



A hőbevitel változóinak mérése ív- és lézeres hegesztésnél

MSZT Szakmai fórum a fémek hegesztési
műveleti előírásáról

Tóth László

ReWeRob Solutions Kft.



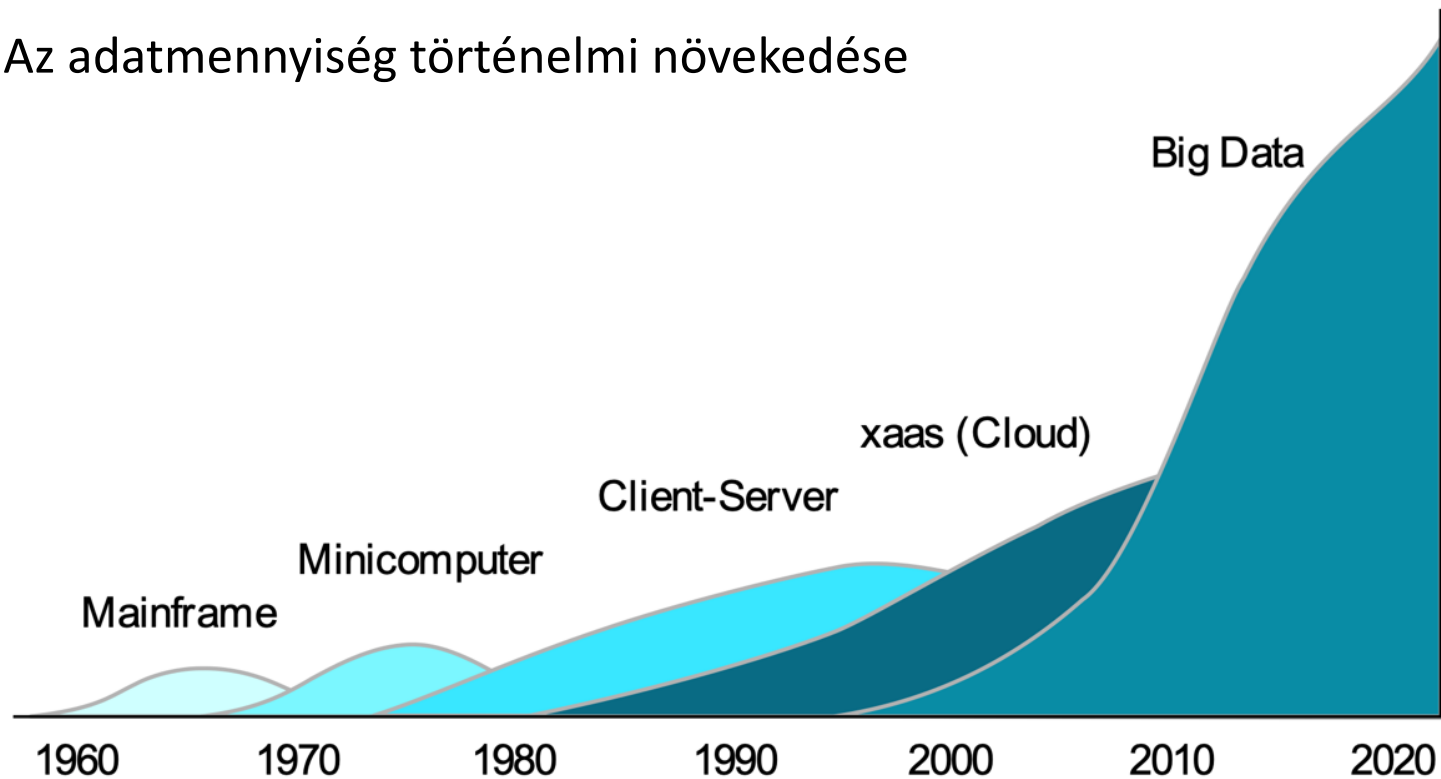
Tartalom

- Bevezetés
- Lényeges szabványok
- Ívhegesztési eljárások
- Lézeres hegesztések
- Hőbevitel ömlesztő hegesztéseknél
- Villamos paraméterek mérése
- Lézerforrás teljesítménymérése
- További paraméterek mérése
- Lehetőség a hőbevitel becsléséhez



A mérőrendszerek szükségessége

Az adatmennyiség történelmi növekedése

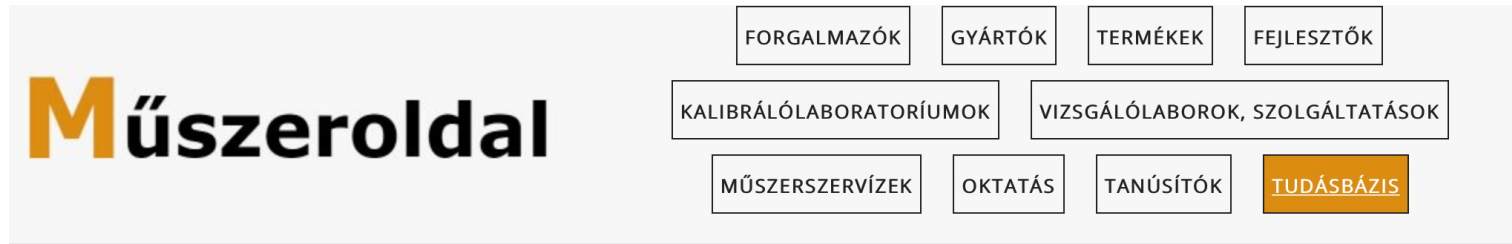




Irodalom

Jegyzet: IWE_4-6_Mérés_Vezérlés_Dokumentálás_2022 (pdf)

Tudástár: <https://www.muszeroldal.hu/>



Tudásbázisból jellemző szakirodalom:

Kiss László: Ipari mérés technika

<https://docplayer.hu/7037076-Ipari-merestechnika-keszitetten-kiss-laszlo-2010-02-16-ipari-merestechnika.html>

Dr. Huba Antal, Dr. Lipovszki, György: Méréselmélet

<https://mogi.bme.hu/TAMOP/mereselmélet/index.html>



Lényeges szabványok

MSZ ISO/TR 18491:2020

Hegesztés és rokon eljárások. Irányelvek a hegesztési energiák mérésére
Welding and allied processes. Guidelines for measurement of welding energies

5. Mérőberendezések

6. Az ívenergia meghatározása

7. Mérési paraméterek

A melléklet – Áramforrástípusok és mérési módszereik

[\[2\] Melfi T. New code requirements for calculating heat input. Weld J. 2010, pp. 61-63](#)



Lényeges szabványok

MSZ EN ISO 15607

Fémek hegesztési munkarendjének előírása és minősítése.
Általános szabályok

Specification and qualification of welding procedures for metallic materials.
General rules

5.2. Minősítés hegesztésimunkarend-vizsgálat alapján

5.4. Minősítés előzetes hegesztési jártasság alapján

5.6. Minősítés gyártás előtti hegesztési próba alapján

A melléklet – Vonatkozó szabványok táblázata

B melléklet – Minősítés fázisai

C melléklet – Folyamatábra



Lényeges szabványok

MSZ EN ISO 15609-1

Fémek hegesztési munkarendjének előírása és minősítése.
Hegesztési munkarendi előírás. 1. rész: Ívhegesztés

Specification and qualification of welding procedures for metallic materials.
Welding procedure specification. Part 1: Arc welding

MSZ EN ISO 15609-4

Lézeres hegesztés – Laser welding (Laser beam welding, USA)

MSZ EN ISO 15609-6

Hibrid lézer-ívhegesztés – Laser-arc hybrid welding



Lényeges szabványok

MSZ EN ISO 15611

Fémek hegesztési munkarendjének előírása és minősítése.
Minősítés előzetes hegesztési jártasság alapján

Specification and qualification of welding procedures for metallic materials.
Qualification based on previous welding experience (ISO 15611:2003)

MSZ EN ISO 15613

Fémek hegesztési munkarendjének előírása és minősítése.
Minősítés gyártás előtti hegesztési próbával (ISO 15613:2004)

Specification and qualification of welding procedures for metallic materials.
Qualification based on pre-production welding test (ISO 15613:2004)



Lényeges szabványok

MSZ EN ISO 15614-1

Fémek hegesztési munkarendjének előírása és minősítése.

A hegesztéstechnológia vizsgálata. 1. rész: Acélok ív- és lánghegesztése, valamint nikkell és ötvözetek ívhegesztése

Specification and qualification of welding procedures for metallic materials.
Welding procedure test. Part 1: Arc and gas welding of steels and arc welding of nickel and nickel alloys

MSZ EN ISO 15614-11

Elektronnyalábos és lézeres hegesztés – Electron and laser beam welding

MSZ EN ISO 15614-14

Acél, nikkell és nikkellötvözetek hibrid lézer-ívhegesztése

Laser-arc hybrid welding of steels, nickel and nickel alloys



Lényeges szabványok

MSZ EN 1011-1

Hegesztés. Ajánlások fémek hegesztéséhez.

1. rész: Általános irányelvek ívhegesztéshez

Welding. Recommendations for welding of metallic materials.

Part 1: General guidance for arc welding

MSZ EN 1011-2

Ferrites acélok ívhegesztése – Arc welding of ferritic steels

MSZ EN 1011-6

Lézeres hegesztés – Laser welding (Laser beam welding, USA)



Lényeges szabványok

A mérőeszközök kiválasztásához segédlet ívhegesztésnél:

MSZ EN IEC 60974-14

Ívhegesztő berendezések.

14. rész: Kalibrálás, érvényesítés és konzisztenciavizsgálat

Arc welding equipment.

Part 14: Calibration, validation and consistency testing

Lézerteljesítmény és -energia mérése esetén a műszergyártók használati utasítása a legmegfelelőbb forrás.

A vezető márkák megtalálhatók az interneten.



Lényeges szabványok

Hőmérséklet mérése hegesztésnél:

MSZ EN ISO 13916

Hegesztés. Az előmelegítési hőmérséklet, a sorközi hőmérséklet és az előmelegítés-fenntartási hőmérséklet mérése

Welding. Measurement of preheating temperature, interpass temperature and preheat maintenance temperature



Ívhegesztési eljárások

MSZ EN ISO 4063

Hegesztés, forrasztás és termikus vágás. A hegesztési eljárások megnevezése és azonosító számuk

Welding, brazing, soldering and cutting. Nomenclature of processes and reference numbers

1 – Ívhegesztés	26 féle eljárásváltozat
11 – kézi ívhegesztések	3 féle
12 – fedett ívű hegesztés	5 féle
13 – MIG/MAG-hegesztés	6 féle
14 – TIG-hegesztés	6 féle
15 – plazmaívhegesztés	5 féle
185 – mágneseszen mozgatott ívű hegesztés	

Lézeres hegesztések

52 – Lézeres hegesztés 3 féle a lézerforrás alapján

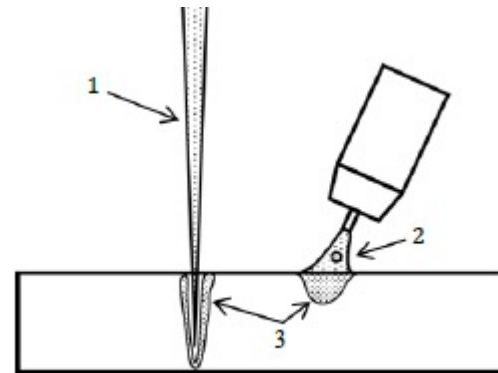
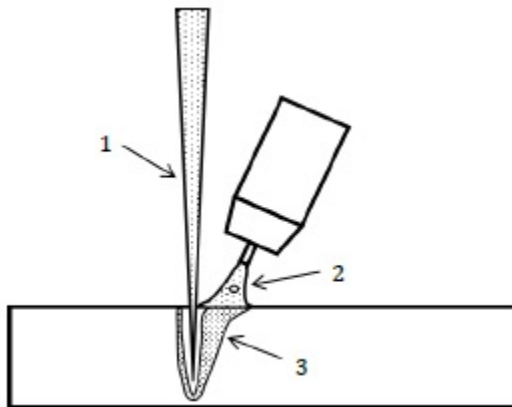
Hibrid kötési eljárás, jellemzően 52x + 13x

Hibrid lézer-ívhegesztés

Laser-arc hybrid welding

Lézer-ív kombinált hegesztés

Laser-arc combined welding

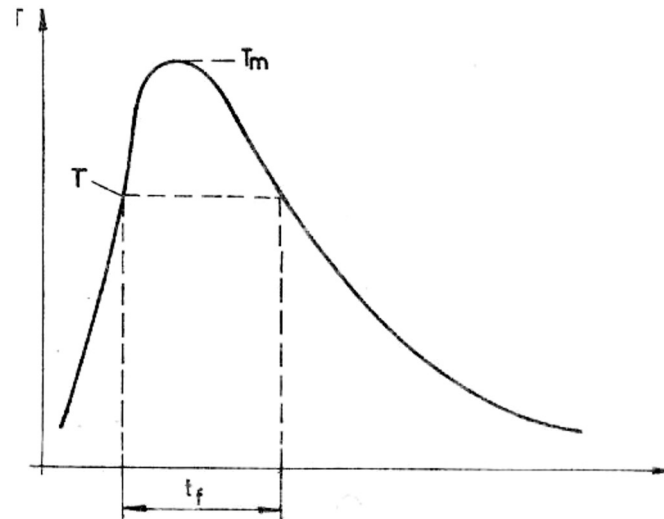


1 – Lézernyaláb

2 – Ív

3 – Hegfürdő

A hegesztési hőciklus



Vázlat az adott hőmérséklet (T) felett tartózkodás idejének (t_f) meghatározásához.



Hőbevitel ömlesztő hegesztéseknél

A hőbevitel: a hőforrásnak a varratfém hőciklusát meghatározó része

Hőbevitel (MSZ EN 1011-1)

$$Q = \eta_a \frac{UI}{v} \approx k \frac{UI}{v}$$

η_a^* – a hőátadás hatásfoka,

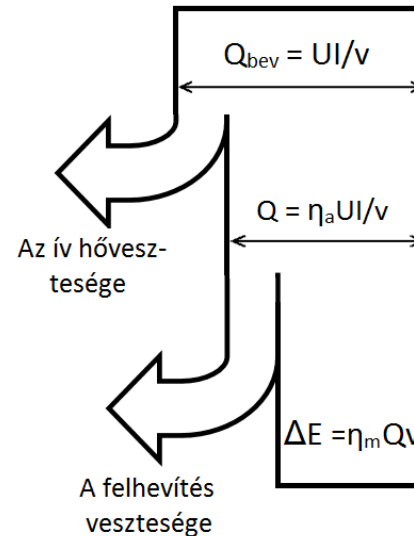
k – η_a szabványos értékei,

U – ívfeszültség [V]

I – hegesztőáram [A]

v – hegesztési sebesség [mm/s]

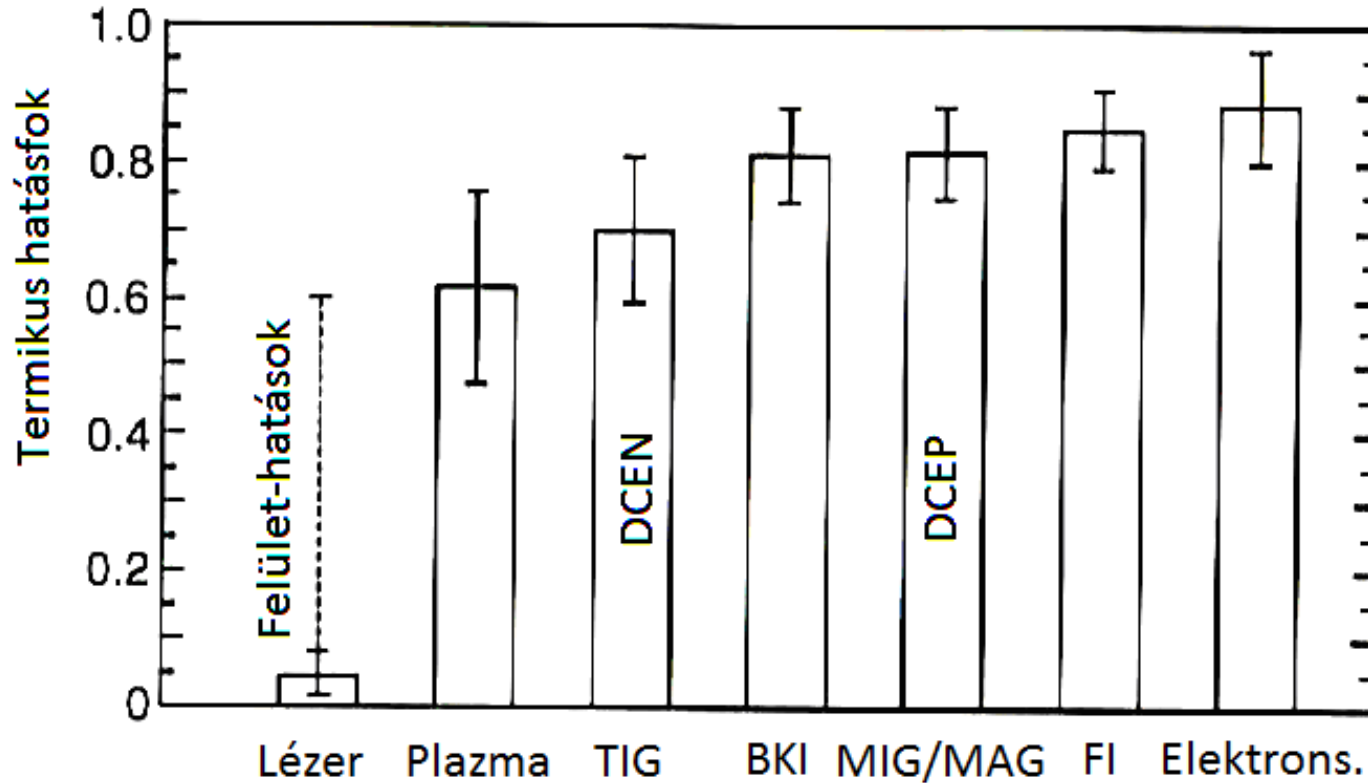
* Szokás termikus hatásfoknak (η_t) nevezni



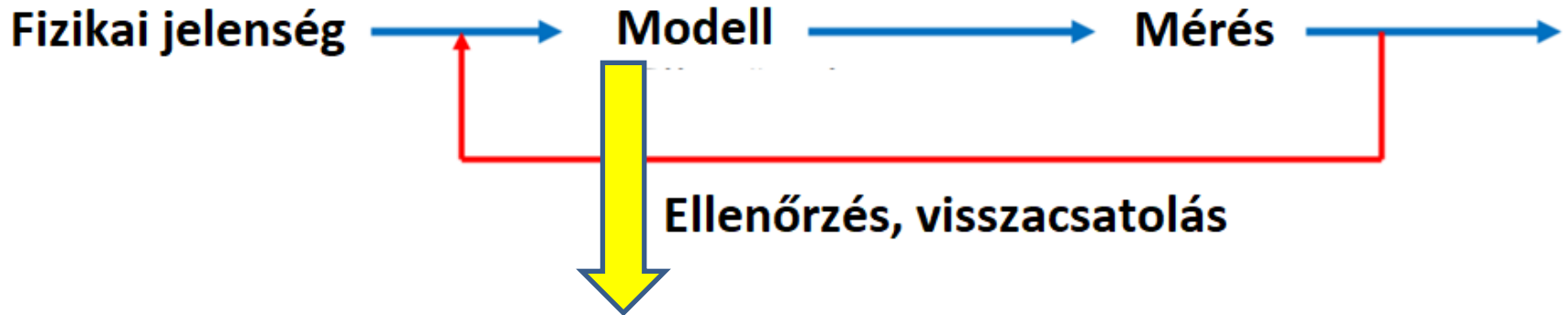
Eljárás kódja (ISO 4063)	Hegesztési eljárás	k
12	Fedettívű hegesztés	1,0
111	Bevont elektródás ívhegesztés	0,8
131	MIG hegesztés	0,8
135	MAG hegesztés	0,8
114	Önvédő portöltéses huzalelektrodás ívhegesztés	0,8
136	Porbeles huzalelektrodás, aktív védőgázos ívhegesztés	0,8
137	Porbeles huzalelektrodás, inert védőgázos ívhegesztés	0,8
141	TIG-hegesztés	0,6
15	Plazmaívhegesztés	0,6



Hőbevitel ömlesztő hegesztéseknél

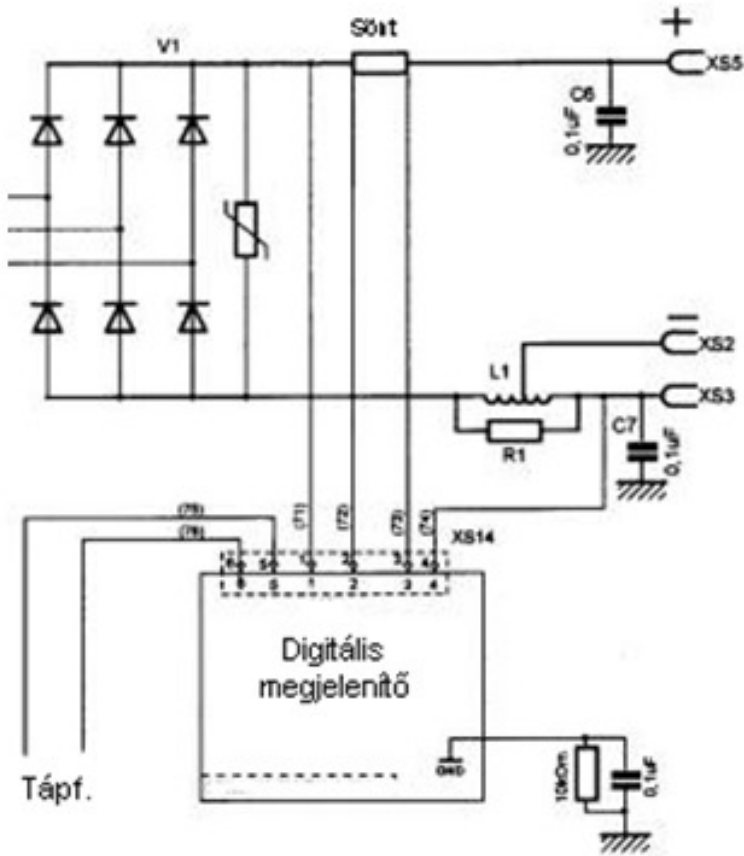


Egyes hegesztési eljárások jellegzetes termikus hatásfoka.



- Egyenáram mérése: kémiai egyenérték („mean value”)
(olyan sima egyenárammal egyezik meg, amely egy bontócellában ugyanannyi idő alatt, ugyanannyi anyagot választ ki)
- Váltakozóáram: hőhatás, Ohm-törvény („RMS”)
(Váltakozóáram/feszültség effektív értékén azt az egyenáramot/feszültséget értjük, amely ugyanakkora ellenálláson ugyanannyi idő alatt ugyanannyi hőt fejleszt.)

Konvencionális áramforrás



Analóg mérés: fizikai modell

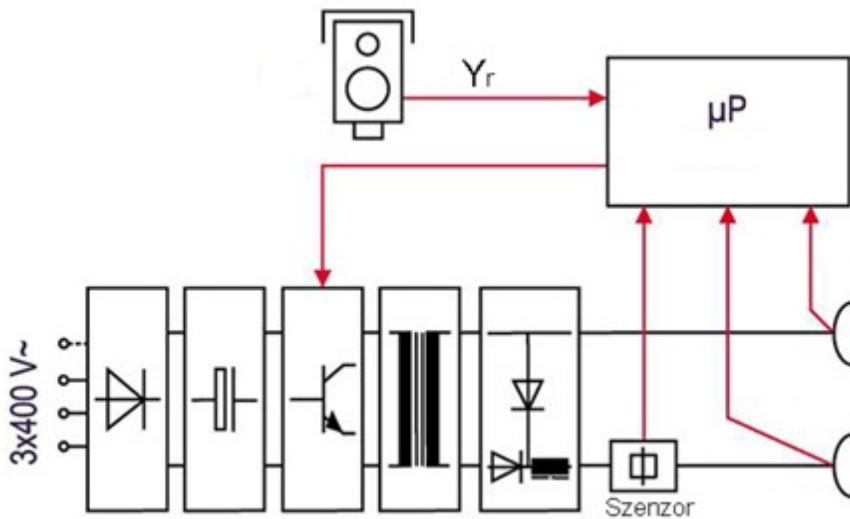


vagy



[ESAB]

Elektronikus áramforrás



A hiba elfogadható szinten tartása érdekében az *időben változó jel spektrumától függő* szabályt kell követni a jel mintavételezése során.

Mintavételezéses mérés (kvantálás):
időben változó mennyiségek mérése, matematikai modell

(pillanatérték → „instantaneous value”)



[Fronius]



Villamos paraméterek mérése

„Ahol feszültség- vagy áramvezérlés van, a beállítását Volt- Amper- vagy tetszőleges beosztású referencia skálán kell jelölni. A feszültség- vagy áramkijelzés pontossága legyen:

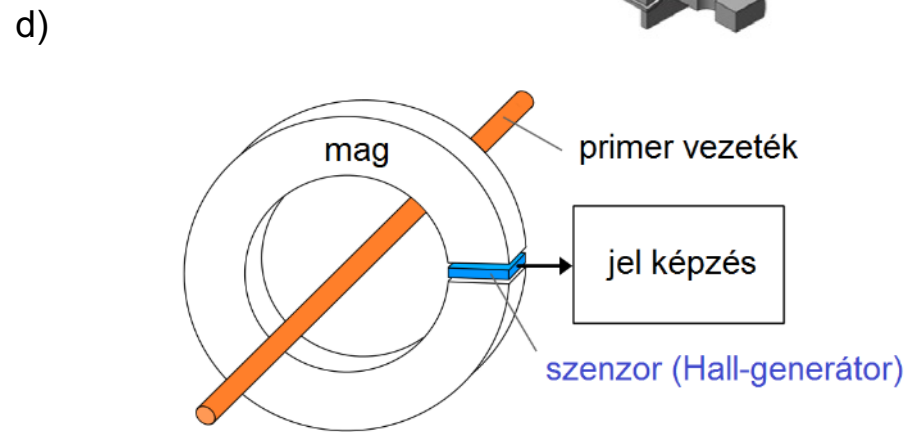
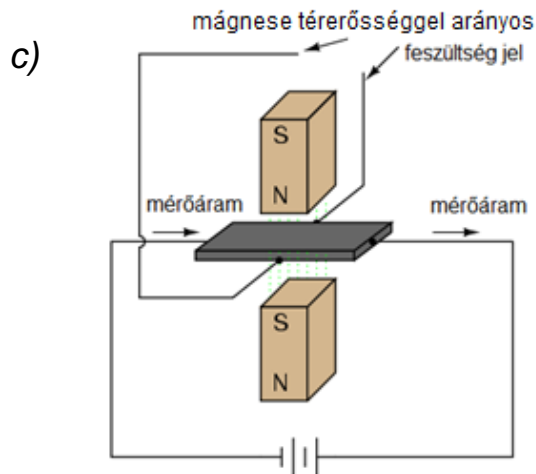
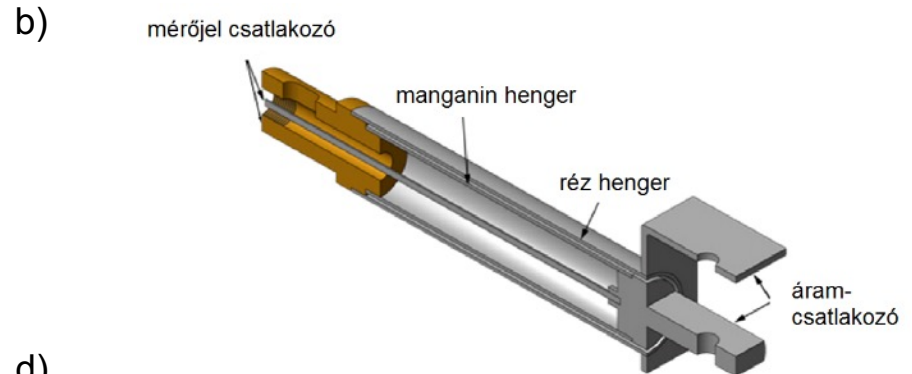
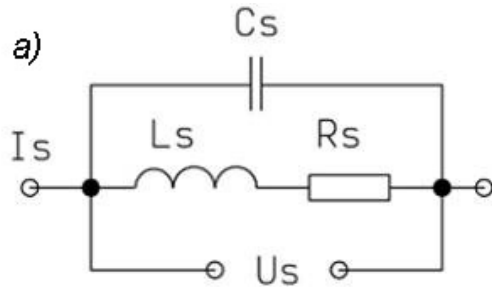
- a) a legnagyobb beállítási érték 100%-a és 25%-a között $\pm 10\%$ -a a tényleges értéknek;
- b) a legnagyobb beállítási érték 25%-a alatt a legnagyobb beállítás $\pm 2,5\%$ -a.

Ha a gyártó amper- vagy voltmérőt helyez el a berendezésen, akkor az 2,5 osztálypontosságú és megfelelően csillapított legyen.”*

FONTOS, hogy a műszer alkalmas legyen egyrészt pillanatnyi értékek, másrészt **trueRMS** értékek mérésére. A **trueRMS** elkerülhetetlen, amennyiben nem egyenáramú és nem szinuszos váltakozó áramú a mérési feladat, azaz teljesítménymodulációs eljárásoknál.

*MSZ EN 60974-1 alapján

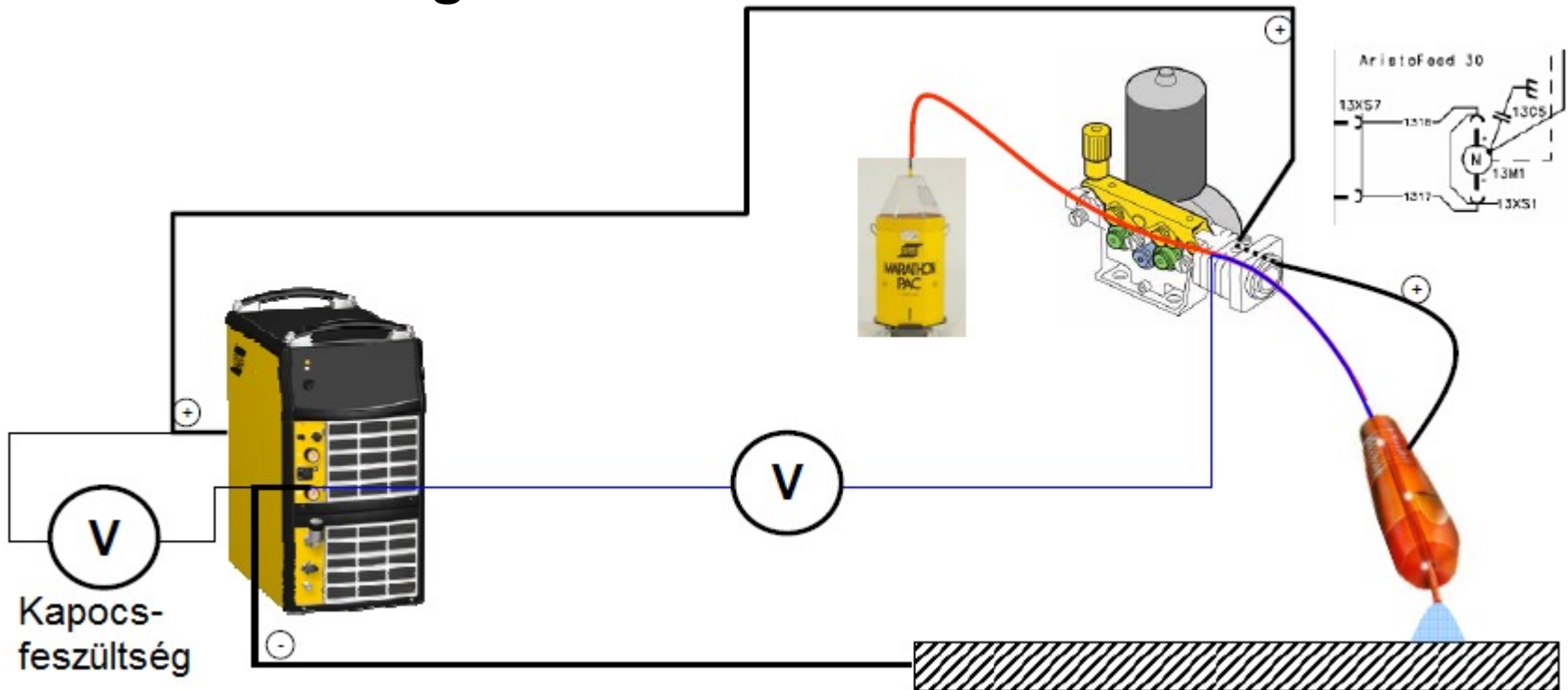
Áramérzékelők (szenzorok)



Áramérzékelő megoldások

a) hagyományos sönt helyettesítő kapcsolása; b) koaxiális (nem induktív) sönt; c) Hall-effektus; d) Hall-generátor alkalmazása

Feszültségmérés



TAV (True Arc Voltage) rendszer [ESAB]

Az áramátadó és a munkadarab között valódi feszültség mérésére.



Lézerforrás teljesítménymérése

A lézer fő mérőberendezése egy optikai teljesítménymérő. A lézernyaláb sugárzott energiáját időegységenként. Nagy impulzusismétlési sebességnél csak az átlagos teljesítményt jeleníti meg. A műszerek másik fajtája impulzusenergiát mérnek. A műszerek lényeges eleme a szenzor, több megjelenítő lehetőséghez csatlakozhat:





További paraméterek mérése

Hegesztésnél előforduló nem villamos technológiai paraméterek

- erő (N) elektródaerő, befogóerő, leszorítóerő, ellenőrző vizsgálat
- nyomaték (Nm) elektródaerő, befogóerő, leszorítóerő, ellenőrző vizsgálat
- nyomás (bar) préslevegő, hidraulika, hűtőfolyadék, gázok
- hőmérséklet (°C) előmelegítési, sorközi, hőkezelési, hűtőfolyadék, géprészek
- hőm. változás (°C/s) hőkezelés, géprészek
- idő (per, ms, s, h) folyamatközi időtartamok, műveleti idők, üzemidő
- sebesség (m/s stb.) hegesztés, haladás, huzal
- elmozdulás (mm) elektródamozgás, lehegesztett varrathossz
- áramlás (L/perc) gázok, hűtőfolyadék
- felület (mm²) érintkező keresztmetszetek (kopás, fajlagos adatok)
- helyzet (mm, szög°) hegesztőfej, elektróda, mdb
- jelenlét (érzékelés) mdb, alkatrész, mozgó géprész helyzete

A kiemelt tételeket figyelembe kell venni a hőbevitel szempontjából.



További paraméterek mérése

HŐMÉRSÉKLET

MSZ EN ISO 13916

Előmelegítési hőmérséklet (T_p): amunkadarab hőmérséklete a hegesztés környezetében, közvetlenül a hegesztési művelet megkezdése előtt. Általában alsó határként adják meg, és rendszerint azonos a közbenső hőmérséklet legkisebb értékével.

Közbenső hőmérséklet (T_i): A többrétegű varrat és a környező alapanyag hőmérséklete közvetlenül a következő sor hegesztése előtt. Általában legnagyobb hőmérsékletként adják meg.

Hőntartási hőmérséklet (T_m): A legkisebb hőmérséklet a hegesztési övezetben, amelyet akkor fenn kell tartani, ha a hegesztés szünetel.

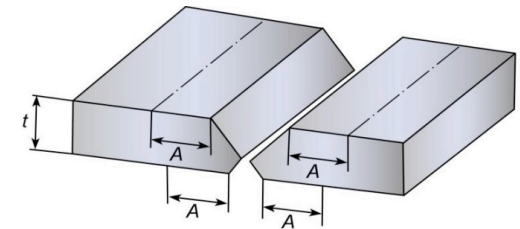
HŐMÉRSÉKLET

A mérés helye

$t \leq 50 \text{ mm}$, $A = 4 \times t$;

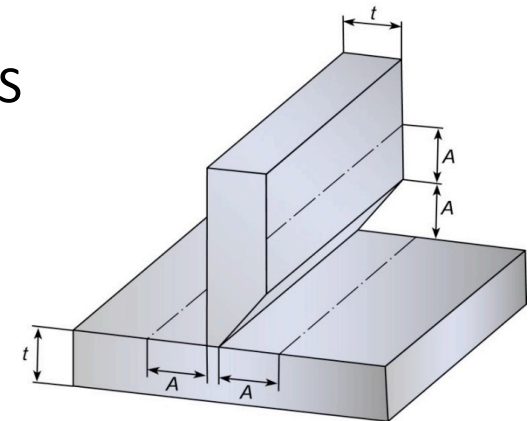
$t > 50 \text{ mm}$, $A = 75 \text{ mm}$

(ha lehetséges, a melegítéssel szembeni oldalon kell mérni)



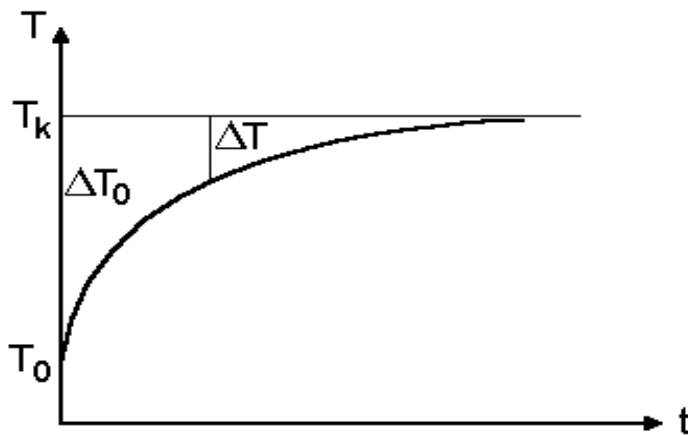
Mérőeszközök:

- Hőre érzékeny anyag (pl. kréta vagy festék) (TS)
- Érintéses hőmérő (CT);
- Hőelem (TE);
- Érintés nélküli mérő, optikai vagy villamos készülék (TB).

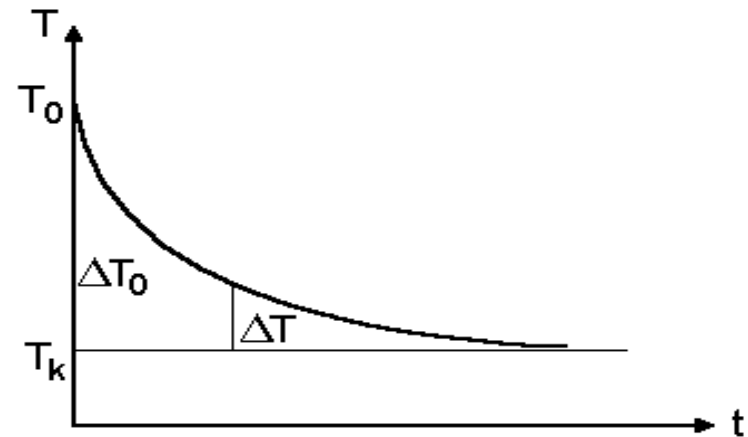


HŐMÉRSÉKLET

A hőmérséklet-mérés tehetetlensége



Felmelegedési görbe



Lehülési görbe

$$\Delta T = T(t) - T_k = (T_0 - T_k)e^{-t/\tau}$$

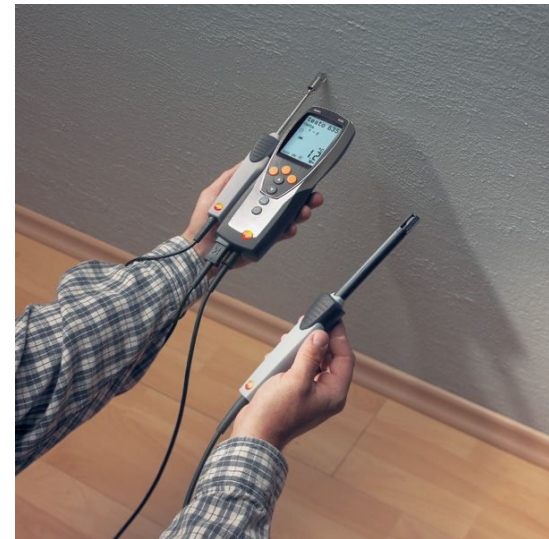
τ – időállandó



További paraméterek mérése

HŐMÉRSÉKLET

Érintéses hőmérők





További paraméterek mérése

HŐMÉRSÉKLET

Hőre érzékeny anyag (kréta) (TS)

- 50 °C
- 70 °C
- 100 °C
- 125 °C
- 150 °C
- 175 °C
- 200 °C
-

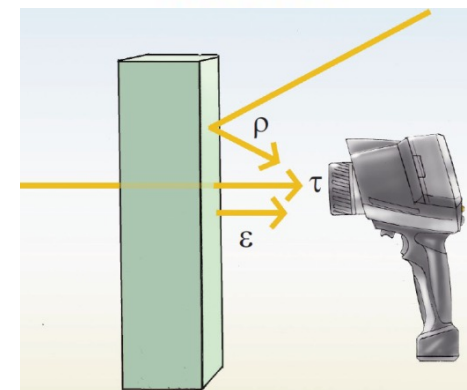
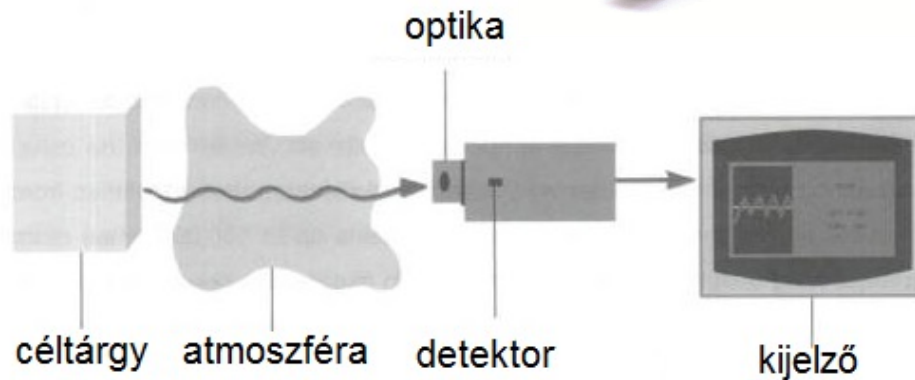
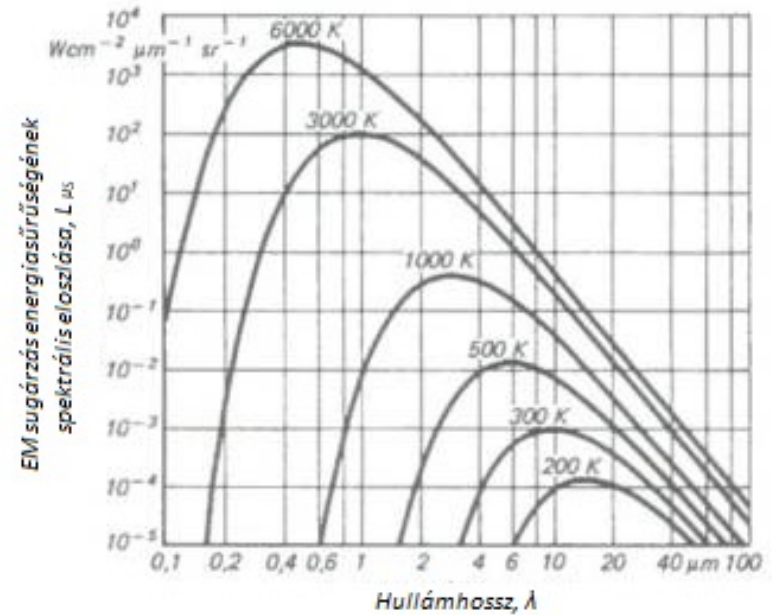


HŐMÉRSÉKLET

Érintés nélkül mérés (TB)

(Pirométerek)

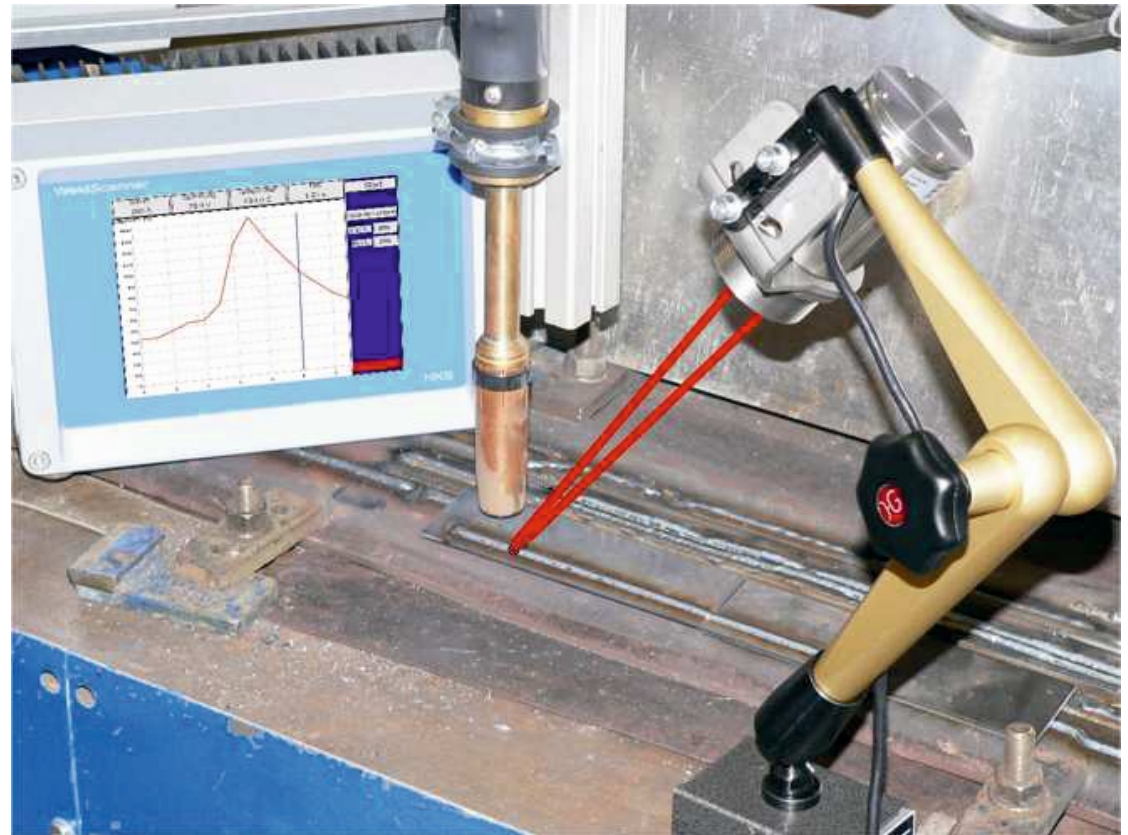
- Infravörös hőmérő
- Infravörös kamera



HŰLÉSI IDŐ MÉRÉSE

A két lézerpont közti kör fölötti hőmérsékletet középértékként méri a pirométerrel.

A hűlési idő mérő aktuális mérési folyamata rögtön a WeldScanner indítása után nyomon követhető



- **A ThermoProfilScanner mérőrendszer:**

- automatizált,
- roncsolásmentes,
- valós idejű folyamatkövetés és minőség kiértékelés.

- Hibák/eltérések kiszűrése

- Minőségértékelés a varrat infravörös sugárzás változása alapján

- Mintavételezési frekvenciája: 400 profil/s

- ív- és lézeres hegesztéseknél is a legjobb eredményt adja a hőbevitel figyelésével



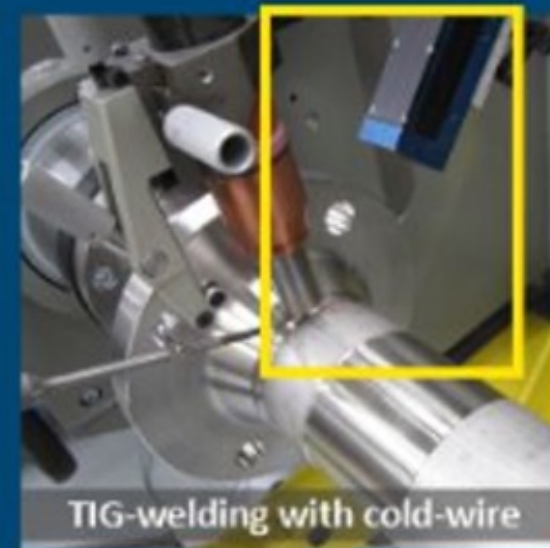
- ➔ Worldwide applied since 2007
- ➔ **Wall thicknesses:** 0,05 to 25 mm at steel, copper, titan and others
- ➔ **Application:** tube manufacturing, automotive, medical technique, energy industry, aerospace, ...

Designed to withstand the conditions of a harsh welding environment:

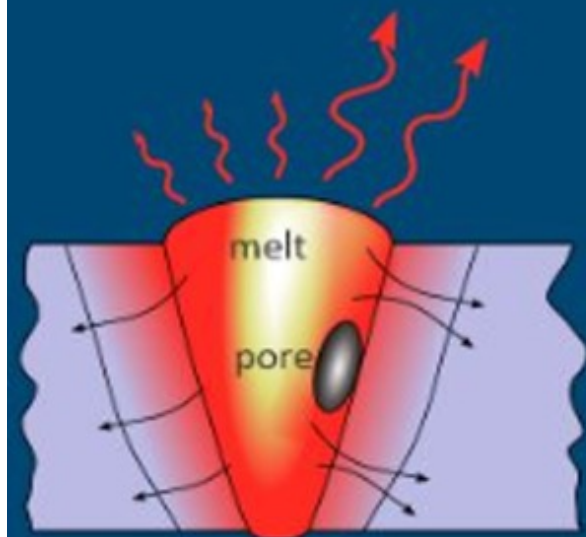
- Optional with **self-cleaning spatter shield**
- **Resistant against** smoke, heat, vapour and shocks
- **Low maintenance** construction



Arc Welding Applications

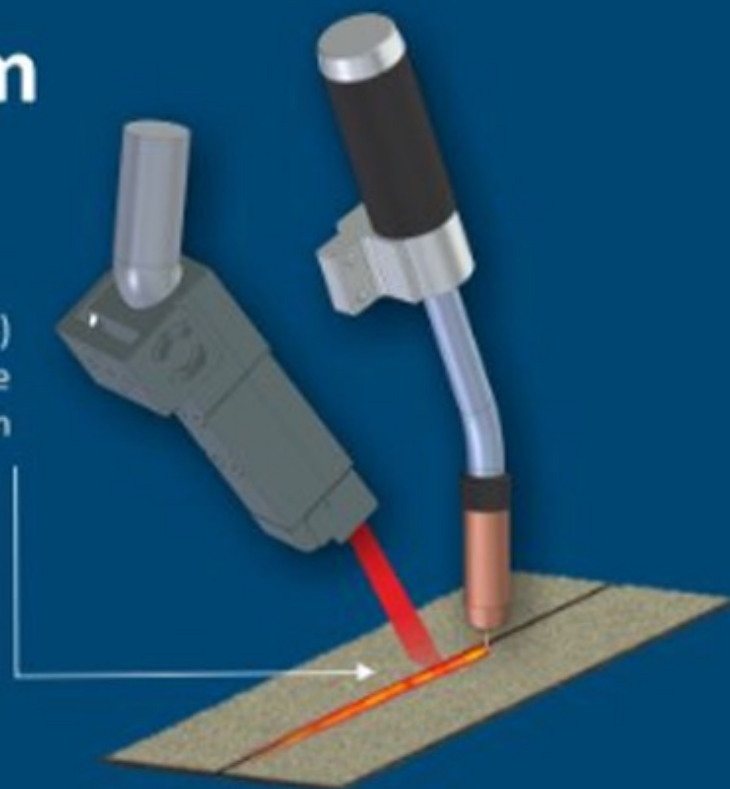


A look into the welding seam



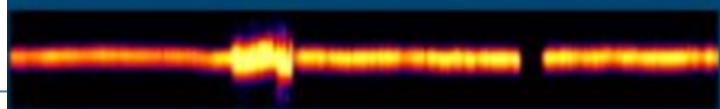
The ThermoProfilScanner (TPS) measures the heat zone of the cooling seam

The disturbed heat flow, caused by a pore, changes the heat radiation

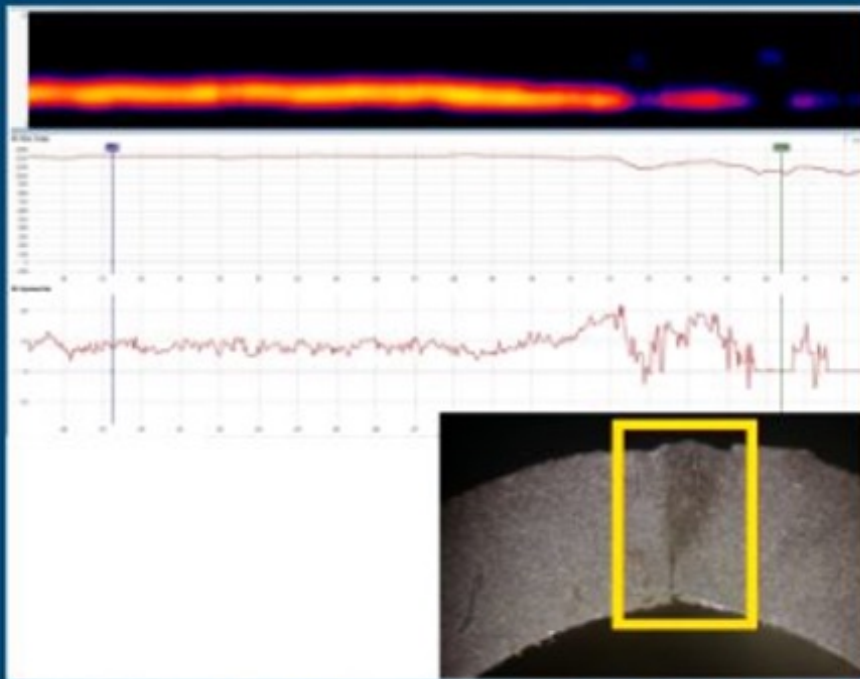


Welding Irregularity

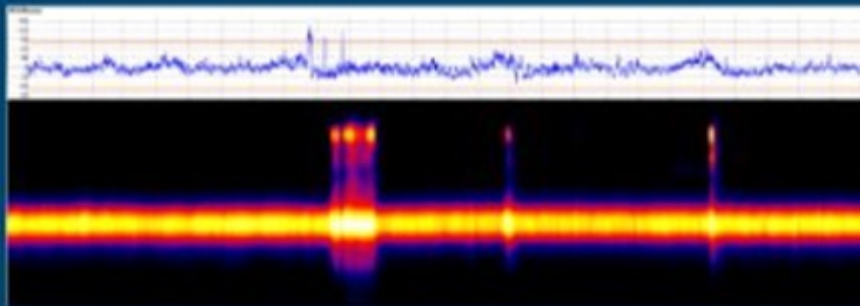
Abnormal Welding Profile



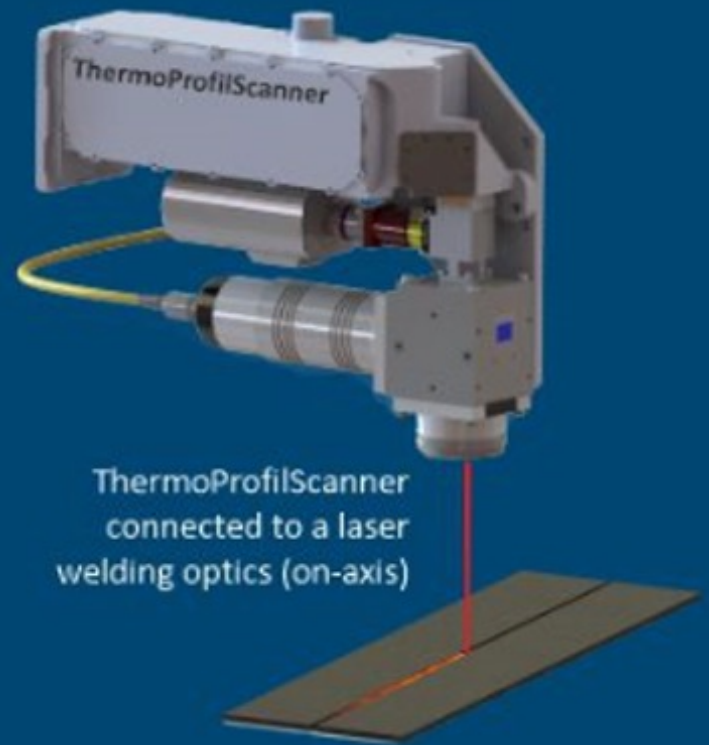
- Volumetric non-destructive testing of the weld seam based on thermography
- Measurement of the thermal field and calculating seam parameters like temperature, width and symmetry in real-time
- Automatic evaluation, marking and sorting of faulty parts or seams



Asymmetric penetration: detected in the thermal field



CO₂-laser welding with plasma disturbances: detected in the thermal field



ThermoProfilScanner
connected to a laser
welding optics (on-axis)

- Incomplete penetration
- Asymmetrical penetration
- Misalignment problems
- Holes
- Porosity
- Plasma disturbances



Detects



További paraméterek mérése

IDŐ

A hegesztőberendezésekkel kapcsolatban az idő a változás mérésére szolgáló fogalom. Az időben állandó paraméterek kivételével fontos szerepe van.

Mérésének módja a napórától az atomóráig igen sokrétű. A mérés lényege a pontosan ismétlődő rezgés számlálása.

A hegesztéssel kapcsolatban használatos mértékegységei a technológiában és az üzemeltetésben:

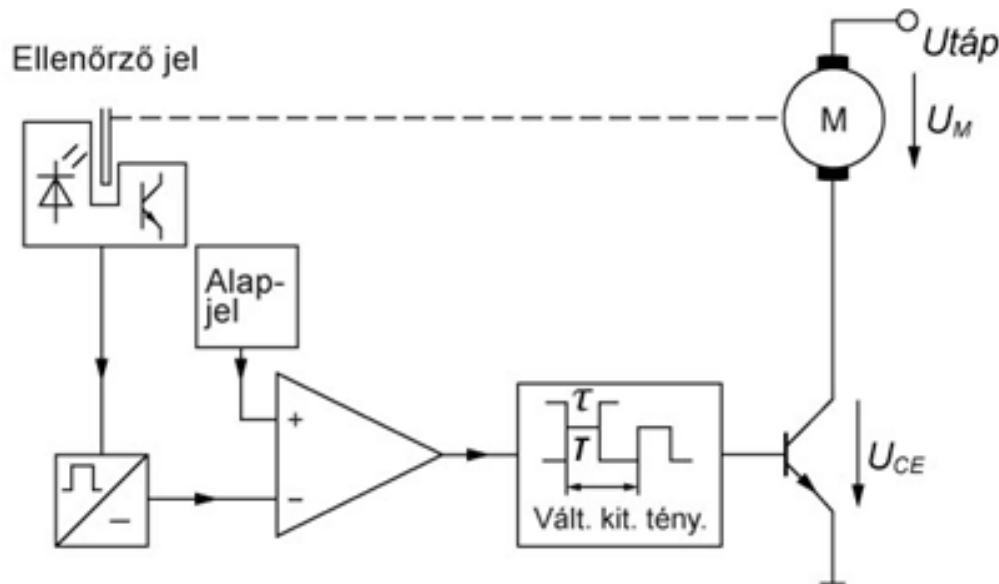
ms, periódus*, s, perc, óra, műszak, nap, hét, hó, év

*Használatos reciprok értékei: 1/s, Hz, kHz, MHz, GHz

Az időmérés eszközeivel itt ennél részletesebben nem foglalkozunk, mert a mérőeszközök és a vezérlések tartalmazzák amikor és ahol szükséges.

SEBESSÉG

- Huzalelőtolási sebesség
- Hegesztési sebesség (a hőforrás mozgató sebessége)



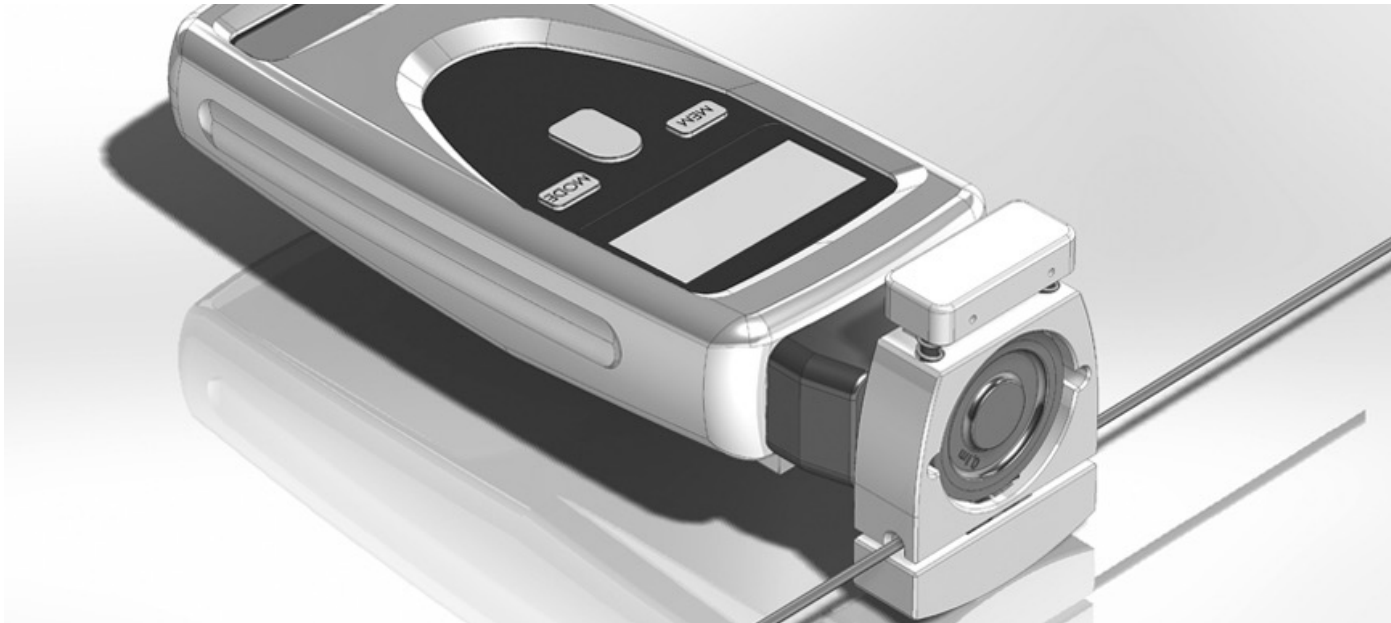
A hajtómotor

- fordulatszámának (ellenőrző jel) vagy az azt meghatározó
 - kapocsfeszültség (U_M),
 - AC motorok esetén a kapocsfeszültség frekvenciájának mérésével;
- szabályozott fordulatszám esetén az alapjel szintjével.



További paraméterek mérése

Huzalelőtolási sebesség közvetlen mérése





További paraméterek mérése

Hőbevitelnél a **hegesztési sebesség (v)** vagy a **lehegesztett varrathossz (L)** a mértékadó.

Ennek mérésére a **szokásos hosszmérő eszközök** megfelelnek, sebesség (v) esetén az adott hosszúsághoz (L) tartozó időt (t) is mérni szükséges.

$$E = \frac{UI}{v} 10^{-3} \quad E = \frac{IE}{L} 10^{-3} \quad E = \frac{IP}{v} 10^{-3}$$

Lézeres hegesztésnél UI helyett P, a lézerforrás teljesítménye, mivel szokásosan folyamatos üzemű (CW) gép használatos.



Lehetőség a hőbevitel becsléséhez

A hőbevitelre használatos a megolvasztott térfogatra vonatkozó számítás ellenállás-hegesztésnél, amely a heglencse tényleges méretein alapul, ami akár roncsolásmentesen (UH vizsgálattal) is megmérhető.

A fém megolvasztásához szükséges hő számítása során figyelembe kell venni az adott fém olvadáspontját és hőkapacitását. A hő, amelyre szükség van a fém megolvasztásához, a következő képlet segítségével számolható ki:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

ahol Q – a szükséges hő [J],

m – a fém tömege [kg],

c – a fém fajlagos hőkapacitása [J/(kg·K)]

ΔT – az olvadási és kiindulási hőmérséklet különbsége ($T_{\text{olv}} - T_0$) [K]

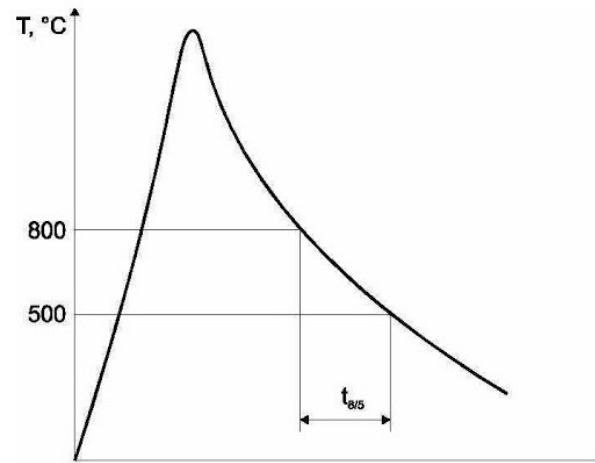


Lehetőség a hőbevitel becsléséhez

Az adott fém alapján a c és a ΔT értéke jól becsülhető, az m pedig a makrociszolat alapján mért keresztmetszetből és a varrathosszból (hegesztési sebességből) állapítható meg, tehát a bevitt hő megolvasztásra fordított része számolható.

Hozzáadott huzal esetén annak a mennyisége következik huzalsebességből és a varrathossz idejéből, így a beolvadás tapasztalati arányából is lehet eredményhez jutni.

Ez a módszer a hőbevitel nagyságrendjének ellenőrzésére használható, nem veszi figyelembe a „ $t_{8/5}$ ” mérési modellt, arra külön számítás végezhető.





EGYELŐRE ENNYI

„Tanulmányozd először az elméletet, aztán jöjjön a gyakorlat...”

Leonardo da Vinci