

CalやLBLに来られた方々の生活ぶりについて。まさに千差万別であった。レジャーに徹する人、日本そのままにworkaholicな人、半年で帰る人、LBLに就職する人。従って一概には言えないが、私のように企業から2年程度派遣される人に限定すれば、この間にもし何らかの研究成果をあげるつもりならば、かなりの自己主張が必要だと感じた。自分がここに来て何をやりたいか、成果として何を期待しているかを初めからはっきり言って、それ相応の研究の道具立てを手に入れることが、限られた時間で目的を達成するための第一歩だと痛感した。

文 献

- 1) G.A.Somorjai: Surf. Sci., **299/300**(1994), p. 849
- 2) M.A.Van Hove and G.A.Somorjai: Surf. Sci., **299/300**(1994), p. 487
- 3) M.Nakazawa and G.A.Somorjai: "Adsorption of Substituted Benzenes on Polycrystalline Gold and on Zinc Oxide and Iron Oxide Overlayers", Appl. Surf. Sci., **68**(1993), p. 517
- 4) M.Nakazawa and G.A.Somorjai: "A Study on the Adsorption of Selected Organic Molecules to Model the Adhesion of Epoxy Resins", Appl. Surf. Sci., **68**(1993), p. 539
- 5) M.Nakazawa and G.A.Somorjai: "Coabsorption of Water and Selected Aromatic Molecules to Model the Adhesion of Epoxy Resins on Hydrated Surfaces of Zinc Oxide and Iron Oxide", Appl. Surf. Sci, submitted

(平成6年5月12日受付)

## 高窒素オーステナイト鋼の七不思議

友田 陽 / 茨城大学工学部

「鉄はまだまだ強くなる！ 我々は理論強度の20%くらいしか利用していない」という呼びかけに「なるほど」と思って鉄鋼協会特基研「鉄鋼の高強度化部会（牧正志部会長）」に参加させてもらった。原子結合から見積もった引張強さとせん断強さに対して現実の強度が著しく低いという事実から線形破壊力学と転位論が生まれた歴史がある。欠陥をもつ材料の強さがどこまで理論強度に迫れるのかという改めての問いかけを新鮮に感じた。鉄鋼といえばbcc系が主体で過去にあまりにも多くの研究がなされている。そこで筆者はfcc鋼の高強度化を勉強し比較してみようと考えた。オーステナイト鋼の最高強度は高窒素添加鋼で図1のように年々更新されつつあり現在は3.4GPaあたりまできているらしい（M. O. Speidel: Stainless Steels '91, (1991), p. 25, ISIJ）。その強化機構はどうなっているのか？ どこまで強くできるのであろうか？

窒素は $\gamma$ 形成元素および強化元素としてよく知られている。高濃度固溶状態で利用される代表例はリテーニング用の18Mn-18Cr-0.5N鋼である。最近では、製鋼技術の発展に伴い種々な鋼種がいろいろな分野で注目され始めたようである。不勉強のせいもあるが窒素添加オーステナイト鋼には新素材並に不思議に思うことが下記のようにいくつもあり、夢がある。

①窒素による固溶強化はFe-Cr-Ni系でもFe-Cr-Mn系でも著しく大きい。オーステナイトステンレス鋼の合金元素添加による固溶強化については、D. J. Dyson - B. Holmesの図（J. Iron Steel Inst., 208 (1970), p. 469）が有名である。C, W, Nbなど添加量1 at%あたりの0.2%耐力の増加

量と格子定数の変化の間に良い相関がみられる。ところがNのみは著しくはずれて強化量が大きい。なぜだろうか？置換型固溶原子との相互作用（IS結合）や短範囲規則化など有力な示唆がなされているものの真相はいまだ不明である。

②強度が増大しても靱性が低下しない。高度強化すると一般に靱性が低下して使えなくなる。延性・靱性を低下させずに強度を上げられる手法は組織の微細化のみであるとよく教わる。図2（M. O. Speidel：前記文献）をみるとオーステナイト鋼に窒素を添加して常温の強度を上げた場合

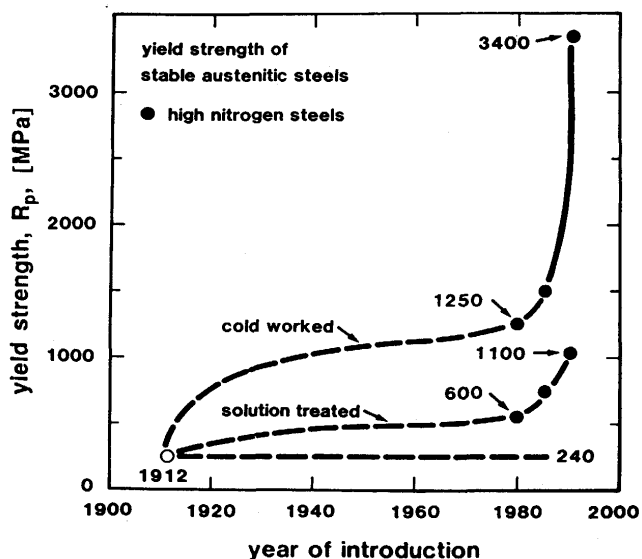


図1 高窒素オーステナイト鋼の高強度化 (Speidel)

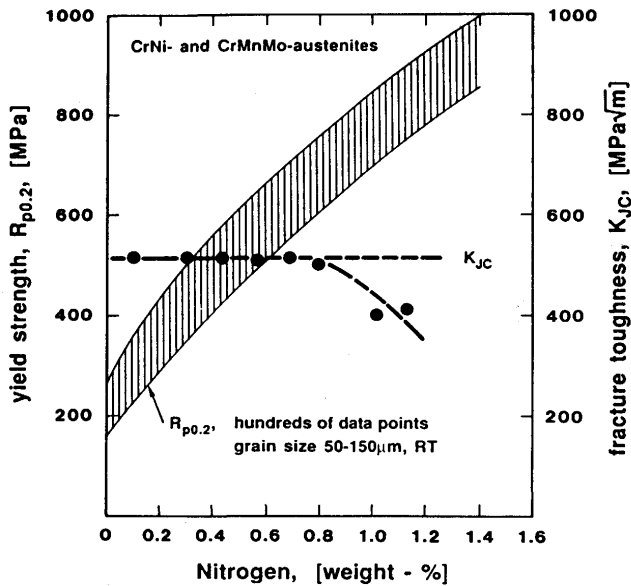


図2 常温における強度と靱性に及ぼす窒素量の影響 (Speidel)

には靱性が低下しない。最近1.0mass%以上のデータが出はじめてさすがに低下傾向がプロットされるようになったが、それでも強化の割には靱性劣化が少ない。なぜだろうか？

③変形応力の温度依存性がbcc金属並に大きい。次に0.2%耐力の試験温度依存性を調べてみると、高窒素添加オーステナイト鋼は他のオーステナイト鋼と異なり温度依存性がbcc金属並に大きい。極低温用非磁性鋼は4Kにおける要求強度の確保に窒素添加によるこの温度依存性を利用している。したがって超伝導の臨界温度が上がり77K使用となれば強度不足になってしまう。

④fcc合金にもかかわらず延性-脆性遷移を示すことがある。この時の低温側の破壊様式は粒内擬へき開を示す。Fe-Mn, Fe-Mn-C合金などのfcc合金で低温での粒界破壊発生による明瞭な延性-脆性遷移がみられることがある。しかし高窒素Fe-Mn-Cr合金では図3のような{111}擬へき開破壊が観察される。fcc合金がへき開破壊すると理論家の方を困らせてしまうらしい。写真にみられるように破面上には塑性変形の痕跡が多くみられ単純なへき開とは違うようで、すべり面分離の様相もうかがわれる。いずれにしても粒内破壊であり、きわめて珍しい。

⑤上記の延性-脆性遷移温度は結晶粒径を小さくしても低下しない、すなわち、破面単位に依存しない。「遷移温度は有効結晶粒径で整理され、粒径を小さくすれば遷移温度が低下する」とbcc鋼では言われる。ところが高窒素Fe-Cr-Mn合金では結晶粒を小さくしても遷移温度は低下しない。振り返って考えると細粒にするとなぜ遷移温度は低下するのか？へき開強度と降伏強度の温度依存性の模式図による定性的説明以上のことがどのくらいわかっているのでしょうか？

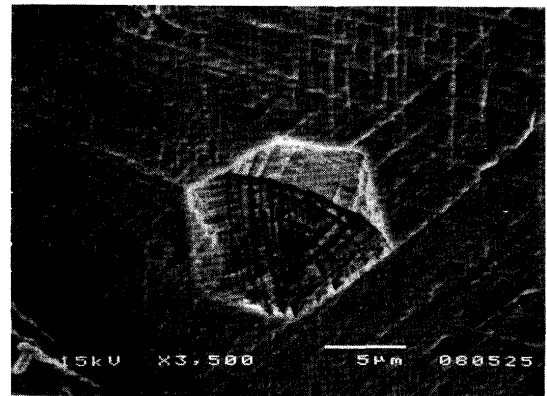


図3 高窒素Mn-Crオーステナイト鋼の77Kにおける擬へき開破面 (エッチピット現出後のSEM観察例: 友田)

⑥変形応力の結晶粒径依存性が大きい。しかも低温になるほど依存性が大きくなる。fcc合金は一般に粒径依存性が小さいと言われるが窒素を添加すると大きくなる。教科書を見ると常温から77Kあたりまでの温度域では粒径依存性は同程度である(bcc鋼)が、高窒素オーステナイト鋼では低温になるほど依存性が大きくなる。種々な合金系で多くの実験者が確認しているので安心して不思議がってよい。

⑦耐局部腐食性が向上する。ステンレス鋼にとって強度と靱性以上に重要な性質は耐食性である。全面腐食環境下では窒素の影響はほとんど現れないが、含Cl環境での局部腐食の進行を窒素は著しく抑制する。すなわちステンレス鋼の泣き所である孔食や隙間腐食が起こりにくくなる。耐孔食性の指標であるPitting Indexはたとえば(Cr+3Mo+26N)のように表され窒素は高価なMoと肩を並べる。液性面からこの理由を探ると溶け出した窒素が低電位ではNH<sub>4</sub><sup>+</sup>、高電位ではNO<sub>3</sub><sup>-</sup>となり隙間内のpH低下抑制やインヒビターの役割を果たしている可能性がある。溶けて自ら環境を改善する珍しい元素である。ただし、皮膜構造や溶出機構においても窒素の役割が認められており律速する最も重要な機構が何であるかは結論が出ていない。

上記のほかに「強化しても低サイクル疲労で繰り返し軟化する」、「Fe-Cr-Mn系合金の低温におけるひずみ速度依存性を調べたところ低ひずみ速度では上記④の擬へき開が現れるが高ひずみ速度ではごく初期からくびれが発生し延性破壊する」などの異常な挙動がみついている。変形特性に関する上記疑問点のいくつかは変形の熱活性化過程を詳細に研究すれば理解が進むかもしれない。強化機構を個々に検討し、その重複効果を調べて、強度向上をめざすと図1の延長線の高強度鋼が得られるであろうか？近年、高窒素鋼国際会議(HNS-88, HNS-91)やステンレス鋼国際会議(Stainless Steels '91, '93)などで関連する興味深い報告がみられる。そして第4回高窒素鋼国際会議は1995年9月京都で開催が予定されている。旧素材の代表格である鉄鋼材料に新しい可能性が期待される高窒素オーステナ

イト鋼の基礎および応用面での今後の発展が楽しみである。  
 本稿を読まれて「ちっとも不思議なことではない」と解答をお持ちの方がおられましたら是非ご教示下さい。また、

個々の内容にご興味を持たれた方は上記国際会議の論文集および「非磁性鋼における最近の進歩」(1990), [鉄鋼協会編]をご参照下さい。  
 (平成6年5月10日受付)

## 資源・素材・材料関連の 研究者・技術者の組織的連携

早稲田 嘉夫／東北大学素材工学研究所

### 拡大する資源・素材・材料関連の研究領域

人類は、身の回りの資源を道具として使い始め、やがて銅や鉄に代表される金属素材を手にしたことを機会に、金属素材を出発点に合成あるいは加工することによって今日の物質文明を創出し、関連する技術を急速に発展させてきた。この鉄鋼等の金属に代表される素材・材料に関する学術分野の特徴の1つは、今日我々が享受する物質文明を支える技術を進展させるとともに「科学」を形成した点にある。例えば、資源から有用鉱物のみを選択的に分ける技術の実践から「鉱物学」、「選鉱学」が形成され、有用鉱物を溶解・処理して金属素材を抽出分離する技術の実践から「化学冶金学」が、より強く・より高性能な材料の開発過程で「物理冶金学」が形成され、20世紀後半からは金属素材を出発点に合成あるいは加工して新材料にする高度な技術の展開から「金属材料学」、「金属加工学」が形成されてきた。さらに最近では、コンピュータ制御技術あるいは高機能材料開発の展開とともに「材料プロセス工学」や「材料物性学」などを形成するに至っている。すなわち、マテリアル(物質)で総称される「資源および素材」に関する技術の進展が、さまざまな「材料」の学術分野を形成し、かつ今日の文化的生活を支える重要学術領域である《物質科学》を創出した。

一方、近年の素材に対する先端技術開発が急速に進む中で、コンピュータ素子に代表される材料の高機能化の方向が一層加速され、最近では原子あるいは分子という微視的レベルで構造を制御し、新機能を有する人工物質を創出する試みが、将来に向けて物質の科学に飛躍的進展をもたらすものとして重要視されてきている。また、金属、半導体、セラミックスなどの無機素材のみでなく、アクリル、ポリイミドなどの有機素材との複合化・ハイブリッド化による材料の高機能化技術の展開も急速に推進されつつあり、次世代の科学技術を支える複合領域として、急速な広がりを見せている。

### 資源・素材・材料系学術分野の研究・教育体制に関する学術的・社会的要請

近年の工学における資源・素材・材料系学術分野は、技術立国に成長した我が国の材料技術のレベルを次世代でも保持するための複合研究領域として、特に微視的な原子・分子レベルの研究手法を積極的に導入した先導的材料工学の推進に適した研究・教育体制に整備・拡充しなければならないこと、そしてこの整備・拡充に際しては、電気、機械、化学など個別のタテ割り体制という従来の枠にとらわれず、今後は「材料」という共通の目的意識で融合化された組織的連携に基づく柔軟性のある研究・教育体制の整備が不可欠であることを示している。さらに、総合工学として未利用資源・廃棄物の資源化と材料のリサイクルに関する研究の重要性が、地球環境問題とも関連し社会的にも強く要請されている。このような学術的・社会的要請を反映し、すでに多くの大学・理工系学部で、物質工学科あるいは材料工学科などへの名称変更を伴う改組が実施されている。この改組は概ね、次の考え方に基礎をおいていると考えられる。

- 1) 従来の金属・材料系学科で展開されてきた材料に関する研究・教育内容を、単にこれまでの学術を精緻化するのではなく、微視的レベルに立脚した萌芽的材料研究指向に質的変換を図るとともに、教育内容に一貫性と統一性をもたせる。(単独型改組)
- 2) 従来の金属・材料系学科で展開されてきた材料に関する研究・教育内容と資源工学、応用化学、繊維高分子工学など異種分野で個別に展開されてきた材料技術に関する研究・教育内容を、共通した普遍的原理の基に一貫性と統一性をもたせて再編し、材料の融合領域研究指向に改変する。(複合型改組)
- 3) 一方、学部を卒業あるいは大学院修士課程を修了し実社会で材料技術の現場を経験することにより、改めて材料に係わる高度な専門知識の必要性を実感する、あるいは急激な技術革新や産業構造のリストラクチャリングを先導す