

溶接作業の能率向上について

浦賀重工業KK浦賀工場* 谷 垣 ** 尚

1. は し が き

戦中、戦後と溶接は広範かつ急速に構造工業のあらゆる分野にとり入れられてきた。そして溶接部の物理的および化学的性能が種々検討され、構造物の接手としての性能・強度に充分信頼が置けるようになり、その使用範囲が拡大し、工事中に占める溶接の比率が極めて大きくなるに及んで、溶接による生産性向上の問題と共に、溶接作業それ自体の能率が真剣にとりあげられるようになってきた。

たとえば、わが国の造船業は国内の他の重工業に魁けて戦後いち早く溶接を重要接手にまで広く採り入れたために、接合方法の変化による工作法の革命が早期に行われ、溶接は工事の大きな部分を占め、各職種の中では最大のものとなっている。今日大型船の建造において、最も進歩した造船所では、設計・間接部門・技術者等を含めた全工数の約20%が電気溶接工数であり、なかんづく船壳工事だけをみた場合は大体50%が電気溶接である。

また溶接の採用が比較的遅かった機械工業においても、鋳物から鋼板製溶接構造となった機関架構など、船体以上で全工数の50乃至60%以上が溶接工数となっている。その他、橋梁、鉄構等においても溶接の占める比率は逐次高くなりつつある。

即ち溶接構造物は、最終的には溶接により接合されて完成するものであるから、その前後の工程はすべて溶接の準備作業または溶接の後処理作業である。初期の頃はこれ等の補助的作業の占める比率が高く、能率向上の重点が、そこに向けられてきたが、工作法が進歩し合理化されるにともない、補助的作業は無限に節約され、短縮され、本質的な作業溶接工事が大きく浮び上ってきたのである。ここにおいて溶接作業の能率が、工事全体の能率を左右するまでになり、能率向上の重点が溶接に指向されるようになってきたのである。

造船界は現在、老大な工事を抱えその消化のために狂奔し溶接能率の向上に懸命の努力を傾注している。筆者は造船所における体験を主として、溶接能率の向上策について、三述べてみたいと思う。

2. 溶接作業における能率とその管理方法

1. 溶接の能率

溶接作業の能率は言うまでもなく単位時間内に完成される溶接工事量を以て表わされる。溶接工事量として製品の鋼材重量、「溶接長」、「溶接棒重量」、「溶着金属重量」などで表わされるが、筆者は「溶接棒重量」すなわち溶接棒支給所より払出した溶接棒重量を使用するのが最も便利ではないかと考えている。

「鋼材重量」を使用した場合は構造の複雑さや、板厚によって溶接工事量に大きな差があり、何らかの係数を使用しなければ、溶接工事量を表わすものとは言えず、また溶接長をとった場合も、板厚や接手形式、開先形状の違いによる影響が大きく、直ちに溶接工事量と比例しなくなってくる。この点「溶接棒重量」あるいは「溶着金属量」は余り複雑な係数を使わなくても一応溶接工事量を直接に表わすことが出来る。この両者の間は溶着効率で関係づけられるが、能率を扱う場合は「溶接棒重量」を使用するのが簡便であろう。

その外アークタイム率により溶接能率を表わすことが出来る。アークタイム率の算定には

①アークタイマーを使用する方法

計器にアークタイムが積算され直読してアークタイム率を算定出来るが、高価なアークタイマーを購入して、すべての溶接機に取りつける必要があるので、部分的な抜取り調査を行う場合とか、自動溶接機のみを調査するときなどには適するが、全面的な調査にはコスト面で不利である。

②溶接棒使用重量より算定する方法

個人個人の毎日の溶接棒の棒径別使用量より計算する方法で、若干の仮定が入るが実用上充分正確なものが得られる。ただし溶接棒の払出しと残棒の返却を確実に管理し正確な溶接棒使用量を出さなければならない。

アークタイム率算定式は次式の如くなる。

$$\alpha = \frac{\sum W_i T_i}{T_0} \times 100$$

ここに α : アークタイム率 %

w_i : 棒径別使用溶接棒重量 kg

T_0 : 全作業時間 分

* 横須賀市浦賀町4

** 溶接課長

T_i : 棒径別溶接棒単位重量(kg)
当り溶融時間 分

T_i として次表を仮定する。

③単位長の溶接所用時間より算定する方法

サブマージド自動溶接の如く、溶接姿勢、板厚に対する開光形状、溶接条件等が一定している場合に使用するのが便利である。

表1 棒径別溶接棒単位重量当り溶融時間

棒 径 m/m	全 棒 長 m/m	溶融部棒長 m/m	重量当り溶融 時間 min/kg
3, 2	350	320	56
4	400	360	25
5	400	360	17
6	400	360	14
6. 4	450	400	10
8	450	400	7

アークタイム率は次式より算定される。

$$\alpha = \frac{\sum L_i T_i}{T_0} \times 100$$

ここに α : アークタイム率 %

L_i : 板厚別溶接長 m

T_i : 板厚別単位溶接長 (m) 当り溶接時間 分

T_0 : 全作業時間 分

④見積り溶接時間に対する実績溶接時間の比をとり算定する方法

図面より算定したアークタイム率 100% の場合の見積り時間と実績時間との比を直ちにアークタイム率とするもので、開先角度や取付間隙等、加工精度、工作精度あるいは誤作等の影響も含めて、アークタイム率の中に現われてくるので、能率のみならず精度等技術面の検討を要する必要がある。

アークタイム率は次式で表わされる。

$$\alpha = \frac{T_i}{T_0} \times 100$$

α : アークタイム率 %

T_i : アークタイム率 100% とした場合の見積り作業時間 分

T_0 : 実際溶接作業時間 分

溶接能率を管理するものとして筆者は主として

- (1) 単位時間当りの溶接棒使用重量
 - (2) 溶接工のアークタイム率
- を使用している。

2. 溶接能率管理方法

溶接能率を管理する場合

①どの程度の細かさ、どの程度の単位で能率を管理すべきか。

②どのような方法で管理し、どのような資料を作るか。

③算定された能率結果より如何なるアクションを起すか。

を考慮することが重要であろうと思う。

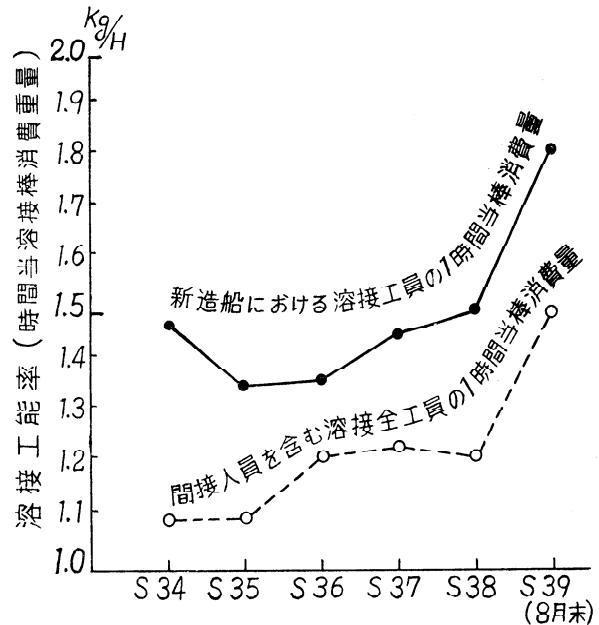


図1 溶接能率の推移

筆者は溶接全般の能率の状態を把握するために単位時間当りの平均溶接棒消費量 kg/Hr を旬毎に集計して一応の目安としている。最近数年間の当所溶接工 1 人 1 時間当りの年平均溶接棒消費重量実績を、新造船の場合と、間接工を含めたすべての工事の場合とに分けてグラフに示すと図1の如くである。

筆者はまた工事ごとの溶接棒使用重量と溶接工数との関係を求めて、工程の各時期における能率の推移の概要を見ている。載荷重量 50,000TON 油槽船の各工事別の实例を図2に示す。

また溶接工の 1 人 1 人について前記の如く溶接棒の使用重量を基準としてアークタイム率を算定している。溶接棒使用重量を正確に出すためには、溶接棒の払出と、使用後の残棒、残滓の返却を確実に励行するよう管理している。

アークタイム率は工事の種類、作業場所等で相違があるが、現在、船壳地上組立溶接工事では平均して48%、また船台溶接工事では40%、平均して船壳溶接工事では43%位となっている。

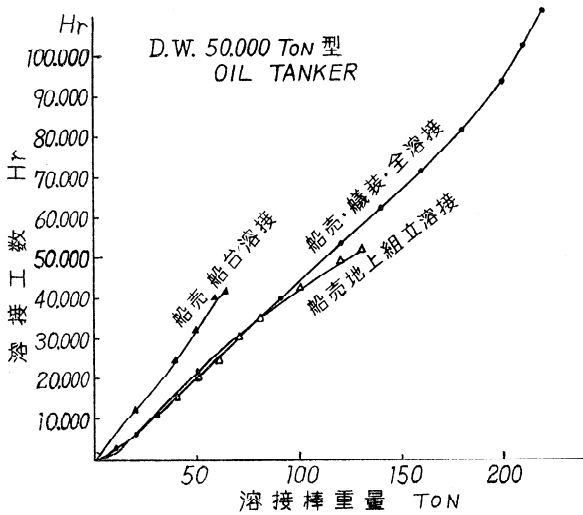


図2 溶接棒重量，溶接工数曲線

これ等の能率管理の資料は管理者が能率の実態を把握して対策を考え、また新しい施策、IEの成果を見るため等に活用すべきものであるから、管理者の位置能力等によっても必要とする資料は当然異ったものでなければならない。たとえば当所の第一線管理者たる班長は、工事量と配員の関係が適切であるかどうか反省する資料として毎日の溶接工1人1人の溶接棒使用伝票をチェックし翌日の配員管理の上の参考にしてている。また管理者がこのようなチェックを行なっていることが、一面では溶接工自身の能率および仕事量消化に対する関心を深め、道義的な刺戟を与えていることも見逃せない。

3. 溶接作業能率を向上させるための具体的方策

溶接作業能率を向上させるために検討すべき具体的な項目としては数多くのことが考えられる。

(1) 溶着金属量を少なくすること

設計、技術管理、工作精度の面より考えられる。

①開先形状の選定

板厚により最小溶着金属量となる開先形状がある隅内においても徒らに脚長を増大することなく適当な開先をとることも考えられる。突合せ接手における開先形状と溶着金属量との関係の一例を、図3に示す。

②自動および半自動溶接接、深溶込溶接の採用による開先角度、開先間隙、隅内溶接脚長の軽減

③溶接技術管理による正規脚長の保持、裏ハツリ量の減少や手直し工事を少なくすることによる溶接量の減少。

④組立取付精度の向上や誤作防止による溶接重量の

減少。

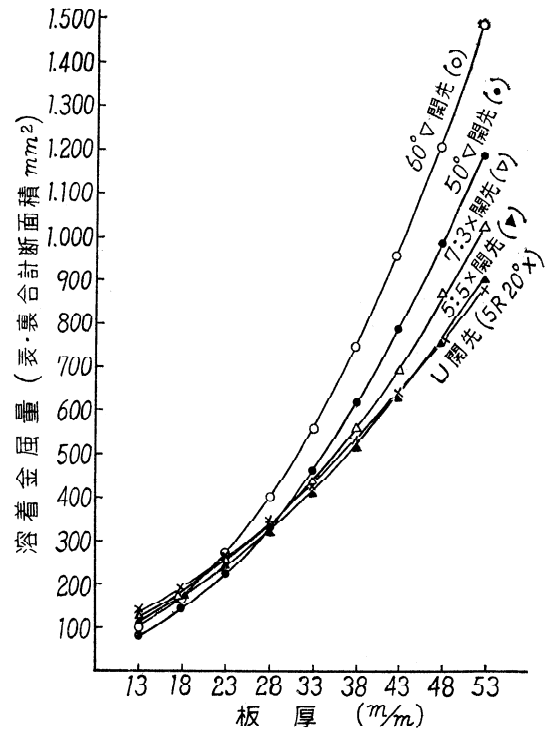


図3 各種開先形状と溶着金属の関係

(2) 溶接速度を早める

①大径棒で大電流を使用する。

大径棒を使用するためには下向姿勢で溶接出来るよう工作設計、治具等の考慮を要する。溶接棒径と溶融速度との関係を図4に示す。

②溶着効率の大きい溶接棒、高能率溶接棒の選定
大電流の使用出来る溶接棒のみでなく、同一電流において溶融速度の早い溶接棒やスパッターロスの少く、フラックス中のロスが少く溶着効率の良好な溶接棒を選定する。鉄粉系溶接棒や立向下進溶接棒等高能率な溶接棒の一例である。

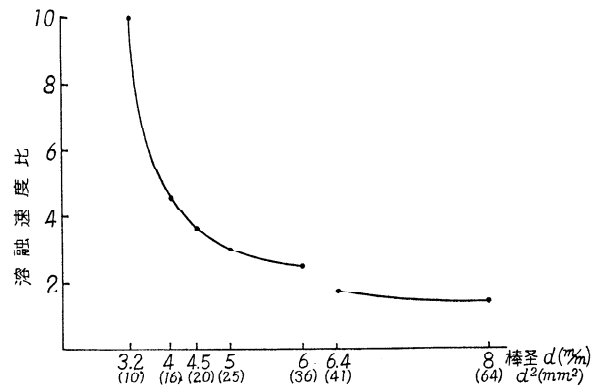


図4 溶接棒径と溶接速度との関係

③溶接の自動化、半自動化、多極化

自動溶接、半自動溶接は電流密度も高く溶接結果も均一で高能率であるから極力その使用範囲を広くする。と共に自動溶接そのものを更に高能率化する。そのために多極自動溶接を使用したりワイヤメタル自動溶接法を使用することを考える。グラビデー溶接も半自動溶接の多極化の一種とも考えられる。

従来ほとんど手溶接であった立向溶接の自動化、半自動化も広く押し進める必要がある。

(3) アークタイム率の向上

- ①手待ち時間を無くするような綿密周到な工事計画とその遂行
- ②溶接準備時間を少なくするよう作業の合理化
特にIE的手法の活用
- ③雨天対策、防暑・防寒対策
- ④誤作防止

これらの諸項目は大別して次の三点より検討されることとなる。

(1) 設計及工作設計

溶接を必要最小限に止めると共に溶接施工が容易なようにまた高能率な自動溶接が使用出来るようにするためには先ず設計の段階における検討が最も大切である。

設計構造による溶接工事量を、単位鋼材重量当りの溶着金属量または溶接棒使用重量 kg/TON を図面から計算により求めることが出来る。たとえば載荷重量50,000 TON 級の油槽船舶体実際に使用された溶接棒重量は構造によって、少ないものは20kg/TON位であるが、多いものは28 kg/TONにもなっている。もちろん実際に使用した溶接棒重量は、加工精度、工作精度、溶着効率等の影響によって、計算重量とは相違があるが、ほぼ比例した値となる。最近船体の隅内溶接脚長が大幅に減少されたが、これもまた溶接工事量の軽減の上に大きく影響してこよう。

(2) 技術研究、技術管理

- ①高能率な各種自動・半自動および手溶接法の開発と実用化

リブマージドアーク溶接、炭酸ガス溶接等自動・半自動溶接は手溶接に比し遙かに高能率で溶接結果も良好であるので、その適用範囲の拡大を考えることはいうまでもない。自動溶接法を更に高能率化するため、多極溶接法や、溶接入熱を有効に利用して高能率化するカットワイヤ法、FN法、KIS法、KKX法などが開発され、更にこれらを組合せて実用し、従来の自動溶接を20%ないし80%も高速化している。また簡単な半自動溶接機としてのグラビデー溶接機も各種の型が使用され、手溶

接の2倍から10倍もの作業能率をあげている。またエレクトロスラグ溶接法やエレクトロガス溶接法は立向溶接を自動化した最新の高能率溶接法として注目を浴び急速に実用化されつつある。スタッド溶接、スポット溶接、各種抵抗溶接やテルミット溶接等の各種溶接法はおのこの特性があり、それぞれに最も適した工事に上手に利用することを心掛けなければならない。

また手溶接についても高速溶融、高溶着効率の各種棒、深溶込棒、コンタクト棒、立向下進棒など新しい型のものや改良品が開発されており、地味ではあるが、現在なお溶接の大半を占める手溶接の高能率化を忘れてはならない。

②技術管理と技術教育

新溶接法の実用化のために技術教育を欠くことが出来ないが、溶接の基礎的な技術、工作法等についても絶えず教育を繰り返して全般の技術水準を上げて置くことは、能率の維持・向上のためにも重要なことである。

また不良溶接部の手直しや、溶接脚長の増大など、技術管理が不十分なために余分の工数がかかり能率が低下することも少なくない。これ等の結果は鋼材重量当りの使用溶接重量の増大となって表われてくる。たとえば隅内溶接脚長が10%増加したとすると、隅内接手が全溶接長の70%を占める船体等では使用溶接重量が約15%増大することとなる。

技術教育、技術管理が能率の上からも極めて重要であることを、管理者は強く認識する必要がある。

(3) 作業管理・作業方法の改善

①作業管理

工事計画において工数の山谷を少なくするよう、工事量の定常化を図り各職の工程を厳守するよう、作業管理を行うことは能率向上の上に最も重要なことである。特に自動車産業のような完全な流れ作業方式の確立されていない作業、たとえば造船等においては、綿密周到な工事計画と、その厳正なる遂行如何が今日の溶接作業能率の大半を左右しているといっても過言ではない。現実には各職の工程遅延が最終工程たる溶接作業にしわ寄せされて、無理な工程を遂行するため、溶接工の集中と瀕繁な移動が行われ、莫大な工数のロスをしていることが多い。筆者は工期と工数の関係を地上組立ブロックについて調査したが、同一ブロックと同じ時期に施工して、工程が予定より半減されて接工が集中移動したものは80%も工数が増大した。

溶接管理者の立場からこのような工事計画が遅延し工程の確保の出来ないような、だらしのない工程管理の体制の中で、能率を向上させることは困難な問題が多いが、絶えず溶接作業前の職種即ち取付工の配員の動静、工程

進捗状況をチェックし配員管理・増動管理の上に反映させて、少しでも全般の工程保持と溶接能率向上を図らなければならない。しかしながら増動により調整可能な工数の山谷は大休±15%位であり、溶接自体で管理出来る幅は非常に少いので管理の主眼はより根本的なところに置かれなければならない。筆者は溶接職の工数の山谷の程度を見れば、その工場全般の管理水準が略推測出来るものと考えている。

②作業方法の改善

溶接工のアーケタイム率の低下した場合、その原因を追求してみると溶接工自身に起因するところはほとんどなく、他の影響によるところが意外に大きいことが判明する。たとえば工場の手待ち、移動のための準備、機械の故障、雨天のための作業準備、溶接棒の受出、等管理者、技術者の解決によらなければならないことが多い。IE即ち現状を分析して能率向上のための問題点がどこにあるかを発見し作業改善等種々の方法で解決してゆくことが技術者の重要な任務である。自動溶接の稼働率を高めると共に1台当りの作業人員を減らすためにはどうすればよいか。自動溶接作業者がシーリング溶接や、ワイヤーの取換、棒継目の処理、溶落の手直し、タブおよび塔載ピースの取付等意外のところによく多くの時間をかけていることが判明しよう。手溶接についても機械の段取、キャブタイヤの準備、電流の調整、等保線業務の不備、管理不足が溶接能率を低下させている大きな原因であることに気付くと共にIE的手法の必要性を痛感することと思う。

4. 造船の溶接作業における能率向上の推移

昭和25年筆者が造船所に入所した頃は戦後ようやく10,000TON型貨物船の建造が再開され出した時で、溶接採用率は70%前後、船側外板のバットや肋骨の接合は皆鉄であった。しかし近々1年位の間に溶接採用率は85%前後となり外板のバット、二重底構造、船首および船尾部を除いた肋骨と外板の接合、ビームニーの甲板側等が溶接で行われるなど日進月歩の状態ですべて溶接構造になっていった。自動溶接は昭和25年6月に初めてユニオンメルトおよびリンカーンワエルドが合計10台輸入され、大造船所が1台づつ所有したが、実験段階で、実際の工事施工はすべて手溶接であった。溶接棒もD4301型イルミナイト系の4φ、5φの棒径のものを使用し仮止溶接もすべて溶接工が施工し溶接能率は単位時間当りの溶接棒使用重量が0.6kg/H前後であった。当時の一般的な傾向であるが能率向上の方法として能率給による刺戟がとられており、溶接においても0.6kg/Hr又は0.65kg/Iir

を標準作業量として共同請負形式がとられており、大体10%ないし20%の能率増があった。しかし作業量の基準となった溶接棒は何ら管理されておらなかったため新しい溶接棒が作業場のあちこちに散在し、雨に濡れて廃却されたり、また能率給を増すために未使用の溶接棒を海中に投棄するが如き非常識なことまで盛んに行われていたので、実際の溶接能率は遙かに低かったものと推定される。これは筆者が昭和26年に当所のK工場で最初に残棒回収制度を実施した船の船壳溶接使用棒重量が、同時期建造の同型船の約70%弱と激減したことからも明らかで、能率管理の面だけでなく資材節約の点からも、イルミナイト系溶接棒の値段がkg当り180円と現在の倍以上もしていた当時、随分無駄をしていたと言える。その後当社は全面的にこの残棒回収制度を採用実施し、能率管理も棒重量を基準として前述のような方法がとられ10年以上を経過したが、溶接棒の散逸するのはほとんどなく作業場も美化され一石二鳥、三鳥の果を挙げている。近年は大造船所ではこの残棒回収制度を採用しているところが多い。

昭和27年前後に油槽船の第一次大型化が始り載荷重量2,000TONから10,000TON位であった油槽船が20,000TONないし30,000TONとなりスーパータンカーと呼ばれて新船が続々誕生していった。溶接採用率も一段と拡大され、90%以上となり、自動溶接も漸くユニオンメルトが実船に使用されて能率向上に寄与し始めたが、まだその比率は低く技術的にも種々の問題が起った。手溶接では船の大型化、板厚の増大に伴って大径棒使用の兆が見えてきたが、溶接能率向上の程度は顕著でなく0.85kg/Hr位であった。筆者はリモートコントロール装置を溶接機に備えて精度とアーケタイム率の向上を策したアーケタイム計を購入してアーケタイム率を測定したが、前記残棒回収制度を一步進めて溶接棒使用重量より溶接工全員のアーケタイム率を算定し始めた。1928年には仮止溶接を本溶接より分離しプレイターが仮止溶接を行うこととしたが、これにより溶接工の能率は約1.3kg/Hrと一挙に向上し一方取付工自身も手待ちが減少して能率が飛躍的に良くなった。

昭和31年頃の油槽船第二次大型化により載荷重量40,000TON以上のいわゆるマンモスタンカーが建造され、造船ブームの到来となったが、溶接はこの間に飛躍的な進歩を遂げており建造工期の短縮と船価の低減に寄与した。自動溶接は全溶接重量の10ないし15%を占めており、手溶接棒として大径棒、デープフィレット棒、等高能率なものが完成されて大幅に実用化された。溶接工の能率は1.5kg/Iirを超え、新造船における船壳溶接工事のアーケタイム率は35%以上となり、欧米に比較して20

年遅れていると言われてきた戦後の溶接も、造船に限る限りは、技術的にも能率面でも後進性を脱却して世界的水準に到達し、次の飛躍の素地を固めたと言え得る。

昭和37年の後半に始り現在継続中の造船界の数量ブームにおいては、船型は50,000TON以上100,000TON或は150,000TONといよいよ大型化し莫大な工事を短期間に消化するために溶接作業能率の急速なる向上が強く要望されている。しかして溶接能率を高めるためのあらゆる新技術の開発、IEなど種々なる手法、能率管理法などが総合されて、その成果を挙げつつある。自動溶接の採用率は20%に近く、グラビテー溶接も略20%を占めており、炭酸ガス半自動溶接なども徐々に実用化の方向にあり、時間当りの溶接棒使用重量は現在2kg/Hr以上になっている。

以上茲数年間の造船所の溶接作業能率の推移の概要を追ってみたが、新造船の船別溶接工単位時間当りの使用重量kg/Hrおよび船壳鋼材重量当りの船壳溶接工数Hr/TONでみると図5の如く向上のあとがよくわかる。

しかしながら近代は技術革新の速度も早く溶接作業の能率向上に対する期待、要望も急速かつ大である。自動溶接それ自体のスピード化、あらゆる溶接法の自動化、新溶接法の開発と実用化、溶接棒の革新、手溶接の能率化等が現在着々と進みつつあり、ここ1、2年の間に溶接作業能率は革命的な進歩が遂げられることが期待される。

5. 溶接作業能率向上の今後の動向

溶接能率向上のためには前述の如く設計・技術・生産管理のすべてが関連しており、これらのすべての面から押し進めてゆかなければならないことは論をまたない。

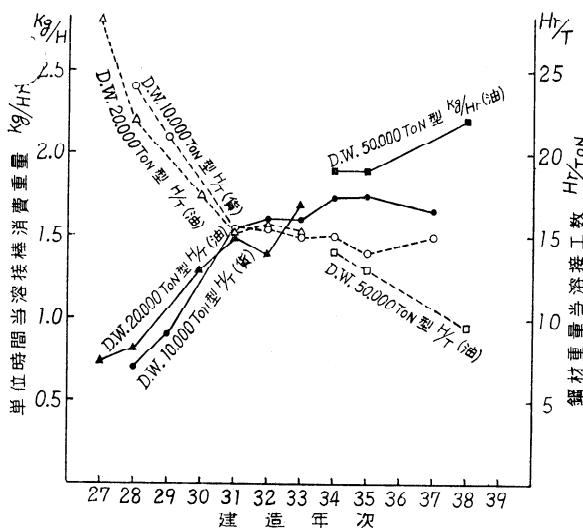


図5 新造船における工事別溶接能率の推移

そのどれ一つを欠いても思いがけない大きな障碍となり溶接能率の向上を阻害することが考えられる。従って日々の生産の中に、これ等能率を阻害している小さな一つの因子を発見し分析し取り除くことによって着実に、そして最終的には大きく能率を高めることが出来る。

従来わが国の工業は比較的低い労働賃金の上にあぐらをかいて生産性の低いことには目を覆った嫌がある。欧米においては僅か1時間の工数を下げるために技術者管理者が驚くべき努力を払い精力を傾注していることを考えると、われわれは労働力を無駄なく使う点において管理の面でも資本投下の面でも関心が薄く勇気も欠いていたように思う。たとえば全従業員の2%もの守衛を抱えているなどということは欧米では到底考えられないことである。同様のことが他の人員構成の面でも、直接工の能率の面でも考えられることである。間接工となっている若干の保線関係人員を削減したことによって目に見えない溶接工の能率低下が意外に大きいことに上級管理者は気づかないものである。

近年の著しい賃金の上昇は、それ以上の生産性の向上、高能率化を図らなければ企業の存立を危殆に陥らせる可能性がある。労働賃金は必ず近い将来世界的水準まで上るものと考え、設備投資、技術研究による生産性向上も新しい採算点に基いて抑えなければならず、今後は溶接作業の能率向上も機械化、技術研究の面に重点が置かれて進められるであろうと思われる。しかして新技術の開発、手溶接作業の大幅な自動化、即ちサブマーゴドアーク溶接やグラビテー溶接のみでなく、エレクトロスラッグ溶接、エレクトロガス溶接、炭酸ガス溶接等新技術と大型の治具を組み合わせ、溶接それ自身による能率向上は、他職種とは必ずしも関係なく、革命的な飛躍をもたらすものと思われ、今後筆者は最も力を傾注すべき方向ではないかと考える。

以上

文献

溶接協会施工法委員会：溶接技術管理、第8章
 真 蒔：新造船工事における生産管理の研究
 松永外：船体溶接工数節減の一例：溶接学会誌 32巻 4号
 " "：同上 (その二)： " " 9号
 " "：同上 (その三)： " " 12号
 " "：溶接能率向上に関するIE的手法：溶接等会誌 33巻 1号
 妹 島：溶接作業の能率管理とIE思想の導入：溶接界 16巻 6号