

進するものである。

5. このバナヂウム腐蝕の防止方法として次の4つの方法を行つた。

- (i) Al を試料表面に溶射する方法
- (ii) 試料表面にニッケル鍍金, 或はクロム鍍金を行う方法
- (iii) 重油中に存在する V_2O_5 に相当する CaO, MgO, ZnO, その他のものを添加する方法
- (iv) セラミック・コーティングを行う方法

これ等の方法で比較的短時間の試験を行つた処ではセラミック・コーティングが最も有効的である。又重油中に CaO, MgO, ZnO を添加する事も有力な手段と考える。

(昭和 28 年 9 月寄稿)

文 献

- 1) P. Lloyd and R. P. Probert: I. Mech. E. (1950) 206
- 2) G. W. Rathenan and J. L. Meijering: Metal Progress (1950) Sep. p 167
- 3) Anton Des Brasunas and N. J. Grant: Iron Age (1950) Aug 17. p 85
- 4) Wilson G. Hubbell: Metal Progress (1951) Dec. p 87
- 5) W. Stauffer: Schweizer Archiv für Angewandte Wissenschaft und Technik 12 (1951) 17
- 6) The Iron and Steel Institute, Symposium on High Temperature Steels and Alloys for Gas Turbines (London:1952)

強靱鋼の低温焼戻状態に於ける切欠靱性に及ぼす 試験温度の影響

(昭和 28 年 10 月本会講演大会にて講演)

河 井 泰 治*・西 田 源 泉*

EFFECT OF TESTING TEMPERATURE ON NOTCHED IMPACT TOUGHNESS OF CONSTRUCTIONAL ALLOY STEELS TEMPERED AT LOW TEMPERATURES

Taiji Kawai and Motoshi Nishida

Synopsis:

It is known that the notch strength and the notch toughness are considered to be the important characteristics for constructional alloy steels possessing higher level of strength.

From the results of former investigations, one of the authors found out that low tempering temperature embrittlement of hardened alloy steels which occurred at tempering temperatures of 300~350°C markedly reduced the notch strength of the steels under various testing conditions, such as repeating impact, tensile and fatigue tests performed to see the properties of notched bar.

This report was intended to state the studies made on the effect of testing temperatures, varying from -70 to +200°C on Charpy impact values with two heats of Ni-Cr steels which were oil-hardened and then tempered at various temperatures ranging from 100 to 450°C. From the results it was noted that the transition temperature, observed from impact value, was apparently a function of the tempering temperature, and that the tempering within the range of embrittlement caused a higher transition temperature, whereas the tempering at approx. 200°C resulted in

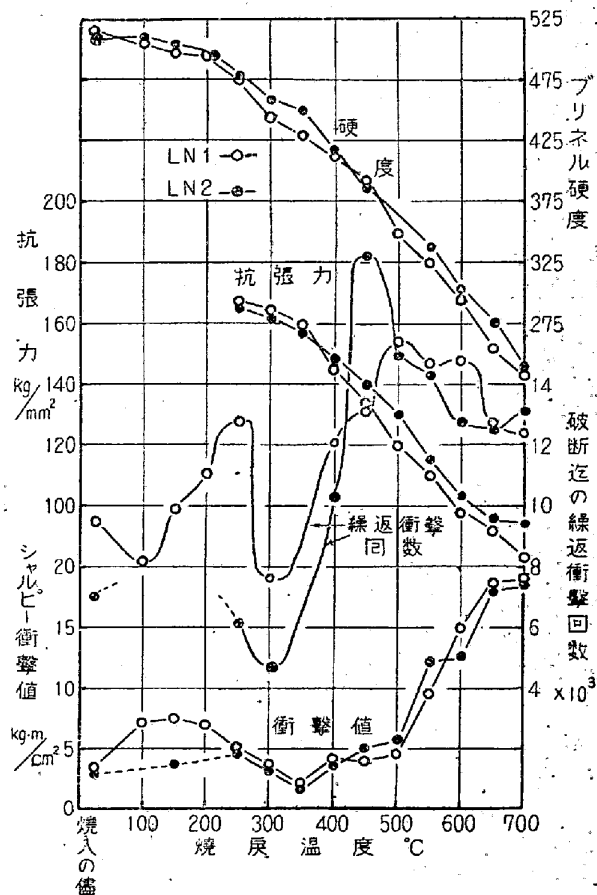
* 住友金屬工業株式會社製鋼所

the lowest transition temperature. Referring this result to the results of studies made by other investigators, on the influencing factor on low-tempering-temperature embrittlement together with the factors generally affected on the transition temperature of steels, the authors suggested the possible reduction of the embrittlement by improving steel-making process, especially by means of the careful operation in the practice of deoxidation, dephosphorization, nitrogenfixation and grain-size controlling.

I. 緒 言

強靱鋼の低温焼戻時の衝撃値は焼戻温度により特徴ある変化を生じ普通 200°C 焼戻附近に極大、300~350°C 附近に極小を生ずることはかなり古くから知られている。筆者の一人は先に各種の強靱鋼について焼戻温度の引張、衝撃、衝撃疲労、切欠引張及び標準並に切欠付回転曲げ疲労等の機械的成績に及ぼす影響を試験した結果¹⁾²⁾、完全焼入後焼戻した強靱鋼に於いては切欠による応力集中或いは衝撃的負荷が全然作用しないような理想的な負荷条件では抗張力の高い程破断強度が大であるが一般の使用条件の如く切欠或いは衝撃が作用する場合は応力集中及び歪速度の増大に伴い或臨界焼戻温度以下の低温焼戻状態に於ける強度が抗張力との平行関係より偏倚し低下し、その低下の傾向は前記の 300~350°C 附近の低温焼戻脆性域及び焼入の儘の内部応力の高い状態に於いて特に甚しく 200°C 焼戻附近では却つて或程度回復することが知られた。第 1 図は本報で用いた 2 種の低 Ni-Cr 鋼について前報の結果¹⁾を引用したものであり衝撃疲労強度の変化は明らかに前記の傾向を現わしている。

以上の如く低温焼戻脆性が高抗張力状態の切欠強度並に切欠靱性に対し大きな影響を及ぼしていることが知られたので、この脆性を軽減せしめることが出来れば強靱鋼の低温焼戻状態に於ける安全性を増す訳であり工業的な価値が大きいと考えられる。この脆性に関しては Grossmann³⁾、Luerssen 及び Greene⁴⁾ 等による残留オーステナイトの分解による説、荻原博士⁵⁾の P、S の悪影響特に P と Mn とが共に多く含有される場合に脆化が著しいという実験結果、Swinden 等⁶⁾によるオーステナイト粒度の影響、Schrader 等⁷⁾による熱処理条件及び Al 添加の影響に関する実験結果と脆化の原因は Mn 又は Cr の窒化物の析出によるとの推論、これに対する Payson⁸⁾の反論、高尾、国井両氏⁹⁾による窒素と無関係に Al、Ti 及び Mo が好影響を及ぼすとの実験結果、Cohen 等¹⁰⁾による残留オーステナイト説の否定とマルテンサイトの焼戻機構に基づくとの推論等が報告されているが未だ本質的な解明がなされていない。



第 1 図 低 Ni-Cr 鋼に於ける硬度、抗張力、衝撃値並に松村式衝撃疲労試験結果に及ぼす焼戻温度の影響

筆者等が行つた含硼素鋼の実験結果¹¹⁾では十数溶解の各種強靱鋼に於いて Al+B、或いは Al+Ti+B 処理を行つたものは Al 添加のみのものに対して例外なく低温焼戻時の靱性が向上することが知られたが、前述の文献で知られることとあわせ考えれば鋼質の良否を左右する脱磷、脱酸、脱窒、粒度調整、焼入性等の問題が低温焼戻性能に対し支配的な影響を及ぼすのではないかと推察される。

一方鋼の低温に於ける切欠強度及び靱性に関しては既に 1934 年に Herty 等により注目すべき報告がなされているが¹²⁾戦時中より米国に於いて造船用鋼板の試験に大きな役割を演じ、低合金鋼に於いても多くの研究がな

第1表 供試材の成分、變態點、焼入溫度及粒度

記號	化學成分 (%)									變態點 °C		燒入溫度 °C	燒入溫度に於ける粒度 Gg
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Ac ₁	Ac ₃		
LN1	0.32	0.25	0.79	0.014	0.024	0.07	1.89	0.99	0.05	720	770	850	7.5
LN2	0.38	0.30	0.96	0.011	0.023	0.05	1.88	1.00	0.04	715	765	850	7.0

され、製鋼条件特に脱酸、脱窒及び粒度調整、熱処理特に焼入の完全、不完全及び高温焼戻脆性並に各種の合金成分、不純物等の諸因子が切欠の形状、歪速度と共に材料の遷移温度に対し大きな影響を及ぼすことが知られており¹³⁾¹⁴⁾特に高温焼戻脆性に関しては最近多くの発表がなされている¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾。

以上述べた如く低温焼戻脆性と一般の遷移温度の問題は共に鋼質の良否が大きな影響を及ぼしていると思われるので、本報では低温焼戻状態の強靱鋼の切欠靱性が試験温度により如何に変化するかについて実験を行い、従来明らかにされていなかた低温焼戻温度の遷移温度に及ぼす影響を調査した。(註1)

II. 供試材

供試材は前報¹⁾に於いて低温焼戻脆性が顕著に現われた2種の低Ni~Cr強靱鋼を用いた。いずれも6t塩基性電気炉で熔製し300kg鋼塊を鋳込み、鍛造及び圧延により14mm角の棒鋼としたもので、成分、變態點、焼入溫度及び粒度は第1表の通りである。

III. 實驗方法

前記の素材を870°C×1hr→空冷後、片側0.25mmの仕上代を残し粗仕上したシャルピー試験片を多效作製し脱炭を防止しつゝ下記の熱処理を行い正規寸法に仕上げた。シャルピー試験片はJES標準寸法によつた。

焼入; 850°C×30min→油冷

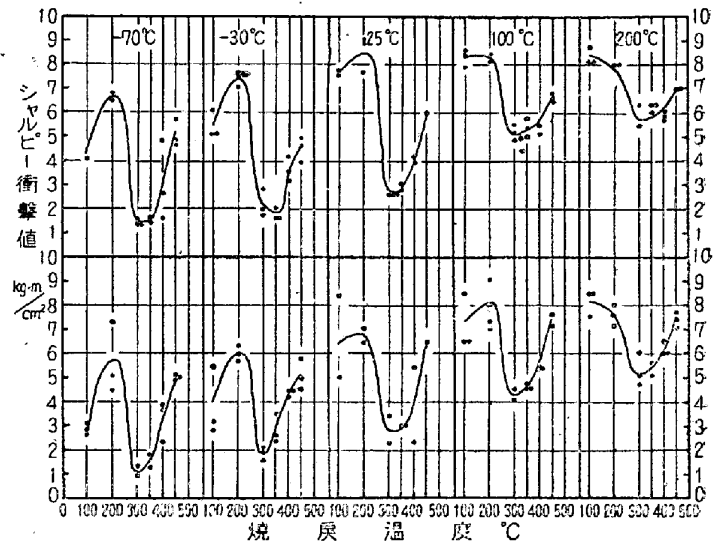
焼戻; 100, 200, 300, 350, 400 及び 450°C
×2hr→空冷

衝撃試験温度は200, 100, 25, -30 及び -70°Cの5条件とし、その温度の恒温浴中に30min保持した後素早く取出して衝撃試験を行つた。破断迄の所要時間は4sec以内でその間の温度変化は無視した。尚同一試験条件のものについて3ヶ宛試験を行つた。使用したシャルピー試験機の衝撃速度は約4.7m/secである。

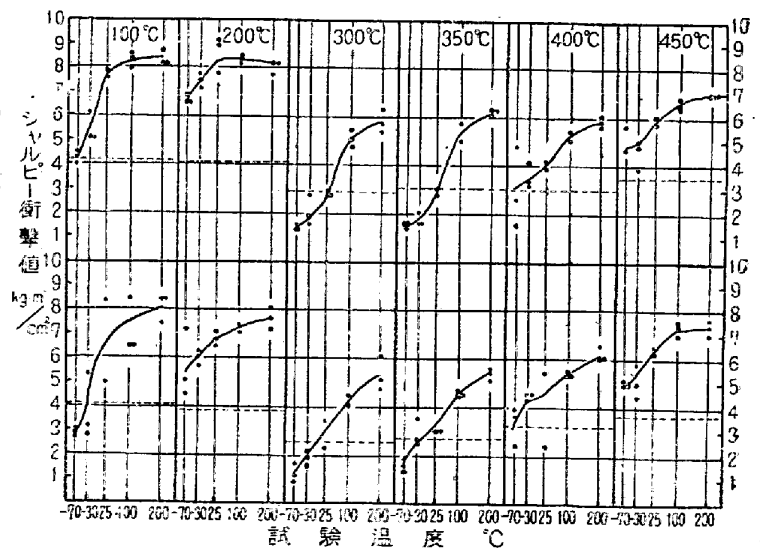
IV. 實驗結果

両供試材についての試験結果は第2及び3図に示した

如くである。即ち



第2圖 各試験温度に於ける衝撃値に及ぼす焼戻温度の影響
(供試材上段 LN1, 下段 LN2)
圖中の数字は衝撃試験温度を示す



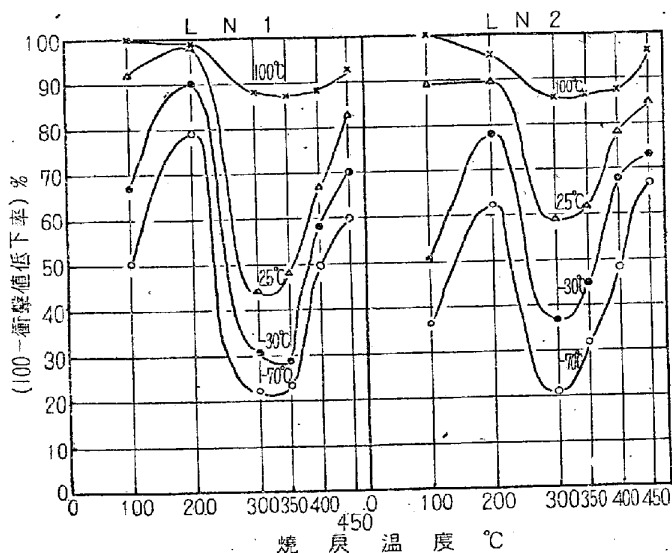
第3圖 各焼戻温度に於ける衝撃値に及ぼす試験温度の影響 (供試材は上段 LN1, 下段 LN2)
圖中の数字は焼戻温度を示す
圖中の點線は衝撃値低下率50%を示す

1.) 第2圖より焼戻温度と衝撃値の関係曲線は試験温

度により著しく変化し 200°C 焼戻の極大値は低温でもあまり低下しないが、300~350°C 焼戻の脆性域の極小値は試験温度が高ければかなり良好であるが、常温では既に低下し試験温度の降下と共に深い谷となる。但し本実験の範囲内では各試験温度共曲線の傾向はよく類似している。

2.) 第3図より各焼戻温度に於ける衝撃値に及ぼす試験温度の影響は、200°C 焼戻が最も衝撃値の低下が少なく 100°C 焼戻は 100°C では良好であるが常温附近より急激な低下を生じ、300 及び 350°C 焼戻では最も著しい減少を示し、更に高温の焼戻では順次回復するが、450°C 焼戻でも 200°C 焼戻の場合に比し良好とは言えない。

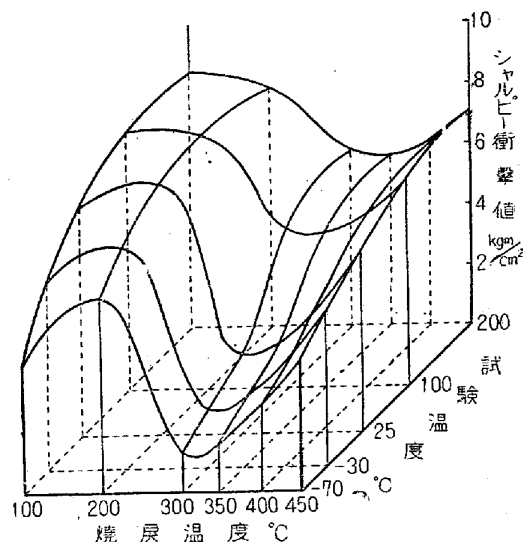
3.) 各焼戻状態に於いて本実験範囲内で最高の衝撃値を 100% とし、試験温度の衝撃値低下率に及ぼす影響を両供試材について図示すれば第4図の如く、仮りに衝撃値が 50% になる温度を以つて遷移温度とすれば 300~350°C 焼戻の脆性域では遷移温度は常温附近にあり -70°C では 200°C に於ける値の 25% 以下に低下する。これに対し 200°C 焼戻のものは最良の成績を示し -70°C でも尚 60% 以上の値を有し遷移温度は更に低温にあることが知られる。焼戻温度が 450°C に上昇すれば靱性はかなり回復し遷移温度が降下する。(註2)



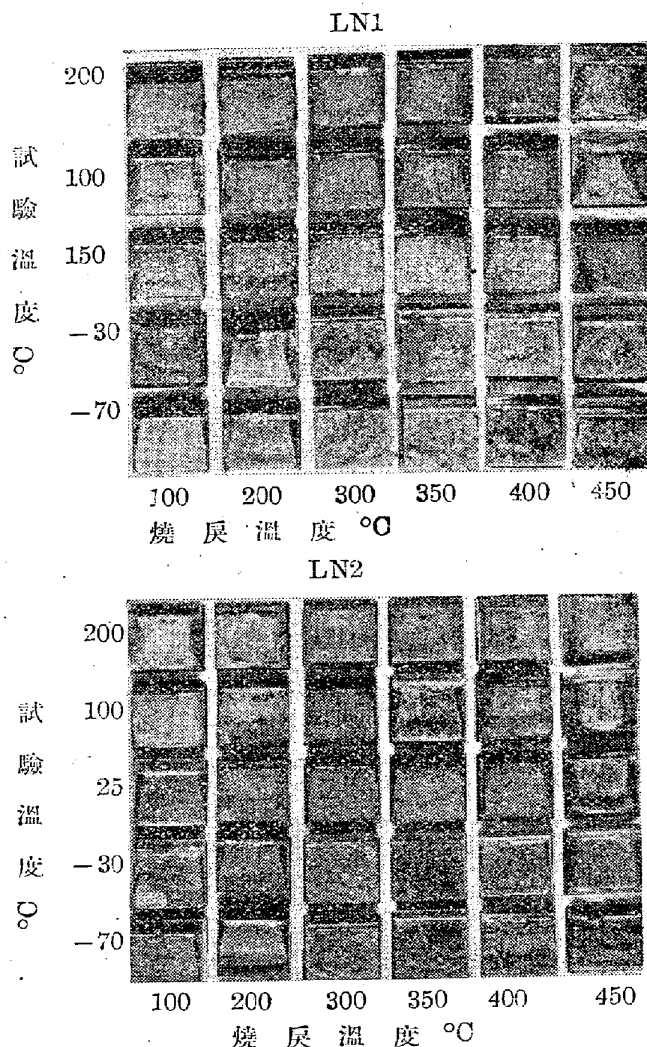
第4図 各試験条件に於ける衝撃値低下率
(各焼戻状態に於ける最高衝撃値を 100% とす)
図中の数字は衝撃試験温度を示す

4.) 以上の結果より衝撃値に及ぼす焼戻温度並に試験温度の影響を立体的に図示すれば第5図の如く、三者の関係が明瞭に知られる。

5.) 破断面は第6図に示す如く試験条件により特徴ある変化を生じ、破断に際して生じた塑性変形程度が傾向



第5図 衝撃値、焼戻温度及試験温度の立體關係圖
供試材; LN1



第6図 各試験条件に於ける破断面状況

的に知られる。200°C 及び 300~350°C 焼戻組織は光学及び電子顕微鏡的に明瞭な相違がみられるが脆性の原因を確証することは出来ない。

V. 結果の検討

低 Ni~Cr 鋼の 100~450°C の焼戻範囲に於ける切欠靱性は -70~+200°C 間の衝撃試験温度により著しい影響を受け各焼戻温度に於ける衝撃値は遷移温度の変化と密接な関連があることが知られた。この実験結果は低温焼戻脆性の本質を解明するものではないが、従来低温焼戻脆性に対し影響するとされてきた因子と、一般に遷移温度を左右する因子とは共通なものが多く、しかも低温焼戻性能そのものが試験温度により大きな影響を受けることが確認せられた訳であり、従つて低温焼戻時の切欠強度並に切欠靱性の改良はこれらの諸因子即ち脱酸、脱窒、脱磷、粒度、焼入組織等の統御によりある程度なし得るものと思われ現に含硼素鋼に於いてその効果が実際に見られるのであるが更に本質的な研究及び工業的な検討が必要である。

尚衝撃値は一定の形状、大きさの試験片を一定条件で破断した場合の吸収勢力であり本実験結果の如く α 鉄系に於いては試験温度により著しく変化する上、更に切欠の形状、試験片の大きさ、衝撃速度等により遷移温度が変化することに注意しなければならぬ。例えば常温で小試験片ならば粘性破断する材料が、大きな試験片ならば脆性破断を生ずることは常に見られるところであり、Bullens がその著書に記している如く¹⁵⁾ 低温に於ける切欠強度及び靱性の試験は単に低温で使用される材料に対してのみでなく、実際の品物の常温に於ける破損機構を検討する上に役立つものと思われる。又同時にこれらの試験は鋼質の良否を誇張した条件下で判定する上にも重要な役割を演ずるものと考えられる。

VI. 結 言

強靱鋼の低温焼戻状態に於ける切欠強度並に靱性は高抗張力状態で使用される場合重要な課題であり所謂低温焼戻脆性がこの種の鋼の各種の負荷条件に対する強度に大きな影響を与えることを指摘し得る。本報では 2 種の低 Ni~Cr 鋼について完全焼入後種々の低温焼戻状態に於けるシャルピー衝撃値が試験温度により如何に変化するかを試験した結果、遷移温度は焼戻温度により著しく変化し、衝撃値が極大になる 200°C 焼戻では低温に於ける靱性の低下が最小であり、これに対し 300~350°C 焼戻の脆性域では常温附近で既に著しい低下が見られた。この結果及び従来の研究者により低温焼戻脆性に影響を及ぼすとされている因子と一般に鋼の遷移温度を左右すると言われる因子が共通なものが多い点をあわせ考えればこれらの因子特に脱酸、脱窒、脱磷、粒度調整

等の統御により、この脆性を軽減せしむることが可能であると考えられる。

(註 1) E. J. Ripling は Cohen 等¹⁰⁾ の報告に対する論議に於いて低温焼戻脆性により遷移温度が変化することを推定しているが実験結果は得られていない。

(註 2) 遷移温度には種々の定義があり破面によるものと衝撃値によるものとに大別されるが、本報では衝撃値が最高値の 50% になる温度を以つて遷移温度とした。(昭和 28 年 11 月寄稿)

文 献

- 1) 河井, 小川: 鐵と鋼, 37 (1951) 153
- 2) 河井, : 本會第 40 回大會講演大要 (1950)
- 3) M. A. Grossmann: Iron Age, 114 (1924) 149
- 4) G. V. Luerssen & O. V. Greene: Trans. A. S. M. 23 (1935) 861
- 5) 萩原: 鐵と鋼, 28 (1942) 1209
- 6) T. Swinden & G. R. Bolsover: Journal of Iron & Steel Inst. 2 (1936) 457
- 7) H. Schtader, H. J. Wiester u. H. Siepmann: Arch. Eisenhüttenw. 21 (1950) 21
- 8) P. Payson: Iron Age, (1951) sept. 27~86
- 9) 高尾, 岡井: 鐵と鋼, 38 (1952) 10—110 (講演大要)
- 10) L. S. Castleman, B. L. Averbach & M. Cohen: Trans. A. S. M. 44 (1952) 240
- 11) 河井, 井上, 小川: 鐵と鋼, 39 (1953) 602 及 716
- 12) C. H. Hertzy, Jr. & D. L. McBride: Co-operative Bulletin 67 "Physical Chemistry in Steel Making" (1934)
- 13) H. W. Gillet: "Impact Resistance & Tensile Properties of Metals at Subatmospheric Temperatures" (1941) A. S. T. M.
- 14) "Low Temperature Properties of Ferrous Materials" S.A.E. Handbook (1952) 102
- 15) M. Baeyertz, W.F. Craig & J.P. Sheehan: Trans. A.I.M.E. Metals Div. 185 (1949) 535, 188 (1950) 389
- 16) A.P. Taber, J.F. Thorin & J.F. Wallace: Trans A.S.M. 42 (1950) 1033
- 17) B.C. Woodfine: Journal of Iron & Steel Inst., 173 (1953) 229
- 18) D.K. Bullens: "Steel & Its Heat Treatment" Vol.1 174 (1948)