

Erzielbarer und erzielter Nutzen durch den Einsatz schweißtechnischer Software am Beispiel von WELDWARE

A. Scharff, Rostock

1. Was ist und was kann WELDWARE

WELDWARE ist ein modular aufgebautes schweißtechnologisches Beratungssystem, das der Kalkulation der Wärmeführung beim Schweißen dient. Es greift auf umfangreiche metallurgische Datenmassive zum Umwandlungsverhalten und zu den mechanischen Gütewerten in Stahlschweißverbindungen zurück und berücksichtigt dabei die Abhängigkeit von Stahlsorten, chemischen Zusammensetzungen und deren Streuungen, Abkühlungszeiten,

Abkühlungszeiten, Aufmischungsverhältnissen, Übergangskoeffizienten, technologischen Streu- und weiteren Einflußfaktoren.

Durch die gegenwärtigen Möglichkeiten und zukünftigen Entwicklungen auf dem Gebiet der arbeitsplatzbezogenen Rechentechnik kann dem Schweißfachingenieur Expertenwissen zur Verfügung gestellt und ihm damit nicht nur die tägliche Arbeit erleichtert werden, sondern seine Entscheidungen können durch die Anwendung von wissensbasierten und Beratungssystemen auch auf einem qualitativ höheren Niveau getroffen werden.

Die umfassende Berücksichtigung von Schweißbarkeitsproblemen bei der Lösung schweißtechnologischer Aufgabenstellungen erfordert vom Schweißfachingenieur neben dem schweißtechnischen Grundwissen Spezialwissen auf schweißmetallurgischem, physikochemischem, werkstoffchemischem, thermomechanischem und festkörpermechanischem Gebiet. Obwohl tendenziell immer mehr wissensbasierte Systeme mit heuristischem und empirisch gewonnenem Regelwerk im Einsatz sind, haben dialoggeführte Beratungssysteme, die wie WELDWARE in klassischer Weise nach vorgegebenen Algorithmen arbeiten, ihre Position in der Schweißtechnik berechtigt behalten.

WELDWARE koppelt letztlich werkstoffunabhängige Module mit werkstoffbezogenen Modulen, um daraus technologierelevante Daten abzuleiten. Zur Erleichterung der Bedienungsführung und zur vereinfachten Dateneingabe werden werkstoffbezogene Daten, wie z.B. die chemische Zusammensetzung, nach Auswahl des Werkstoffes aus einem Datenfile übergeben. Gegebenenfalls erforderliche Korrekturen können in die Fenster eingetragen werden, so daß bei dem gewünschten Berechnungsgang mit den korrigierten Werten gearbeitet werden kann. Je nach Erfordernis können die werkstoffunabhängigen und die werkstoffabhängigen Berechnungsmodule auch einzeln für schweißtechnologische Aufgabenstellungen genutzt oder in beliebiger Reihenfolge aufgerufen werden. Als besonderer Vorteil für den Nutzer erweist sich hier die objektorientierte Programmierung, die bei Auswahl eines Schweißprozesses alle prozeßbezogenen Angaben im jeweiligen Fenster auf den Prozeß korrigiert und entsprechend richtig an die nachfolgenden Module übergibt, ohne daß ein spezieller Eintrag durch den Nutzer erforderlich wäre.

Um die Adäquatheit des Systems zu erhöhen und die statistischen Gütewerte der angewendeten Regressionsgleichungen zu verbessern, ist es erforderlich, vor-

liegende Datenmassive in Abhängigkeit von den Stahlmarkentypen in „lokalen Modellen“ zu verarbeiten. Zur Zeit sind lokale Modelle für un- und niedriglegierte Stähle, für warmfeste Stähle, für un- und niedriglegierten Stahlguß sowie für Mischschweißgut verfügbar.

Unter der Auswahl „Schweißgut“ erfolgt die Berechnung von Übergangskoeffizienten, Aufmischungsverhältnissen und chemischer Zusammensetzung von MAG(CO₂)-Mischschweißgut in Abhängigkeit von aufgeschmolzenem Grundwerkstoff und abgeschmolzenem Schweißzusatz, Schweißdaten, Nahtform und -geometrie, für die nachfolgend mechanische Gütewerte und Umwandlungspunkte berechnet werden können. Bei Mehrlagenschweißungen ist es möglich, die sich von Lage zu Lage verändernde chemische Zusammensetzung des Schweißgutes und somit lokale Eigenschaftsveränderungen über den Nahtquerschnitt zu bestimmen.

Mit einem zusätzlichen Modell können auf der Grundlage von Modellstählen in einem erweiterten Gültigkeitsbereich Trendberechnungen sowohl für reine C-Stähle als auch für Mn-Si-Stähle und für Stahlguß durchgeführt werden.

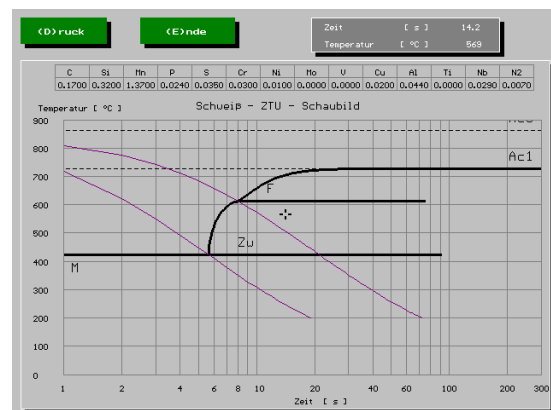


BILD 1: Schweiß-ZTU-Schaubild für StE355, WELDWARE

WELDWARE enthält für jede Werkstoffgruppe folgende Berechnungsmodule:

- „Schweiß-ZTU-Schaubild“ (Berechnung schematischer Schweiß-ZTU-Schaubilder aus der chemischen Zusammensetzung, BILD 1).
- „Mechanische Gütewerte“ (Berechnung von Härte, 0,2%-Dehngrenze, Zugfestigkeit, Bruchdehnung, Brucheinschnürung und Kerbschlagarbeit in Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung und der Abkühlungszeit, BILD 2).
- „Gefüge“ (Berechnung der Gefügezusammensetzung in der Wärmeeinflußzone in Abhängigkeit von chemischer Zusammensetzung und Abkühlungszeit).
- „Streuung der chemischen Zusammensetzung“ (Berücksichtigung von Chargenstreuungen bei der Ermitt-

lung von mechanischen Gütewerten oder Grenz-abkühlungszeiten).

- „Streckenenergie“ (Ermittlung von erforderlichen Streckenenergien und Vorwärmtemperaturen für zu gewährleistende mechanische Gütewerte oder für einzuhaltende Abkühlungszeiten).

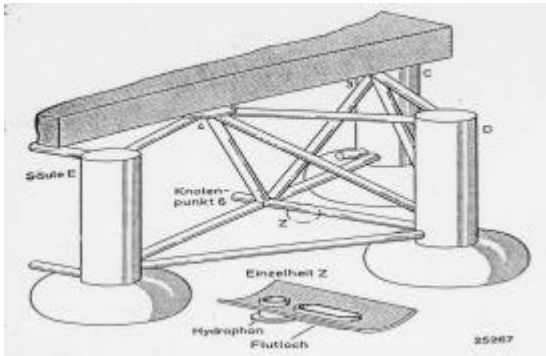
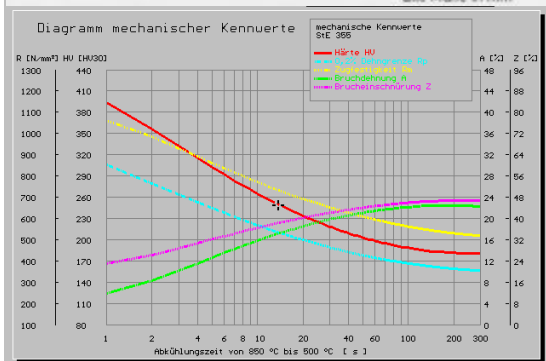
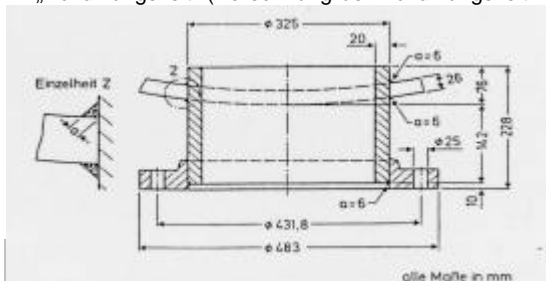


BILD 3:

„Alexander Kielland“, Detailzeichnung Rohr/Flansch /06/

- „Abkühlungszeit“ (Berechnung der Abkühlungszeit in



Abhängigkeit von Schweißprozeß, Schweißdaten, Vorwärmtemperatur, Nahtart und Bauteildicke).

- Zusätzlich kann mit dem Modul „Nachwärmung“ der Einfluß einer begleitenden Kurzzeitnachwärmung durch Ein- oder Mehrflammenbrenner berechnet werden. Auf diese Weise ist es möglich, die Nachwärmparameter zu ermitteln, mit denen der Abkühlzyklus oberhalb der M_s -Temperatur abgefangen und bei quasiisothermer Temperaturführung eine Zwischenstufenvergütung erreicht werden kann.

BILD 2:

Diagramm mechanischer Kennwerte für StE355, WELDDWARE

- „Temperaturfeld“ (Berechnung des zwei- oder dreidimensionalen Temperaturfeldes nach der Finite-Elemente-Methode mit Anwendung von maximal 5

Einzelquellen, Vorwärm- und Nachwärmtemperaturen).

Darüberhinaus können die berechneten Streckenenergiewerte auf die Schweißparameter aufgeteilt sowie Temperatur-Zeit-Verläufe, Kaltrißprobleme, prozeß- und positionsabhängige Nahtgrößen, diffusive Wasserstoffgehalte über gefügeabhängige Diffusionskoeffizienten und Festigkeitswerte bei niederzyklischer Beanspruchung bestimmt werden. Berechnungen für Laserstrahlschweißungen sind über ein modifiziertes WELDDWARE-Programm möglich /01-05/.

Alle Berechnungsergebnisse sind neben einer alphanumerischen Ausgabe auch grafisch als Schweiß-ZTU-Schaubild, Diagramm mechanischer Kennwerte, Abkühlungskurve, Temperaturfeld usw. darstellbar.

2. Schadensanalyse

Neben Unfällen durch menschliches Versagen, falsche Schiffsführung und ungenügende Ausbildung kommt es immer wieder zu ernstesten Havarien mit großen wirtschaftlichen Schäden bis hin zu Menschenverlusten infolge technischer Mängel, falschen Werkstoffeinsatzes, mangelhafter Fertigungstechnologien oder infolge von Konstruktionsfehlern, Berechnungsfehlern sowie Materialermüdungen.

Noch in Erinnerung ist das Unglück der Fünfeck-Arbeitsplattform „Alexander A. Kielland“, die wegen Stabilitätsverlust im März 1980 mit 212 Mann an Bord kenterte. 123 davon verloren ihr Leben.

Das Deck der Plattform ruhte auf 5 Säulen, welche wiederum auf 5 Pontons standen. Die Gesamtkonstruktion wurde durch ein komplexes Rohrfachwerk zusammengehalten. Die oberen Horizontalen der Konstruktion wurden wasserdicht ausgeführt, die unteren Horizontalen mit Flutlöchern versehen. Neben den Flutlöchern wurden Flansche eingeschweißt, die zu einem späteren Zeitpunkt Hydrophone zum Empfang von Ultraschallsignalen aufnehmen sollten. Das Flanschrohr des Hydrophonhalterstutzens wurde lichtbogenhandgeschweißt mit Kehlnähten beidseitig an die Rohrstrebe angeschlossen (BILD 3). Verwendet wurden basische Elektroden vom Durchmesser 5 mm. Vorwärmung war weder vorgesehen noch wurde sie angewendet.

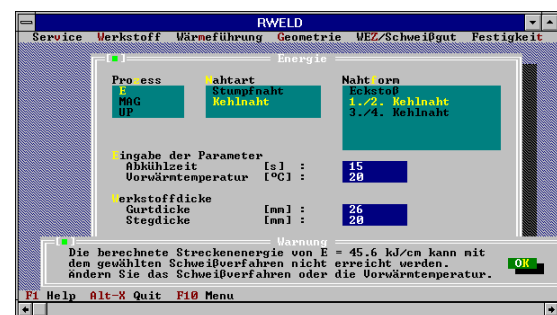


BILD 4:

Modul „Streckenenergie“, WELDDWARE

Bei der Schadensuntersuchung wurden in der Wärmeeinflußzone dieser Kehlnaht eine Reihe von Kaltrissen festgestellt, die unmittelbar beim oder nach dem Schweißen und noch vor dem Stapellauf aufgetreten sein müssen. Das konnte durch Fabreste in den Rissen nachgewiesen werden, die beim Anstreichen in die Risse eingedrungen sein mußten. Diese Kaltrisse bildeten den Ausgangspunkt für den Dauerbruch, dessen Länge 5 m und damit 2/3 des Rohmfanges erreichte, als der Gewaltbruch einsetzte. Durch diesen Bruch fiel die Rohrstrebe D-6 aus. Die übrigen Rohrstreben wurden überlastet und brachen schnell hintereinander. Durch den Ausfall des Rohrauftriebskörpers D kenterte die Plattform /06/.

Hätte man diesen Schaden abwenden können?

Neun Jahre später, 1989, ließen sich mit Hilfe von WELDWARE in den werkstoffabhängigen Modulen das schematische Schweiß-ZTU-Schaubild (BILD 1) und das zugehörige Diagramm mechanischer Kennwerte (BILD 2) berechnen. Der in der Konstruktion des Halbtauchers verwendete höherfeste Feinkornbaustahl entsprach mit 0,17 %C und 1,37 %Mn etwa einem StE355 (nach DIN 17 102) bzw. einem S355N (nach EN 10 113-2). Dessen Diagramm mechanischer Kennwerte wies aus, daß eine Abkühlungszeit von 15 bis 20 s hätte angestrebt werden müssen, um die Härte auf Werte um 250 HV30 zu begrenzen und die Werte der Bruchdehnung in die Nähe derjenigen des Grundwerkstoffs zu legen. Im werkstoffunabhängigen Modul konnte die zugehörige Streckenenergie aus den konstruktiv-geometrischen und technologischen Daten berechnet werden. Bei einer vorwärmlosen Schweißung, wie damals ausgeführt, war die erforderliche Streckenenergie zur Gewährleistung der o.a. Werte mittels Lichtbogenhandschweißung allein gar nicht erreichbar. Da der Schweißprozeß praktisch nicht gewechselt werden konnte, bot WELDWARE nun als Alternative eine Erhöhung der Vorwärmtemperatur an (BILD 4). Aus einer ergänzenden Darstellung im Berechnungsweg „Abkühlungszeit“ (BILD 5) ging hervor, daß bei den am Rohrfansch gewählten Schweißparametern eine Vorwärmtemperatur von knapp 300 °C angebracht gewesen wäre, um die „Ziel“- Abkühlungszeit von 15 bis 20 s zu erreichen und kaltrißfördernde Gefügezusammensetzungen zu verhindern.

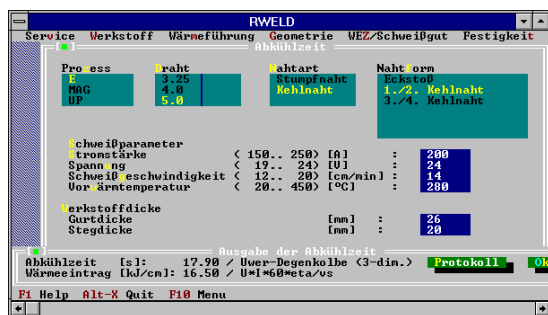


BILD 5:
Modul „Abkühlungszeit“, WELDWARE

Ein ähnliches technologisches Problem trat 1994 auf. In einem Stahlbaubetrieb wurden massive Bauteile eines 1100-Tonnen-Kranes aus St52-3 (S355J2G3 nach EN 10 025) mit 0,23 %C und mit Blechdicken von 42 mm und 20 mm als Kehlnaht unter 200 °C Vorwärmung geschweißt, wobei das Wärmeeinbringen über den Lichtbogen sowie

das Vorwärmen durch Arbeiten in Zwangslage (Schweißposition PD) erschwert waren. Geschweißt wurde mit Parametern, die für das Lichtbogenhandschweißen und Elektrodendurchmesser von 3,25 und 4 mm üblich sind. Dennoch waren in verschiedenen Nähten Risse feststellbar.

Für die Reparatur wurden die Wärmeführung mit WELDWARE kalkuliert und Schweißparameter bestimmt, die ein rißfreies Schweißen gewährleisten und das Bauwerk retteten. Die Reparaturkosten betragen ca. 200 TDM.

Durch „passive“ Vorgehensweise können Schadensfälle wie die vorgestellten schnell und übersichtlich mit WELDWARE oder ähnlichen Softwareprodukten nachvollzogen werden. Natürlich nutzt der „aktive“ Schweißfachingenieur Beratungssysteme dieser Art, um solche groben Fehler durch Vorkalkulation der Wärmeführung beim Schweißen auszuschließen.

3. Optimierung der Wärmeführung

WELDWARE wurde entwickelt, um dem Schweißfachingenieur für eine rechnergestützte Arbeitsweise Hilfsmittel zur Gewährleistung der Werkstoffkompatibilität seiner Schweißtechnologien in die Hand zu geben und um Fragen der Schweißbarkeit im Rahmen der technologischen Fertigungsvorbereitung zu berücksichtigen.

Einer der ersten Anwendungsfälle von WELDWARE war 1985/86 die Festlegung einer geeigneten Wärmeführung für dickwandige Verschleißteile der Eimerleiter von Eimerkettenschwimmbaggern aus Stahlguß GS-C25, GS-45 und GS-52, die durch den Transport von Schürfgut direkt von Mineral-Gleit-Verschleiß betroffen waren und in bestimmten Zeitabständen reparaturgeschweißt werden mußten (BILD 6). Eine Vereinheitlichung der berechneten Angaben war jedoch nicht möglich aufgrund der unterschiedlichsten Geometrien und Wanddicken an den betreffenden Stahlgußteilen.

Eimerkettenschwimmbagger haben die Aufgabe, Fahrrinnen oder Schiffs Liegeplätze freizuhalten bzw. zu vertiefen. Dafür besitzen die Bagger eine auf einem Bock entsprechend der Wassertiefe schwenk- und verschiebbar gelagerte Eimerleiter. Durch einen mittschiffs angeordneten Schlitz im Schwimkörper reicht die Eimerleiter bis auf den Grund. Das Schürfgut gelangt über Schüttrinnen in eine längsseits liegende Klappschute, mit der es an einer dafür vorgesehenen Stelle wieder in See verklappt wird. Im Unterschied zur Trockenbaggerei im Bergbau erfolgt bei der Naßbaggerei keine zusätzliche Schmierung. Als Schmiermittel dient hier das Seewasser. Die Baggereimer werden von unten an den Boden geführt, so daß die Eimerkette und die gefüllten Baggereimer (750 l Inhalt) dann oben über Eimerleiterrollen und Oberturas laufen und im Schüttrinnen entleert werden. Hieraus resultiert u.a. die starke Belastung der Eimerkette. Die Eimerleiterrollen selbst sind wenig vom Verschleiß gekennzeichnet, solange sie ihre rollende Bewegung ausführen. Jedes Neubauschiff verfügt über 72 Baggereimer. Zu jedem dieser Baggereimer gehören zwei Schaken. Von Baggereimern älteren Typs sind maximal 50 in einer Kette zusammengeschlossen, wobei hier konstruktiv bedingt 4 Schaken zu jedem Eimer gehören. Durch den Betrieb des Baggers unterliegen die Eimerleiter (Schaken sowie Schneidkante und Kufen der Baggereimer) sowie



Ober- und Unterturas, über die die Kette läuft, besonderem mechanischen Verschleiß durch Schlick, Sand, Steine und schlagartige Beanspruchung.

BILD 6:

Verschleißteile am Eimerkettenschwimmbagger

Der Oberturas (GS-52, Wanddicke 40 mm) beispielsweise erhielt mittels Lichtbogenhandschweißung eine gegen Abrieb vorbeugende 6 mm-Auftragsschicht direkt auf die Laufflächen. Das erfolgte anfangs in einem speziellen Kammerofen an Land unter vollständiger Erwärmung auf 300 °C, die nach den damaligen Normen gefordert wurden. Neben erschwerten Arbeitsbedingungen für die Schweißer verlangte diese Arbeitsweise jedoch einen hohen Energieeinsatz über lange Zeiträume. Die Schweißwärme wurde rasch ins Bauteil abgeführt, was unbefriedigende mechanische Gütewerte bedingte.

Mit Hilfe von WELDWARE wurde die Wärmeleitung für alle betreffenden Verschleißteile neu kalkuliert, so daß die Vorwärmtemperaturen auf 150 bis 200 °C abgesenkt werden konnten und in Ausnahmefällen auch an Bord geschweißt werden durfte unter örtlicher Erwärmung der Bauteile mittels Azetylen-Sauerstoff-Flamme.

1994/95 wurde WELDWARE dazu benutzt, die Festlegung von Vorwärmtemperatur und Wärmeleitung an Probeteilen und vor Ort im Rahmen der Bauüberwachung für die größte Seebrücke Europas in Heringsdorf (Länge 550m, Bauvolumen 22 Mio. DM) zu erleichtern. Es handelte sich um das Schweißen dickwandiger wasserberührter Konstruktionselemente (Stützpfeiler, BILD 7) aus X52/X60/X65. Die Stützpfeiler waren mit Deckeln zu verschließen, um darauf weitere Aufbauten anzuordnen. Die Schweißfuge lag ca. 3 m über der Wasseroberfläche.

che. Die Verbindungsschweißung Rohr/ Deckel erfolgte unter Montagebedingungen.

BILD 7:



Seebrücke Heringsdorf, Stützpfeiler in der Bauphase

Darüberhinaus gab es Anwendungsfälle für WELDWARE im Chemieanlagenbau, beim Bau der Erdgasstrasse in der UdSSR sowie bei der Erarbeitung schweißtechnischer Vorschriften für den Maschinenbau und Klassifikationsgesellschaften.

4. Legierungsoptimierung

Bereits 1985 wurden die Gleichungen in WELDWARE dazu benutzt, im Qualitäts- und Edelstahlwerk Brandenburg die Chargenzusammensetzung einer bestimmten Stahlsorte, die in großem Umfang hergestellt werden sollte, so zu kalkulieren, daß mit den billigsten Legierungselementen gerade noch die geforderten mechanischen Gütewerte - auch bezüglich der Schweißseignung - gewährleistet werden konnten. Pro Tonne Stahl wurden auf diese Weise damals 52,- M eingespart.

Die Stahlwerke Bremen GmbH z.B. hat 1996 Berechnungen zur Ermittlung der Schweißseignung eines hochfesten Röhrenstahles (X80) angefordert. Mit Hilfe von WELDWARE wurden über Schweiß-ZTU-Schaubild und mechanische Kennwerte - Abkühldauer - Diagramm optimale Abkühlungszeitbereiche empfohlen und das zu erwartende Gefüge, die Festigkeits- und Härtewerte sowie die Kaltrißneigung in der Wärmeeinflußzone in Abhängigkeit von der geplanten chemischen Zusammensetzung abgeschätzt.

5. Beurteilung von Schweißgut

Das MSG-Schweißen gehört u.a. zu jenen Lichtbogen-schweißprozessen, bei denen der Schweißzusatzwerkstoff eine entscheidende Rolle spielen kann. An alle Schweißzusätze oder Zusatz/Hilfsstoff-Kombinationen werden Forderungen nach der Gleichwertigkeit von Schweißverbindung und Grundwerkstoff hinsichtlich der mechanischen Kennwerte und nach der Rißfreiheit der Verbindung gestellt. Schweißzusatz und Hilfsstoffe müssen also so gewählt werden, daß unter Berücksichtigung der Schweißbedingungen die Gewährleistungswerte des Grundwerkstoffs bezüglich Festigkeit und Zähigkeit auch im Schweißgut annähernd erreicht werden /07/.

BILD 8:
 Modul „Schweißgut“, WELDDWARE
 Eingabe von Grund- und Schweißzusatzwerkstoff

die Folgelage auf hocherwärmten Werkstoff, dessen

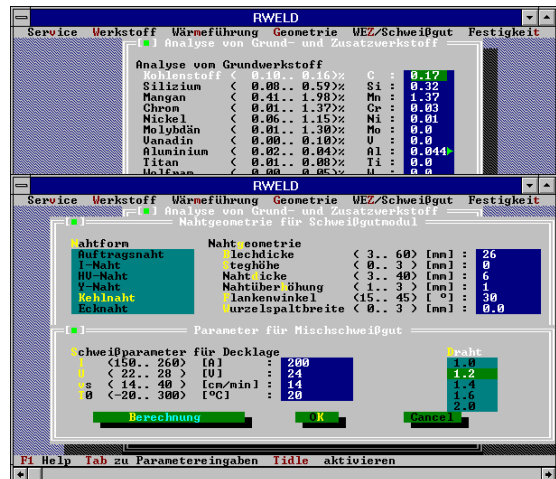


BILD 9:
 Modul „Schweißgut“, WELDDWARE
 Eingabe von Fugengeometrie und Schweißparametern

Durch den 1990 begonnenen Modul „Schweißgut“ in WELDDWARE ist es möglich, den Einfluß der Schweißgut-zusammensetzung auf die Gefügezusammensetzung und die mechanischen Kennwerte im Schweißgut abzuschätzen. In den meisten Anwendungsfällen ist diese dem Praktiker vorab und ohne meßtechnischen Aufwand nicht bekannt, in WELDDWARE kann er sie aber aus der chemischen Zusammensetzung von Grundwerkstoff und Schweißzusatz, Fugengeometrie und Schweißparametern berechnen (BILD 8 bis BILD 10). WELDDWARE ermittelt zuerst die Anzahl der zum Füllen der vorgegebenen Naht erforderlichen Lagen aus deren geometrischen Daten und dem zu erwartenden Nahtquerschnitt. Danach sind für Wurzel-, Füll- und Decklage die Drahtdurchmesser und Schweißparameter einzugeben. Anschließend werden die Lagenzusammensetzung im Schweißgut unter Berücksichtigung der auftretenden Abbrandverhältnisse und Übergangsfaktoren berechnet und ausgegeben. Mit jeder aktuellen Legierungszusammensetzung ist es möglich, in anderen Modulen weiterzuarbeiten. Der Effekt der mehrfachen Erwärmung beim Mehrlagen-schweißen durch Füllen der Nahtfuge mit mehreren übereinandergelegten Schweißraupen läßt sich einfach

Vorwärmtemperatur vor allem von der Länge der zu schweißenden Nahtabschnitte abhängt. Zusätzlich beeinflusst der erhitze Werkstoff die Abbrandverhältnisse im Schweißgut und damit dessen chemische Zusammensetzung.

6. Technologietransfer „Kurzzeitnachwärmung“

Vorwärmmaßnahmen beim Schweißen schweißempfindlicher Werkstoffe sollen über eine Beeinflussung des Temperaturgradienten vor allem die Abkühlungsgeschwindigkeit und damit den Martensitanteil im Gefüge der Wärmeeinflußzone verringern. Vorwärmung hat aber auch Einfluß auf die Kinetik der Schweißspannungen und auf die Schweißrestspannungen, der nur mit größeren Schwierigkeiten abschätzbar ist. Es ist bekannt, daß erhöhte Vorwärmtemperaturen auch zu einer Spannungserhöhung führen können. Da Vorwärmmaßnahmen zudem erhebliche Kosten verursachen und zu einer Erschwerung der Arbeitsbedingungen führen, sind alternative Wärmeführungen beim Schweißen schweißempfindlicher Bauteile von zunehmendem Interesse.

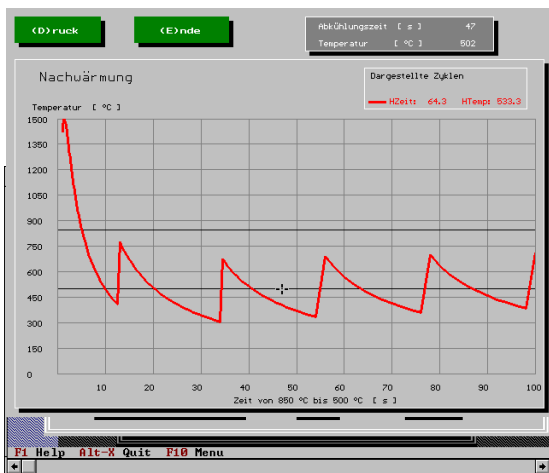


BILD 11:
 Modul „Nachwärmung“, WELDDWARE
 Verlauf des T-t-Zyklus mit Haltezeit und -temperatur

und schnell an den berechneten Ergebnissen ablesen. Außerdem kann der Einfluß der Nahtlänge über die Eingabe einer Zwischenlagentemperatur berücksichtigt werden. Wenn die Einzellagen sehr lang sind, trifft die Folgelage auf weitgehend abgekühlten Werkstoff. Wenn die Einzellagen sehr kurz sind, trifft

Das Kurzzeitnachwärmen aus der Schweißhitze heraus bringt z.B. einen positiven Effekt auf die mechanischen Kennwerte in der Wärmeeinflußzone und auf die Verringerung der Eigenspannungen bei gleichzeitiger Kostensenkung durch eine Verminderung des Gesamtaufwandes mit sich. Es wird als quasi-isothermes Zwischenstufenvergüten durchgeführt. Man geht davon aus, daß zur Begrenzung der Verweilzeit oberhalb der A_3 -Temperatur und damit zur Verringerung der Austenitkorngröße der Wärmeeintrag eingeschränkt werden sollte. An die Stelle der Vorwärmung tritt eine begleitende Nachwärmung, die die Abkühlungsgeschwindigkeit im Temperaturbereich der Zwischenstufenumwandlung bis auf Null verringert und damit zu einer isothermen Umwandlung in der Zwischenstufe führt. Die Nachwärmung

BILD 10:
 Modul „Schweißgut“, WELDDWARE
 Berechnete Lagenzusammensetzungen

kann mittels Mehrreihengasbrenner oder durch induktive Nachwärm Brenner realisiert werden.

Die Kalkulation von Haltetemperatur und Haltezeit erfolgt mit Hilfe von WELDWARE. Als Funktion von Brenneranzahl, Abstand der Brenner vom Lichtbogen und Abstand der Brenner untereinander sowie als Funktion der Durchflußmenge des Brennergases kann bei bekannten Kennwerten des Gases, des thermischen Wirkungsgrades und des Wärmeübergangs der Abkühlungsprozeß berechnet, grafisch dargestellt und iterativ die gewünschte Wärmeführung festgelegt werden (BILD 11 und BILD 12).

BILD 12:

Modul „Nachwärmung“, WELDWARE: Einblendung des Nachwärmzyklus in das Schweiß-ZTU-Schaubild

Bei einer deutlichen Verringerung der Härtewerte und Anhebung des Formänderungsvermögens in der Wärmeeinflußzone werden durch diese Form des energiereduzierten Schweißens je nach konstruktiv-technologischen Gegebenheiten nur 10 bis 15 % der für das Vorwärmen erforderlichen Wärmemenge benötigt /08/.

7. Ausbildung von schweißtechnischem Personal

In technologischen Fachgebieten ist die Zahl der Einflußfaktoren und der Wechselwirkungen zwischen ihnen oft besonders groß und von nichtdeterministischer Art. Das trifft auch für die Schweißtechnologie zu. Die Vielfalt schweißtechnischer Probleme in der Praxis, steigender Automatisierungsgrad, Materialökonomie und Energiehaushalt machen es erforderlich, die Arbeit des Schweißingenieurs zu effektiveren. Ziel sollten dabei solche Technologien sein, die dem vorliegenden Schweißfall angepaßt wurden. Die Schweißdaten müssen so optimiert werden, daß die für die Wärmeeinflußzone geforderten mechanischen Kennwerte bei möglichst niedrigem Niveau der aufzuwendenden Energie gesichert werden. Rasche Entscheidungen verlangen hier einen hohen Kenntnisstand in Werkstoffkunde, Schweißtechnik und angrenzenden Fachgebieten. Angehende Ingenieure sollten deshalb schon frühzeitig mit realen Schweißbarkeitsproblemen konfrontiert werden, für die in relativ kurzer Zeit praktikable Lösungen zu finden sind.

Alle Module in WELDWARE sind neben den oben beschriebenen Einsatzfällen gleichfalls dazu geeignet, den Studenten einschlägiger Fachrichtungen an Universitäten, Hoch- und Fachhochschulen sowie angehenden Schweißfachmännern und -ingenieuren geschickte Lösungen für mögliche Praxisfälle in jeder sinnvollen und vom Programm ermöglichten Vorgehensweise näher zu bringen /09/. Ganz nebenbei werden alle „Schüler“ - vor allem auch die älteren, ungeübteren - an die PC-Technik herangeführt.

Zur Zeit wird das System in der schweißtechnischen Ausbildung an der Universität Rostock, den Technischen Universitäten Berlin und Magdeburg, der Fachhochschule Stralsund, der SLV Mecklenburg-Vorpommern und der Schule Schweißtechnik der Deutschen Bahn AG Wittenberge mit Erfolg eingesetzt.

8. Zusammenfassung und Ausblick

WELDWARE dient also der Bewertung der Gefüge- und Eigenschaftsveränderungen von Stählen infolge Schweißen, der Entwicklung von Schweißtechnologien für Reparatur und Fertigung, der Auswertung und dem Vermeiden von Schadensfällen, der Berechnung der chemischen Zusammensetzung des Schweißgutes unter Berücksichtigung von Übergangskoeffizienten und Schweißdaten, der Optimierung des Energieeinsatzes bei



Sicherung der Qualität zu schweißender Erzeugnisse, der Gewährleistung einer hohen Sicherheit der Fügeprozesse und nicht zuletzt der Erhöhung der Arbeitsproduktivität durch Senken der technologischen Kosten.

Zur Zeit wird daran gearbeitet, auch einzelne, experimentell ermittelte Schweiß-ZTU-Schaubilder und Diagramme mechanischer Kennwerte in WELDWARE einzubinden, da die Entwicklung neuer „lokaler Modelle“ und Regressionsgleichungen als Grundlage der Berechnungen stets hinreichend große Datenmassive verlangen würde.

Außerdem wird beim Systementwickler ab Ende 1996 ein Dilatometer vom Typ „Gleeble 3500“ zur Verfügung stehen, mit dem auf Anfrage einzelne Schaubilder und entsprechende Versuchsreihen zum Einbinden beliebiger Stähle in das System erstellt werden können.

Quellen

- /01/ P. Seyffarth, A. Scharff, S. Klinkhardt: Schweißtechnisches Beratungssystem WELDWARE. Schweißtechnik, Berlin., 39(1989)10, S. 442-445
- /02/ P. Seyffarth, S. Klinkhardt, C. Steinhauer: Schweißtechnisches Beratungssystem WELDWARE. Metallverarbeitung, Berlin., 44(1990)3, S. 81
- /03/ P. Seyffarth, A. Scharff, S. Fischer: Prediction of weld dates with computer-aided WELDWARE-system. JOM-5, Proceedings, Helsingor, 1991, S. 180-185
- /04/ P. Seyffarth: Schweißtechnisches rechnergestütztes Beratungssystem WELDWARE. Software-Workshop „Schweißtechnologische Beratung am Computer“, Tagungsband, Rostock, 1992
- /05/ A. Scharff: New Computer Programs for Weldability Assessment. JOM-6, Annex to Proceedings, Helsingor, 1993, S. 17-49
- /06/ A. Hobbacher: Schadensuntersuchungen zum Unglück des Halbtauchers „Alexander A. Kieland“. Der Maschinenschaden 56(1983)2, S. 42-48
- /07/ A. Scharff, C. Köthe: Ermittlung der mechanischen Kennwerte von MAG-Schweißgut mit Hilfe des schweißtechnologischen Beratungssystems WELDWARE. DVS-Berichte, Düsseldorf, Band 156, 1993, S. 102-156
- /08/ P. Seyffarth: Kurzzeitzachwärmern beim vollmechanischen MAG-Schweißen von Stählen. DVS-Berichte, Düsseldorf, Band 131, 1991, S. 49-52
- /09/ A. Scharff: Weldware - the weldability of steel-based materials. Computer in Welding Education & Engineering, International Seminar, Proceedings, Stockholm, 1995, S. 113-124