解 説

UDC 669.14.018.254 : 678

時効硬化型プラスチック金型用鋼について

渡 辺 敏 幸*

Age Hardened Steel for Plastic Molds “NAK 55”

Toshiyuki Watanabe

Synopsis

Needs of plastic molders were grasped. Cu-Ni-Al age hardenable constructional steel was studied to be adjusted for plastic molds and material for plastic molds “NAK 55” was developed.

1. 緒 言

1.1 プラスチック金型業界の趨勢

プラスチック成形用のインジェクションマシン（射出成型機）の出現により、プラスチック工業界はこの時期を境としてマスプロの道を進みだしたといえよう。

とくに最近では、自動車の電装関係、機能部品用に合成ゴムを適量混合させたABS樹脂が多量に使用されるようになるとともに、ガラス粉、アスベストなどを混入した各種の樹脂、またフェノール系の熱硬化性樹脂などのいわゆるかたい樹脂が同用途に用いられる趨勢となってきた。一方、雑貨、家電関係とくにインテリアデザイン関係ではとくにかたい樹脂というわけではないが大量生産化の趨勢にある。

このような樹脂の高硬化化と量産化の状況下においてプラスチック成型用の金型材として、とくにこれらの趨勢を加味したプラスチック金型用鋼ともいべきものは皆無で、第1表のようにS53C程度の炭素鋼SCM3～4およびこれに類似した強じん鋼、さらには、SKDのような合金工具鋼などが、プラスチック金型用に転用されているにすぎない現状であった。

プラスチック金型の寿命は型のパーテング面の圧縮強度によって支配されるとしても過言ではなからう。インジェクションマシンによる連続成型中に金型キャビティからはみ出した樹脂が金型パーテング面にはさみ込まれて金型パーテング面を圧縮塑性変形させる。

昭和48年10月20日受付

*大同製鋼㈱研究開発本部中央研究所

第1表 プラスチック製品、使用樹脂、プラスチック金型の材質との相互関係

プラスチック製品の用途	樹脂の種類 大別 樹脂の名称	金 型 機			
		主 型	入 子	主 型	入 子
		現用	備考	現用	備考
雑貨 （バケツ、ざる、食器、プラモデル）	ポリエチレン ^{*1} （25%）	SC	現用でOK	SC	かたさHrC40の要求あり
	ポリプロピレン （12%）	“	“	“	“
	塩化ビニル ^{*2} （20%）	“	“	“	“
家庭電気製品 （受話機、テレビ、洗濯機など） 自動車用機能、電装部品 （計器盤、テールランプ、コネクタ、フロントグリル、ハンドル）	ポリスチレン （13%） （ABS）	SC	現用でOK	AL ^{*3} （HrC30のブレハードンSCM3～M4）	かたさHrC40の要求が強い
電装部品 （ソケット、スイッチ） 家庭電気製品 （アイロン取手） 雑貨 （灰皿）	ユリヤ （10%） フェノール （4%） 他 （10%）	SC	現用でOK	AL （SCM3～4、SKD12、61など）	かたさHrC40以上が必要

*1 樹脂の使用比率(1971)

*2 S 53C

*3 合金鋼

つぎのショット時にこの部分に樹脂が入り込む。これが繰り返されてプラスチック成品にいわゆる「バリ」が形成され、「バリ」が大きくなり修正不能となった時点で金型は使用不能となる。その金型は取り替えるか、またはパーテング面を全面加工する必要がある。

樹脂の強度に耐え、金型寿命を延ばすには金型構成材に高い強度が必然的に要求されよう。しかしプラス

チック金型のキャビティには、プラスチックを成形する立場から、他のいかなる金型よりも、複雑かつ精密な加工が要求されるのが普通である。したがって焼入焼もどしによって強化することはプラスチック金型加工上のもっとも大きなネックとなっている。

これらの状況にかんがみ、時効硬化型構造用鋼の同用途への実用化を試みた。

1. 2 プラスチック金型に要求される諸性質

以下の諸性質がプラスチック金型用鋼には要求されよう。

(1) 金型加工上要求される諸性質

- 1) 熱間加工性の良好なこと
- 2) かたさが均一なこと
- 3) 被削性のすぐれていること
- 4) 研削性の良好なこと
- 5) 鏡面仕上性のすぐれていること
- 6) 放電加工面が硬化しないこと
- 7) 溶接性の良好なこと(熱影響部のかたさ変化のないこと)
- 8) 均一にホットエッチングできること
- 9) 適度なじん性のあること

(2) 樹脂成形時に要求される諸性質

- 1) 耐圧縮強度の高いこと
- 2) 熱間強度にすぐれていること
- 3) 常温以上での耐衝撃性にすぐれていること
- 4) 耐摩耗性の良好なこと

1. 3 時効硬化型鋼のプラスチック金型への適用について

時効硬化型構造用鋼はすでに報告^{1), 2)}したように前掲の要求特性を満足することが推測される。

時効硬化型構造用鋼の性質を生かしこれにプラスチック金型用鋼に要求される特性を加えることによって今までにないタイプのプラスチック金型用鋼の開発が可能となろう。

そこですでに得られている Cu—Ni—Al 系の時効硬化型構造用鋼を基本としてこれをプラスチック金型専用鋼にアロイデザインした。

とくにプラスチック金型に要求される特性だけを取りあげ、時効硬化型構造用鋼の有する特長をいかに利用したかについて以下に述べていきたい。

2. 時効硬化型鋼のプラスチック金型への適用について

2. 1 かたさと質量効果について

プラスチック金型は質量が大きいので溶体化処理後に各横断面ともに均一に急冷するには不可能である。

この意味では、焼入焼もどし型の鋼では、いわゆるかたさ分布がUカーブを呈し均一かたさを得ることは、不可能である。時効硬化する鋼で初期時効現象の著しくない鋼は従来鋼のかたさの不均一性を改善しこの用途に有効利用できよう。Cu—Ni—Al 時効硬化型構造用鋼がこの特性を有することはすでに報告した。そこでこの鋼を基本としてプラスチック金型に要求される強度特性を付与することを検討した。

ここで対象とする樹脂はもっとも多量に使用されている熱可塑性樹脂で、熱可塑性樹脂用のプラスチック金型としては HRC_{40} 以上のかたさが得られるのが好ましいという。

Cu—Ni—Al を時効硬化元素として時効かたさ HRC_{40} を得るには溶体化かたさとして HRC_{30} を得る必要があり、しかもかなり大きな質量に対しても(溶体化後の冷却速度が遅くても)溶体化かたさとして HRC_{30} が得られることが必要である³⁾。

また放電加工において急速加熱冷却を受けても極端に硬化しないこと、すなわちかたさとして放電加工面のかたさが $HRC \leq 45$ が好ましい⁴⁾。放電加工は油そう中で放電によって、成型加工する方法で、放電加工面は放電加工時急熱急冷されるので、この面のかたさは炭素含有量の影響を大きく受けることになる。 $HRC \leq 45$ とするには、 $C \leq 0.20\%$ が適している。

$C \leq 0.20\%$ で溶体化かたさとして HRC_{30} 以上を得るには焼入性向上元素として Mn, Si, Cr, Mo の添加が考えられるが、Si, Cr は被削性をそこなうので Mn, Mo によるのが好ましい。Mn を多量に添加すると炭化物の球状化が促進され、被削性を害するので、Mn は 1.5% に限定し、この場合の焼入性に対する不足分を Mo によって補うこととした。すでに得られた結果によれば Mo は、均一なベイナイトを生成する効果があり、組織に敏感なホットエッチング性に対してもきわめて効果的であるばかりでなく、焼入性とともに広い冷却域で均一なベイナイトを生成し、均一な時効かたさを得ることに効果があると推測される。

そこでこれらを確かめ目標とする時効かたさの得られる最適な Mo 含有量を求めるために、最大直径 150 mm までの各種の円柱状試片の横断面の中心部の冷却速度に相当する冷却速度で冷却し、寸法効果および寸法効果に対する Mo の影響について調べた。この結果 $0.15\%C-1.5\%Mn-1\%Cu-1\%Al-0.3\%Mo$ 鋼で所期の特性を満足することをつかんだ。

得られた鋼の時効処理後の断面のかたさ分布の一例を第1図に示した。かたさ分布の点ではプラスチック金型の要求特性を満足しているといえよう。

第1図 溶体化のままおよび時効処理後直径150mmの実体棒鋼の横断面のかたさ分布

2.2 被削性

時効硬化した鋼は焼入焼もどして同一かたさとした鋼より一般に被削性が良好であるという。この現象はピッカース、ロックウェルなどの圧縮型コーンによるかたさ測定では時効かたさは上昇するが、モースかたさに代表される引かきかたさでは時効硬化現象が検出されにくいことと重要な関係があるものと推測される。

いいかえれば時効硬化した鋼は圧縮力に対しては強い抵抗性を有するが、引かき型の破壊に対しては弱い特性を有するものといえよう。

プラスチック金型は樹脂成形時にパーテング面に強い圧縮力がかかり、この面の耐圧強度が金型の寿命を決めること、型寿命の点から高い圧縮強度を要求しながらも他方では金型製作のための被削性に富むことが要求されている。このような相反する特性が要求されているが、前掲のような時効硬化鋼の特性は、これらの相反する特性を同時に満足する可能性のあることが推察され興味深い。この特性を生かして使うことが、時効硬化型構造用鋼のプラスチック金型への応用への焦点ともいえよう。

一方、プラスチック金型に要求される他の特性として耐摩耗性にすぐれていること、いわゆるしゅう動摩耗に対する耐久性にすぐれていることを意味しており、被削性にすぐれていることは表裏の特性を要求していることになる。

金型業界のニーズとしてはやはり被削性にすぐれていることを第一の要求としており、したがってここでは時効硬化型構造用鋼の被削性については握するとともに、その特長を生かしたプラスチック金型用鋼開発の方向決めの経緯について述べたい。

なお、耐摩耗性については項を改めて述べたい。

フライス盤スリッティングソー下削削りにより切削

第2図 時効硬化型構造用鋼 (A~C), 各種の構造用鋼の工具寿命とかたさとの関係

速度70m/min, 切込み0.80mm, 送り0.017mm/toothで、工具は、外径60mmのSKH9を用い、切削油は用いずに切削試験を実施した。なお、工具寿命は工具溶損時間とした。結果を第2図に示した。炭素鋼、強じん鋼の焼ならしまたは焼入焼もどしに比べて、時効硬化型構造用鋼の被削性のすぐれていることが注目される。鋼A~Cはいずれも時効硬化型構造用鋼でAはフェライト+パーライト、B、Cはベイナイトマトリックスより析出硬化するもので、鋼Cは前掲のごとくプラスチック金型用鋼にアロイデザインしているものである。同図にみられるようにいわゆる炭化物によって強化した一般の鋼に比べて鋼A~Cの時効硬化によって強化した鋼が同一強度水準での被削性が良好なことは、被削性が静的強度には支配されずに別の因子、たとえば急速圧縮変形抵抗に支配されており、さらに高歪速度下での変形抵抗に対して、強化因子の差が表わされているものといえよう。また、鋼AにおいてはNi添加による島状パーライトの生成核発生作用により、島状パーライト隣接間隔が減少し、切くずせん断幅の減少をまねき、構成刃先に対して有利な効果を与えたともいえよう。

はん用されているS53C焼ならし材の被削性を得ることが目標である。鋼Cの溶体化のままでの被削性はS35Cに相当しているが、時効硬化しても被削性の急激な低下は認められないので、快削鋼化することによ

第3図 時効硬化によってHb400とした鋼Cの被削性に対するS含有量の影響

って時効硬化状態で所期の目標を達成する可能性がある。そこで、鋼Cに0.15%までのSを添加して時効状態で被削性を調べた。結果を第3図に示した。

時効処理によってHb400に硬化していても、Sの添加によって工具寿命は直線的に向上し、 $S=0.100\%$ の添加によって工具寿命は100minとなり、S53C焼ならし材の工具寿命とほぼ等しくなる。

切削部における硫化物の被削性向上に果たす役割は粘性潤滑作用および内部応力集中源と考えられており、とくに本鋼のような切欠感受性が大きく、高歪速度下でのじん性が低い場合には後者による効果が大いことが推察されよう。

さて、時効硬化鋼の原則的なねらいは溶体化状態のかたさ水準の低い状態で加工を施し、時効処理によって熱処理ひずみの少ない状態で強化することにあるが、本鋼ではSによって快削鋼化することによって、時効硬化した状態でも、S53C焼ならし材なみのすぐれた被削性が得られるというきわめて興味深い結果を得ることができた。

したがって、プラスチック金型用鋼として時効硬化した状態で供給することができよう。

2.3 溶接性とくに時効硬化の可逆性の利用について

設計変更、試打後の型修正などの理由で、主として成品部に肉盛り溶接を施す場合が度々あるという。肉盛り溶接そのものについては共金を用いて、母材、共金とともに含有されるAlの酸化を防ぐためにアルゴンシールの非消耗Wアーク溶接によれば問題ないことが明らかとなった⁶⁾。

一般に溶接材で問題となるのは熱影響部のかたさ変化である。プラスチック金型の成品部分は研削加工か

ホトエッチング加工が施されている場合が多く、これらの加工は肉盛り溶接後にも行なわれるので、熱影響部に研削むらおよびホトエッチングむらが生ずる。これらのむらはミクロ組織およびこれと直接関係の深いかたさと関係があるといわれている。一般の強じん鋼の場合には熱影響部における研削むらとホトエッチングむらを消すには焼入れから始まる再熱処理を行なう必要があり金型製作上の大きな問題点になっているという。

NiとAlを含む時効硬化鋼には、時効硬化したものを変態点以下の 700°C 付近に加熱すると軟化するが、この後時効温度に加熱すると再時効硬化して元のかたさに回復し、この後これを何度繰り返しても同程度の軟化と硬化とを繰返す時効の可逆性と称する現象が存在する。この現象はフェライト域での高温側で、フェライトに対するNi-Al相の固溶限の急激な増加に関係があるものと考えられている^{2) 6)}。

この時効の可逆性が前掲の熱影響部のかたさの不均一性を解消することが予想されるので、金型実体材を用いてこの点について検討した。

母材および溶接棒ともに図中に示す化学成分の時効硬化型構造用鋼を用いた。Alの酸化を防ぐために溶接法は前掲のアルゴンシールドアーク溶接法を用いた。溶接済み試片は外観観察の後溶接部のかたさ測定を行なうとともに、溶接部近傍の鏡面仕上性とホトエッチング性を調べた。

第4図に溶接のままおよび溶接の後に時効処理を施した場合のかたさ分布を示した。溶接のまま、溶接後に時効処理を施した場合のかたさ分布の特長を模型図として第5図に示した。溶接のままのかたさは溶接部

第4図 時効硬化型構造用鋼肉盛り溶接材の溶接のままおよび時効処理後のかたさ分布
(C 0.13, Mn 1.52, Cu 0.95, Ni 3.11, Mo 0.32, Al 0.98)

第5図 溶接のままおよび時効処理時の溶接部近傍のかたさ分布の相互関係を示す模型図

と母材で溶着鋼にごく近い部分、領域Ⅰは約 Hv400に硬化しており、これに続く部分はかたさがきわめて低い（領域Ⅱ）、さらにかたさ Hv380 近傍の領域（領域Ⅲ）があり、母材かたさの部分にこれが続いている。以上のようなかたさ分布を示す溶接のまま材に500℃×5 hrの時効処理を施すと、かたさが回復す

る。

領域Ⅰは A_3 変態点以上に加熱された領域である。母材そのものは局部加熱されているので溶接後に溶接部は急冷されるので、領域Ⅰは急冷によってマルテンサイトになったことが推測される。この部分はこの後の時効処理によって焼もどし軟化を受けると同時に時効硬化し溶接のままよりもかたさがやや増加したものとえよう。領域Ⅱは A_3 と A_1 変態点の間に加熱されたもので、この領域では溶接時の加熱で析出硬化元素の固溶が大きいというに、 $\alpha + \gamma$ 領域に加熱されるので、溶接後のかたさは領域Ⅰよりも低く、溶接時の加熱温度が下るにつれて、 α 量が増加し、かたさは低下し A_1 点近傍に加熱された領域でかたさがもっとも低くなっている。この領域では、時効処理によって、かたさが上昇しほぼ溶接前のかたさまでに回復している。領域Ⅲは A_1 変態点以下であるが、溶接時に硬化元素が α 中に固溶したために、溶接後のかたさは低いが時効処理によって再び時効硬化し領域Ⅱと同様に溶接前のかたさまでに回復している。この領域Ⅱ～Ⅲに認められる現象を時効の可逆性と称しているが、溶接後に時効処理を施すことによって溶接前のかたさに回復させ得ることは溶接熱影響部のかたさむらを著しく軽減することになり実用上でもきわめて興味深い。

熱影響部

溶接のまま

熱影響部

溶接後時効処理

写真1 溶接のままおよび溶接後に時効処理を施した時効硬化型構造用鋼の溶接熱影響部近傍の研摩仕上げおよびホトエッチング加工状況（×1）

さて、領域Ⅲは溶接後に時効処理を施しても充分な
かたさ回復の得られない領域で、硬化元素が基鉄に
充分には固溶しない、いわゆる硬化相の凝集による過
時効領域といえよう。領域Ⅴは溶接時の加熱が時効温
度、またはこれ以下であったために溶接のままおよび
溶接後に時効処理を施してもかたさに変化が認められ
なかったものといえよう。

溶接後に時効処理を施すことによって、かたさが溶
接前の時効かたさにほぼ回復することが認められたの
で、以下では溶接部近傍の研磨加工およびホトエッチ
ングが均一に行なえるかどうかについて検討した。

結果を写真1に示した。溶接のままでは写真に見ら
れるように、研磨面、ホトエッチング面いずれについ
てもむらが認められる。このようなむらは樹脂成型後
樹脂に反転され、樹脂成品が不良となる。とくに透明
樹脂の場合にこの影響が大きい。焼入れ焼もどし処理
を施した鋼の金型の場合には、熱影響部に認められる
研磨およびホトエッチングむらは金型の致命傷ともい
われ、再加工を余儀なくしていた。

さて、溶接後に時効処理を施すとかたさが回復する
のは前掲のごとくであるが、写真に認められるごとく
溶接のままに認められた熱影響部近傍における研磨お
よびホトエッチングむらが、まったく認められない。
これは金型製作上の工数を低減させるとともにきわめ
て興味深い現象でもある。

2.4 耐 摩 耗 性

樹脂製品の形状の複雑化に伴いプラスチック金型の
形状も複雑化し、同一金型内に多数のしゅう動する入
子が用いられる形勢にある。しゅう動面の寿命もパー
テング面の寿命と同様に重要視される傾向にある。

摩耗を支配する要因は複雑多様にわたり、現在のと
ころ充分には解明されてはいないが、プラスチック金
型しゅう動面におけるしゅう動摩耗は比較的単純な乾
式の機械的破壊摩耗と解されている。

そこで、すでに得られたプラスチック金型用時効硬
化鋼について同条件下での摩耗状況を握するとともに
に、普通に焼入れ焼もどし処理した鋼と比較した。

摩耗試験は大越式じん速摩耗試験機を用い、板状試
片を固定側とし、これにリング状試片の側面を垂直
に押し当て、リング状試片をこの状態ですべり速度
0.065m/sec で60min 回転し、板状試片に生ずる凹
の幅と長さから比摩耗量として求めた。

なお、表面処理として190℃×10minの電解浸硫処
理または、570℃×3hrの塩浴軟窒化処理を施した
ものも試験した。

第6図に摩耗試験の結果を示した。駆動側にSCM

第6図 大越式じん速摩耗試験機による摩耗試験の結果

4を用い、固定側にSCM4または時効硬化型構造用
鋼を用いた場合、固定側のかたさが上昇すると、SC
M4固定側の摩耗量は少なくなるが、時効硬化型構造
用鋼の固定側では逆に摩耗量が大きくなる。

駆動側にかたさHv400に時効処理した時効硬化型
構造用鋼を用いた場合も、同じ傾向がさらに強調され
てくる。

駆動、固定両側にHv400に時効処理した時効硬化型
構造用鋼を用い、固定側に表面処理として塩浴軟窒化
処理を施すと、固定側の摩耗量はやや低減する傾向が
認められた。

固定側に浸硫処理⁷⁾を施すと摩耗量は約1/2とな
り、固定、駆動両面に浸硫処理を施すと摩耗量は両面
ともに何んらの表面処理を施さない場合の約1/25に
低下することが認められた。

仕上げ面あらかさ4Sに仕上げた被験面はそれぞれあ
らかさ4μ程度の凹凸部から構成されていよう。

試験時に駆動、固定両面の凹凸部が接触し、凸部が
破壊して離脱すると考えられる。被験面凸部の破壊の
難易さは、高ひずみ速度下での強度すなわち材料のじん
性ととくに関係のあることと推察されよう。

時効硬化型構造用鋼は前掲のように時効硬化ととも
にじん性が低くなり、じん性の低い状態では凸部の降
伏がただちに破壊に至り、同図に認められる結果が得
られたものと推察される。

一方、SCM4の場合は凸部は降伏の後塑性変形を

經由して破壊に至るものと推測される。降伏後の塑性変形は駆動、固定両方の接触部のいわゆるなじみとして摩耗量の低減にむしろきいているものと推察される。したがって強度が高くなるにつれて摩耗量は低下したものとえよう。

このような機械的破壊摩耗に対しては、接触面になじみ易さを与えることが耐摩耗性の向上に効果があるといわれており、この意味から表面にやわらかいFeSを形成させる浸硫処理の効果が表われ、浸硫処理材では摩耗量がきわめて低下したものとえよう。

3. 実用化状況について

1.2 に列挙したプラスチック金型に要求される特性のうちで主要なものだけとりあげて 2.1~2.4 項で述べた。これら以外についても検討を行ない、いずれについてもプラスチック金型用として満足することを認めている。

ここで得られたプラスチック金型用時効硬化鋼は、0.10~0.15%C-1.5% Mn-1% Cu-3.2% Ni-1% Al-0.3% Mo-0.1% S を主要元素とし、溶体化、時効処理を施していわゆる Preharden 鋼として供給されている。

プラスチック金型加工業界において、金型製作上では総原価が大幅に低減できること、また型寿命が大幅に伸び、250万ショットでも型修正が不要という実績も出てきており、NAK 55 という名称で好評を得ている。今後の需要増が期待できよう⁸⁾。

4. プラスチック金型用鋼の今後について

米国自動車協会の予想では1975年には自動車の電装部品のほとんどが熱硬化性樹脂に替るともいわれている⁹⁾。

熱可塑性樹脂に対して熱硬化性樹脂は変形抵抗が大きく、H_RC40 程度の強度の金型では、寸法精度上から、寿命は不十分といわれている。現在は熱可塑性樹脂の最盛期ともいわれ、熱可塑性樹脂をベースとして樹脂が強化されているが、将来いわゆるエンジニアリングプラスチックとしては熱硬化性樹脂がこれに替ることが推測できよう。

一方、とくに熱可塑性樹脂の大きな欠点である燃えやすさを改善するための研究成果として、ハロゲンまたはリン酸エステルなどが難燃剤として樹脂に混入されるようになった。米国では樹脂の自己消火性の規定がすでに設定実施されて、さらに耐熱性の規定も設定され1975年から実施されることが確定している。

NAK 55は現用の熱可塑性樹脂用金型としてはすぐれていても熱硬化性樹脂に対しては強度の点で、難燃

剤添加樹脂に対しては耐食性の点で充分とはいえない。

すべての樹脂に全能の金型材料の開発は不可能であることはいうまでもない。NAK 55は前掲の一般の熱可塑性樹脂として、今後も使用されていくだろうが、新たな2種類の樹脂に耐える新たな金型用鋼が近い将来要求されることは明らかといえよう。

5. ま と め

(1) プラスチック成形およびプラスチック金型業界のニーズをは握し、時効硬化型構造用鋼のプラスチック金型への適合化を検討し以下を得た。

(a) Mo の添加によって質量効果が低減し、大物品でも時効かたさ H_RC40 の均一なかたさが得られる。

(b) S による快削鋼化と時効硬化によるぜい化現象の組合せによって H_RC40 かたさで、J I S S 53C 焼ならし材なみの被削性が得られる。

(c) Ni, Al による時効の可逆性を利用することによって、溶接熱影響部に均一なかたさむらのない研摩仕上面およびホットエッチング面の得られることをつかんだ。

(d) 耐しゅう動摩耗性は焼入れ焼もどし鋼に劣るが、表面処理によってこれをしのぐ特性の得られることをつかんだ。

(e) プラスチック金型用鋼に要求される他の特性についても検討した。

(2) 得られたプラスチック金型用鋼は NAK 55 と名付け、H_RC40 に時効処理した状態で市場に供給した。3年間の市場実績は良好であった。

(3) プラスチック金型用鋼の今後のすう勢についても検討を加えた。

謝 辞

NAK 55は多数の方々の協力によって完成したものです。誌上で関係各位に改めて感謝いたします。

(文 献)

- 1) 渡辺, 浅田: 電気製鋼, 40 (1969), 6
- 2) 渡辺, 浅田: 強化鋼シンポジウム予稿 No. 1, 31 (昭和40年10月金属学会, 福岡)
- 3) 渡辺, 浅田: 電気製鋼, 41 (1970), 1
- 4) 孝橋: 金型, 2 (1971), 19
- 5) 未発表
- 6) 金尾: Ni を含む BCC 鉄合金の時効析出硬化挙動に関する研究 (昭和46年7月)
- 7) 桑山: 金属, 3 (1972) 15, 46
- 8) 牟田: 特殊鋼, 21 (1972) 7, 24
- 9) Met. Progress; 101 (1972) 2, 63