak</i>	244
The Studies of Forging-Quenching on Automobile Heavy Forging Components <i>Y.S. Yao, H.Y. Chen, S.C. Lu, B.S. Chang</i>	255
Influence of Substructure and Flow Stress of Ausformed Austenite on Strength of Ausformed Martensite <i>Z. Xu, C.K. Yao</i>	272
A Phenomenological Description of the Austenite-Martensite Transformation in Case-Hardened Steels <i>E. Füredi, M. Gergely</i>	291
Study of Strength and Toughness of 18Cr2Ni4W Steel with the Structure of Intermediate-Temperature Transformation Products and their Mixed Structures with Martensite <i>Yu Degang, Zhen Jinghong, Liang Zhenfeng, Shen Fufa</i>	302
Diffusional Transformation Kinetics from Austenized and Recrystallized Austenite <i>Y.M. Zhang, X.Y. Men, S.Q. Zhang, C.K. Yao</i>	318

	page
Influence of Metal Base Type, Shape of Graphite Inclusions and Chemical Composition of Cast Irons on Thermal Fatigue Resistance <i>B.M. Sokolanski, B.S. Mitchev, A.T. Levkov, D.M. Semkov</i>	329
An Approach for Calculation of M_n in Multicomponent Steels and its Application to Heat Treatment <i>Li Lin, T.Y. Hsu</i>	343
The Growth of Austenite Grain <i>Qi Zhengfeng, Wang Yuanzhu, Gao Hong, Wang Chunya</i>	353
Internal Friction Studies on the Aging of Fe-18Ni-0.80C Martensite <i>J. Ullakko, J. Pietikäinen</i>	361
Cellular Reactions at the Early Stages of Ageing in Zinc-Aluminium Based Alloys <i>Yao-Hua Zhu, S. Murphy</i>	367
Optimierung der chemischen Zusammensetzung des Stahles X40CrMoV51 im Hinblick auf die Härtebarkeit und Zähigkeit <i>H. Berns, F. Wendl</i>	378
The Recrystallization Behaviour of Austenite in the Reheating Cycle of Quenched M2 High Speed Steel, and the Formation of the Fish-Scale Fracture and its Elimination <i>Gu Nanju, Yan Dianyan, Xu Bojun</i>	392
An Investigation of Eliminating the Reversible Tempering Embrittlement of Steels by IHT <i>Wang Chuanya, Ding Zhimin, Xu Xiang</i>	418
Einfluß der Wärmebehandlung auf das Ermüdungsverhalten ledeburitischer Kaltarbeitsstähle <i>H. Berns, W. Trojahn</i>	427
Effect of La on the Isothermal Embrittlement of P-doped Ni-Cr Steel <i>Yang Yishi</i>	439
The Influence of the Microstructure of Martensite and Bainite on the Toughness of the Tool Steel for Forging Dies <i>He Shiyu, Feng Xiazeng, Gao Susan</i>	446
Determination of the Residual Elastic Microstrain in Al-Cu-Alloys <i>V. Sijacki-Zeravcic, M. Rogulic, V. Milenkovic</i>	456
Numerical Study of Phase Changes, Current and Residual Stresses at Quenching Bodies of Complex Configuration (russ.) <i>N.I. Kobasko, V.S. Marganjuk</i>	465

	page
Distribution Functions of Thermal and Structural Residual Stresses in Cylindrical Parts <i>Kang Datau, Zhang Hai, Nan Uen</i>	487
<u>Surface Hardening</u>	
Ein allgemeines mathematisches Modell zur Beschreibung thermochemischer Prozesse <i>H.U. Fritsch, H.W. Bergmann, H. Gerdes</i>	504
A Mathematical Model and Computing Method for the Prediction of Technological Parameters of Two-Stage Carburizing in Fluid-Bed Furnaces <i>T.Reti, F.Petrich, M.Cseh, F.Burista, Z.Kolzsvary, M.Barabassy</i>	520
Cémentation accélérée par commande numériques des fours <i>G. Prunel, J.P. Benchetrit</i>	531
Controlling Variables which Affect the Tempering of Carburized Gears <i>D. Rosenblatt</i>	543
Erfahrungen mit der rechnergesteuerten Tropfbegasung beim Gasaufkohlen in Mehrzweckkammeröfen <i>D. Grassl, B. Edenhofer, U. Wyss</i>	562
Perspectives of Development Low-Temperature Nitriding of Parts <i>J.M. Lachtin</i>	583
Equilibrium and Non-Equilibrium Models of Layers Formation During Ion Gas Nitriding <i>A. Marciniak</i>	591
The Dimensional Stability of Ion-Nitrided Nitralloy <i>Shu-fang Du</i>	609
Ion Nitriding of Steel and Titanium at Low Pressures <i>J.M.Molarius, K.U.Salmenoja, A.S.Korhonen, M.S.Sulonen, E.O.Ristolainen</i>	625
The Principle and Technology of Ion Carburizing and Carbonitriding <i>Han Li-min, Li Chun-yang, Chang Yong, Ma Deng-jie, Chen Min-xiong</i>	644
A Mathematical Model for Predicting Nitrogen Concentration Profile in Gas Nitriden Steel <i>V.C. Anchev, V.S. Simeonov</i>	663
Ионная химико-термическая обработка сплавов <i>J.M Lachtin, B.N Arsamasova</i>	677
Zähigkeit von Nitrierschichten auf Eisenwerkstoffen und ihre Kennzeichnung <i>H.-J. Spies</i>	681

MARTENSITE MORPHOLOGY IN STEELS

by

George Krauss
AMAX Foundation Professor
Colorado School of Mines
Golden, Colorado 80401 USA

ABSTRACT

This paper reviews the major features of the lath and plate martensites which form in steels. Recent observations from the literature are incorporated with the characterization of martensite morphology which emerged about 15 years ago, and some implications of the effect of morphology on the deformation and fracture of steels are briefly described. It is noted that the study of martensite morphology, i.e., the size, shape, and distribution of martensite crystals, is important because it stresses the role martensite plays as a component of the complex microstructural systems which constitute heat treated steels.

THE MORPHOLOGY OF MARTENSITE

It is a great honor to participate in this congress which recognizes the accomplishments of Adolf Martens. His work in the late nineteenth century, together with that of a small international group which included Sorby, Tschernoff, Osmond, Brinnell, Roberts-Austen, Howe, and LeChatelier, firmly established metallography as a powerful tool to characterize phase transformations and structure, and therefore, the behavior and properties of metals and alloys (1). Martens examined acid-extraction residues, fracture surfaces, and polished and etched surfaces of steels and cast irons, and in recognition of observations derived from this approach, Osmond suggested that the phase which hardens steel be named "martensite". The now internationally accepted term martensite has immortalized Martens and is presently used to identify any phase which forms by a diffusionless, displacive solid state phase transformation in ferrous, nonferrous, and ceramic systems.

Today in Berlin, a large, international group of investigators continues to explore the heat treatment approaches which exploit the remarkable structure and properties of martensite. We have learned much about this phase (2-5), but many important questions remain. In particular, we must understand martensite as a component of a microstructural system, not just as an isolated crystal formed by shear, and that various heat treatment procedures significantly affect our idealized understanding of martensite. For these reasons, martensite structure and morphology, i.e., the substructure, shape, and arrangement of martensite crystals, are important. Other important microstructural components in a hardened steel include remnants (prior austenite grain boundaries or retained austenite) of the parent austenite, inclusions, many forms and arrays of carbides produced during austenitizing, quenching and tempering, proeutectoid ferrite, pearlite or bainite, and impurity atom segregation produced by austenitizing or tempering.

Surface Hardening (cont.)

	page
Ablauf der Ermüdung in randschichtgehärteten Bauteilen <i>H. Berns, L. Weber</i>	691
Residual stresses and microstructures in laser hardened medium and high carbon steel <i>T. Ericson, Yao Shan Chang, M. Melander</i>	702
The Laser Hardening of Ring Grooves in Medium-Speed Diesel Engine Pistons <i>A.S.Bransden, S.T.Gazzard, B.C.Inwood, J.H.P.C. Megaw</i>	734 ✓
Corrosion Behaviour of Carbon Steels Treated with Power Laser <i>P. Matteazzi, L. Giordano, M. Magrini, A. Zambon</i>	749
Der Einfluß passivierender Schichten aus vorgeschalteten Arbeitsvorgängen auf den Ablauf thermochemischer Diffusions- prozesse <i>A. Schreiner</i>	758
Ion Surface Alloying <i>Zhong Xu, F.Y. Gu, Z.M. Wang, J.D. Pan, W.N. Zheng, T.H. Han, B.H. Fan</i>	785 ✓
Application of Low Frequency Induction Hardening to the High Hardness-Deep Hardness Penetration Rolls <i>M. Fukushima, A. Hoshi, K. Akahori</i>	809
The Investigation and Application of LT Process <i>Hu Yizhen, Zu Qing, Yuan Xianchun</i>	830
Mechanical Properties of Ion Carbonitrided Layers and Comparison with Conventional Gas Carbonitrided Layers <i>Xia Lifang, Lu Yuyan, Guo Xiuwen, Yu Hongyan</i>	845
Effect of the Activity of Rare Earth Elements on Carbonitriding Process <i>Y.D.Wei, Z.R.Liu, C.Y.Wang, X.H.Cheng, S.Y.Li, G. Cheng</i>	858
Effect of Deformation-Nitrocarburizing combined Treatment on Mechanical Properties of Fe-0.08 C Steel <i>Liu Zhi-ru, Meng Xiang-cai</i>	867 ✓
Influence of the Nitrided Layer Structure and Surface Pressures on its Wear Resistance by Friction <i>T. Burakowski, J. Senatorski, J. Tacikowski</i>	874
Nitritanieren und Nitrieren von Werkzeugen aus Schnellarbeitsstahl <i>L. Földvary, Z. Nemeth</i>	885
Comparison of Properties of Nitriding and Oxy-Sulpho- Nitriding Diffusion Layers in Gaseous Thermo-Chemical Treatment <i>K. Szczecinski, M. Wysiecki</i>	896

	page
Forschung nach neuer Technologie des Borierens auf galvanischer Kobaltschicht <i>Tang Ze-yi, Yang Yu-Xiong</i>	906
A Few Aspects of Layer Formation in Plasma Boronizing <i>E. Filep, S. Farkas, Z. Kolozsvary, D. Biro</i>	926
Plasmanitrieren von Zahnrädern in der Serienfertigung <i>A. Roelandt, J. Elwart</i>	940
The Research of Transformation During Heating by Laser <i>An Shimin, Wang Ru, Qi zhengfeng</i>	952
Chemisches Gleichgewicht oder Ungleichgewicht bei Aufkohlungsatmosphären <i>C.H. Luiten, H.J. Grabke, W. Göhring</i>	970
Stand der Anwendung von mathematischen Modellen bei Gasaufkohlungsprozessen <i>M. Stupnisek</i>	978
Anticarbonizing Diffusion Barrier in High-Alloyed Cast Steel Fe-Cr-Ni <i>M. Wysiecki, P. Christodulu</i>	987
Middle-Carbon Case-Hardening High-Speed Steel <i>J. Wyszowski, J. Szyska, W. Panasiuk, W. Szatkowski</i>	999

Surface Layers

Surface Engineering of Titanium with Nitrogen <i>T. Bell, H.W. Bergmann, J. Lanagan, P.H. Morton, A.M. Staines</i>	1008
Investigation on TiC-Protective Coating on Iron Base Alloys by Powder Pack Method <i>K. Yoshida, M. Kawakami</i>	1033
Titanium Diffusion Coating by the Pack Process: Effect of Diffusion Mixture on the Microstructure <i>S. Hirai, S. Ueda</i>	1044
Effect of Subsequent Heat Treatment on the Adhesion and Properties of Ion Plated TiN-Coatings <i>A. Korhonen, J. Pimiä, M. Sulonen</i>	1074
Mechanical Characteristics of TiN, TiC Coatings Using PVD and CVD <i>J.P. Peyre, F. Rohart, J.J. Tessier</i>	1085
Practical Experience of Using Chemical Vapor Deposition Coatings to Resist Wear, Corrosion and Oxidation <i>A. Kempster, C.C. Hanson, J.R. Smith</i>	1094

	page
Carbide Coatings in Molten Borax Bath - Growth Mechanism of Layer, Properties and Application <i>H. Fujita, T. Arai</i>	1109
Diffusion Annealing <i>P. Möller, E. Ravnborg</i>	1125
Das Verzinken von Stahldraht direkt von der Temperatur des Rekristallisations Schnellglühens <i>J. Szota, L. Cieslak</i>	1144
On the Production Possibilities of a Hot Dip Galvanized Dual-Phase Steel <i>S. Mäkimattila</i>	1154
Boron Aluminizing by Pasty Agent <i>Zhang Zhengxin, Li Fengzhen</i>	1169
Morphology of the Diffusion Layers in the Hot Dip Galvanized Steel Wires <i>J. Szota</i>	1177
The Layer-Assisting Toughening and Strengthening-Toughening Treatment <i>Xu Shou-lian, Wang Ji-ru, Jin Tian-fu</i>	1183
Растрескавание Диффузионного Слоя Цинкового Покрытия на Стальной Проволоке во Время ее Волочения <i>Е. Шота</i>	1194

Energy, Cooling

Economy - Efficiency - Energy Saving in a Modern Heat Treating Unit <i>I. Montevicchi</i>	1200
Technological Energy Consumption of Heat Treatment of Gears <i>T. Burakowski, A. Sala, A. Wozniak</i>	1214
Economy of the Resources for Heat Treatment in Electrical Furnaces with Controlled Atmospheres <i>V.D. Artemjev, M.N. Leonidova, J.J. Maegrois, V.A. Revsin, V.J. Filippov</i>	1234
Wirkung der Gasatmosphären auf das Gefüge verschiedener Werkzeugstähle <i>C. Béguin, A. Kulmburg, J.P. Guignard, J.M. Rufer</i>	1238
Polymer Quenchants: Evaluation of Technical and Environments Properties <i>S. Segerberg</i>	1254

	page
Microcomputer-gestütztes Sonde-Etalon-Verfahren zur Messung der realen Abschreckintensität und zu Vorausbestimmung der Härteverteilung am Rundquerschnitt beim Härten <i>B. Liscić, T. Filetin</i>	1266
Accelerated Cooling of Steels and Cast Irons in a Fluidized Bed <i>R. Pulkkinen, J. Virta</i>	1264
The Cooling Characteristics of Fluidized Bed and its Application for Quenching of Steels and Aluminium Alloy <i>Zhou Rulin, Huang Genlian</i>	1293
New Process for Gas Chromizing and Quenching <i>N. Kanetake</i>	1320 ✓
Werkstoffspezifische, anwendungstechnische und ökologische Fragen in der modernen Wärmebehandlungstechnik <i>K. Leban</i>	1346
Fluidized Bed Heating for Hardening of Files <i>F. Burista, F. Petrich, Z. Rogalski, Z. Obuchowicz</i>	1363
Investigation of Nitrogen-Based Protective Atmosphere in High Temperature Fluidized Bed Furnaces <i>Zhao Ai-mei, Yang An-jing</i>	1374
Laser Thermochemical Treatment of Metals and Alloys (russ.) <i>J.D. Kogan</i>	1393
Heat Treatment as one of the Stimuli of the Energy Consumption Decrease in Industry <i>A. Sala, T. Burakowski</i>	1403
The Economizing on Energy of Ion Thermochemical Treatment <i>Xia Lifang, Lu Yuyang</i>	1422
Plasmacarburieren, seine wissenschaftlichen, technischen und betriebswirtschaftlichen Aspekte <i>F. Hombeck, W. Rembges</i>	1430
The Progress of the Ion Thermochemical Treating Furnace <i>Xia Lifang, Lu Yuyan, Guo Xiuwen, Yu Hongyan, Wang Shouzi, Yu Hintai</i>	1440
Effect of High Temperature Rolling on Microstructure and Properties of High Speed Steel CW9Mn3Cr4VN <i>Z.R. Liu, S.G. Qi, S.X. Cheng, S.M. Song, G.Z. Pan, T.C. Lei</i>	1445
Homogenization Heat Treatment and the Hot Workability of the Ingots of Al-Mg-Alloys <i>M.M. Sultan</i>	1458
Исследование Теплообмена и Расчет Графиков Охлаждения Стальных Изделий в Полимерных Закалочных Жидкостях <i>В.И.Филиппов, М.Б.Гутман, В.Г.Кауфман, Р.Г.Гольцева</i>	1503

ABLAUF DER ERMÜDUNG IN RANDSCHICHTGEHÄRTETEN BAUTEILEN

H. Berns und L. Weber
Ruhr Universität Bochum
Institut für Werkstoffe

Der Einfluß einer Randschichthärtung auf Ermüdungsvorgänge wird anhand von Flammhärtung an Flachproben aus 34 CrMoS 4, die unter 4-Punkt-Biegeschwellbeanspruchung bis zum Bruch belastet werden, dargestellt. Erörtert wird der Kurzzeitfestigkeitsbereich anhand exemplarischer Beispiele. Der Ermüdungsablauf während der Schwingbeanspruchung wird durch Ermittlung der Anrißbildung, Verfolgung der Schwingungsrißausbreitung durch Ultraschall-Oberflächenwellen sowie durch Aufzeichnung von Proben temperaturverläufen diskutiert. Die in der Randzone der Proben vorliegenden Eigenspannungssysteme werden vor der Belastung und danach dargestellt.

EINLEITUNG

Bei Werkstücken unter Biegebeanspruchung treten die maximalen Beanspruchungen an der Oberfläche auf. Da die Oberfläche einer Probe auch am empfindlichsten für Ermüdung ist, wird die Rißbildung in der Regel an der Oberfläche stattfinden. Die Werkstoffreaktionen unter Schwingbeanspruchung lassen sich nach /1,2/ in vier Bereiche unterteilen:

- I. strukturmechanische Gefügeveränderungen (anrißfreie Ermüdungsphase)
- II. Mikrorißbildung
- III. stabiles Rißwachstum
- IV. Bruch

Bereich I und II beinhalten Mikromechanismen, die sich an der idealen Laborprobe nachweisen lassen. Im anrißfreien Bereich bestimmt nach /1,2/ die Ausbildung charakteristischer Versetzungsstrukturen (Zellstruktur, Debrisstruktur) das Ermüdungsverhalten. Der sich kontinuierlich anschließende Rißbildungsbereich wird nach /2,3/ bestimmt durch die Ausbildung lokaler Werkstofftrennungen in Oberflächenkörnern (Gleitbänder). Der Rißwachstumsbereich kann in zwei Stadien unterteilt werden. Das erste Stadium beinhaltet Rißausbreitung im Korngrößenbereich mit anschließendem Makrorißwachstum im Stadium zwei. Da bei den hier untersuchten Proben eine technische Oberfläche vorlag, kommen Oberflächeneinflüsse wie Rauigkeit, Kantentkohlung, Oberflächenfehler sowie oberflächennahe Eigenspannungssysteme voll zur Wirkung. Aus diesem Grund beschränken sich die Untersuchungen auf Bereich III und IV mit Beschreibung des stabilen Rißwachstums bis zum Probenbruch.

Eine Steigerung der Ermüdungsfestigkeit, d.h. ein Verschieben der Rißbildung zu späteren Zeiten und eine Verzögerung der