



# Lángerőnyetítés hatása nagyszilárdságú acéloknál

Dr. Gyura László

Linde Gáz M.o. Zrt. - hegesztéstechnológia vezető, BME - c. egyetemi docens

Dr. Gáspár Marcell Gyula

Miskolci Egyetem – intézeti tanszékvezető - egyetemi docens



Making our world more productive

1

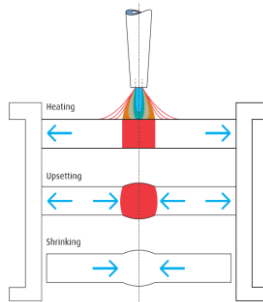
## Lángerőnyetítés alapelve: hevítés/zömítés/zsugorodás



**Gyors és koncentrált hevítés**  
hevítjük a munkadarabot a képlékeny alakváltozást okozó hőmérsékleti tartományba

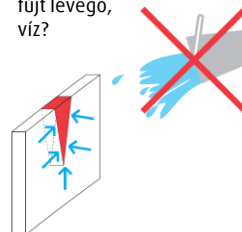
**Zömítés**  
hőtágulás korlátozásával a hevített zónában

**Zsugorodás**  
hűlés közben a zsugorodási zónában

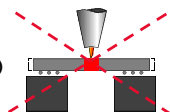


**Hűtés:**

nyugvó levegő,  
fújt levegő,  
víz?



Ha nincs tágulási korlát  
(alakváltozás korlátozása nélkül)  
**Nincs egyengető hatás**



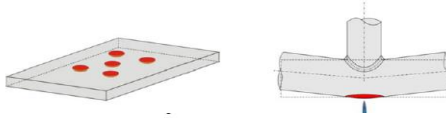
2/44

2

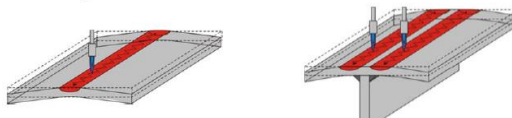
## Lángerőforrás jellemző megjelenési formái



- Ponthevítés



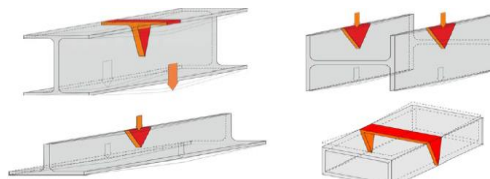
- Vonalhevítés



- Sávhevítés



- Ékalakú hevítés

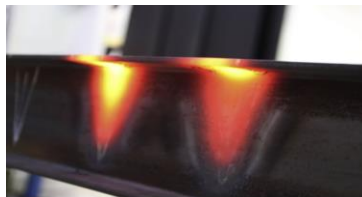


3

## Lángerőforrás javasolt maximális hőmérséklete (CEN/TR 10347:2006)



Szállítási állapot (anyagcsoport)	Rövid szakaszon, felületi hevítés	Rövid szakaszon, teljes keresztmetszetű hevítés	Teljes keresztmetszetű hevítés, hosszú hőntartási idővel
Normalizált, ötvözetlen acél 355 MPa folyáshatárig	≤ 900 °C	≤ 700 °C	≤ 650 °C
Termomechanikusan hengerelt acélok, 460 MPa folyáshatárig	≤ 900 °C	≤ 700 °C	≤ 650 °C
Termomechanikusan hengerelt acélok 500-700 MPa folyáshatár között	≤ 900 °C	≤ 600 °C	≤ 550 °C
Nemesített nagyszilárdságú acélok (pl. S690QL, S960QL)	a választott alapanyag megeresztési hőmérséklete alatt általánosan 20 °C-kal		



**Meghatározó hőmérsékletek:**

- A<sub>1</sub> (A<sub>C1</sub>)
- A<sub>3</sub> (A<sub>C3</sub>)

4

4/44

4

## Jellemző gázfajták lángtechnológiákhoz



Gázok	Tulajdonságok
Oxigén (O <sub>2</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>szintelen, szagtalan,</li> <li>nem mérgező,</li> <li>égést tápláló</li> </ul>
Acetilén (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fűtőérték = 56 500 kJ/m<sup>3</sup>,</li> <li>Maximális láng hőmérséklet oxigénnel = 3 106 °C,</li> <li>Maximális láng hőmérséklet levegővel = 2 330 °C,</li> <li>Égési sebesség, hőáramsűrűsége relative nagy,</li> <li>Keverési arány lángtechnológiáknál (acetilén:oxigén): 1: 0,8 -tól 1: 1,5,</li> <li>Sztöchiometrikus égés oxigénnel : 1: 2,5.</li> </ul>
Propán (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fűtőérték = 93 200 kJ/m<sup>3</sup>,</li> <li>Maximális láng hőmérséklet oxigénnel = 2810 °C,</li> <li>Maximális láng hőmérséklet levegővel = 1930 °C,</li> <li>Égési sebesség, hőáramsűrűsége relative kicsi,</li> <li>Keverési arány lángtechnológiáknál (propán:oxigén): 1: 3,5 -tól 1: 4,5,</li> <li>Sztöchiometrikus égés oxigénnel : 1: 5.</li> </ul>

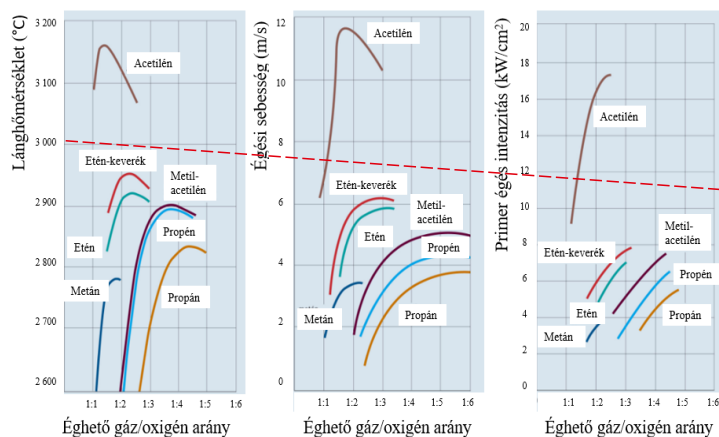


„slow burning” – lassú égésű gázok

5/44

5

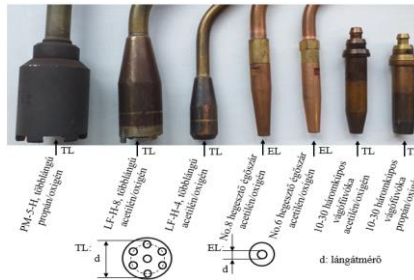
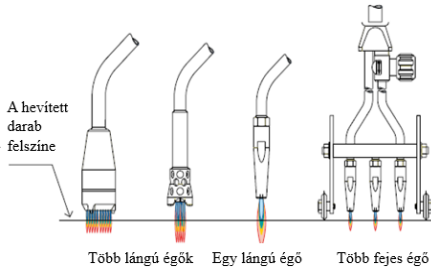
## Az éghető gázok fő jellemzői (láng hőmérséklet, égési sebesség, hőáramsűrűség)



6/44

6

## Lámgyengetés eszközei (a kísérletekhez használt égők)



7/44

7

## Vizsgált anyagok



### ✓Összetétel:

[%]	C	Si	Mn	P	S	Al	B	Cr
S355J2+N	0.18	0.35	1.55	0.014	0.003	0.036	0	0.022
S960QL	0.16	0.20	1.22	0.011	0.001	0.055	0.001	0.20
[%]	Cu	Mo	Nb	Ni	Ti	V	Ce (dlw)	CET
S355J2+N	0.01	0.005	0.005	0.045	0.003	0.005	0.451	0.341
S960QL	0.01	0.605	0.015	0.05	0.002	0.037	0.536	0.355

### ✓Mechanikai tulajdonságok:

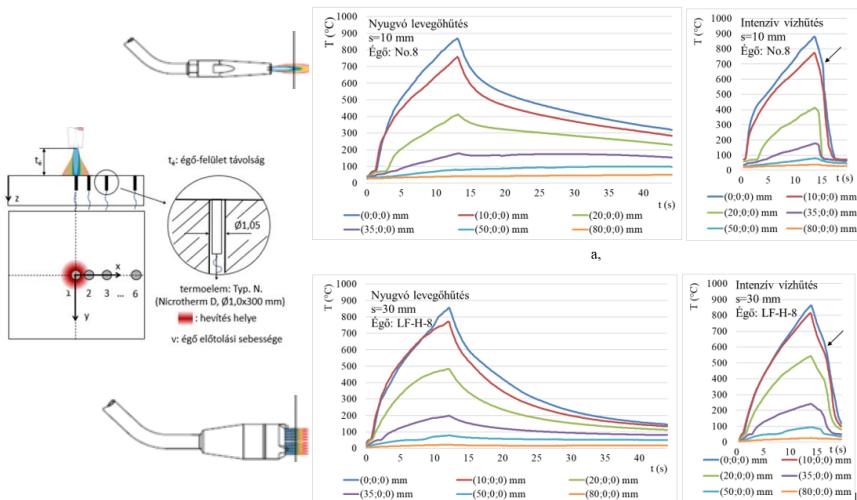
	<b>R<sub>p0.2</sub></b>	<b>R<sub>m</sub></b>	<b>A<sub>5</sub></b>	<b>KV</b>	<b>HV10</b>
	[MPa]	[MPa]	[%]	[J]	[-]
S355J2+N	422	563	26.8	166*	152
S960QL	1027	1058	15	87**	348

\* -20 °C, \*\* -40 °C

8/44

8

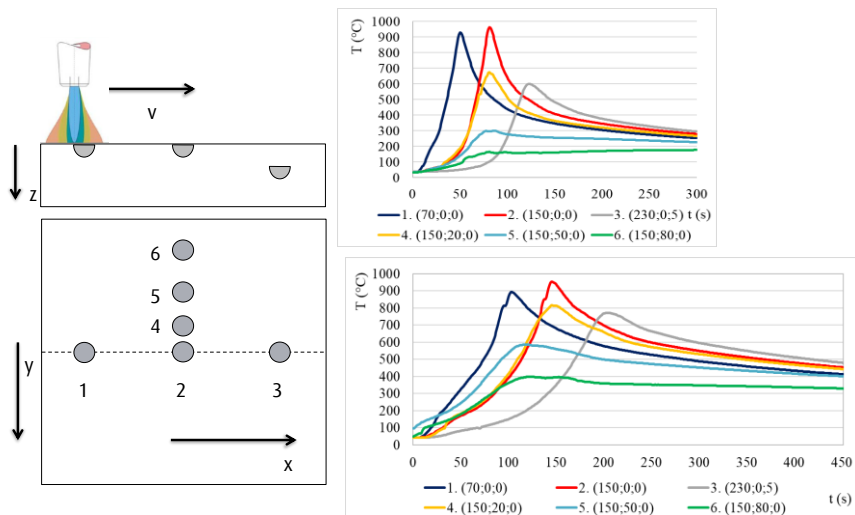
## Hőciklusok mérése a lánggyengetési technológiánál



9/44

9

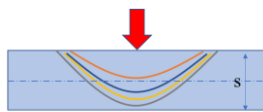
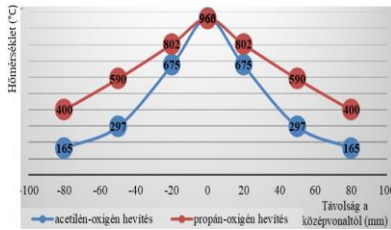
## Az éghető gáz hatása vonalhevítésnél (levegőhűtés) (próbatest mérete: 30 x 300 x 300 mm)



10/44

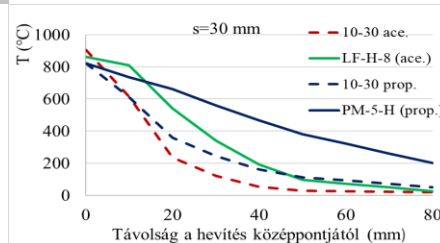
10

## Hőmérsékleteloszlás acetilén és propán hevítéssel



- : acetilén, levegőhűtés
- : acetilén, vízűtés
- : propán, levegőhűtés
- : propán, vízűtés

Hevítési idő (s)	
„10-30” acetilén háromkúpos vágófűvőka (hevítő láng)	10
„10-30” propán háromkúpos vágófűvőka (hevítő láng)	40



11/44

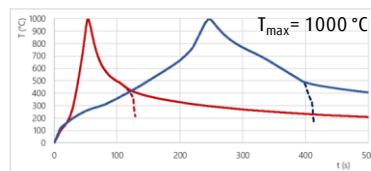
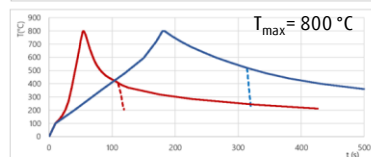
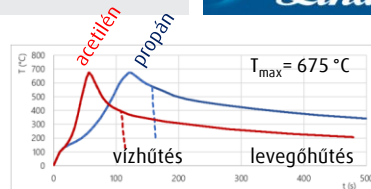
11

## Hőciklusok a fizikai szimulációhoz



### Hőszimulációs vizsgálatokhoz felvett hőciklusok:

- Vonalhevítés esetére az  $s=30 \times 300 \times 300$  mm méretű S355 típusjelű acéllemez hevítés oldali felületi középpontjának hőmérsékletváltozása
- Hevítés: acetilén-oxigén/propán-oxigén,
- Hűtés: nyugvó levegő/víz sugaras hűtés
- A hőciklusok (anyag hőterhelésének) maximális hőmérséklete: 675 °C ( $A_1$  alatti, szubkritikus), 800 °C ( $A_1$ - $A_2$  közötti, interkritikus), 1000 °C ( $A_2$  feletti, szuperkritikus)



12/44

12

## Fizikai szimuláció és az azt követő anyagvizsgálatok

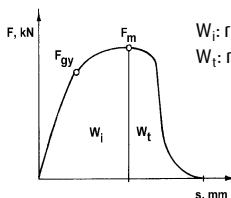
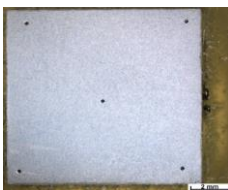


### Hőszimulációs vizsgálatok:

- 2 (3) féle alapanyag : S355J2+N, (S690QL), S960QL (10x10x70 mm)
- Többszöri (2-szeres, 4-szeres) hőterhelés

### A szimulációt követő anyagvizsgálatok:

- Az anyagok (hőterhelésnek kitett próbatestek) mikroszerkezetének vizsgálata (szemcseszerkezet, szövetszerkezet vizsgálat a próbatest közepén)
- Keménységvizsgálat - HV10 (a próbatest középsíkjában, 5 pontban)
- Műszerezett ütővizsgálat különböző hőmérsékleten (normalizált acél:- 20 °C, nemesített acélok- 40 °C) (hőciklusonként 3-3 db)



$W_i$ : repedésindulásra fordított energia  
 $W_t$ : repedésterjedésre fordított energia

$$KV = W_i + W_t$$

Értékelés alapja:  $W_i / KV$

13/44

13

## Az S355J2+N acél mikroszerkezetének változása a szimulációs kezelések hatására



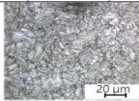
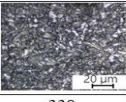
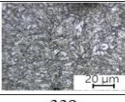
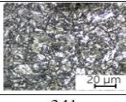
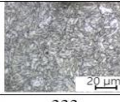
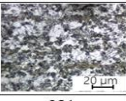
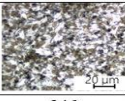
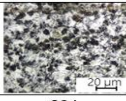
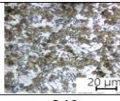
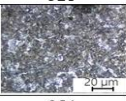
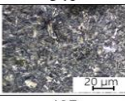
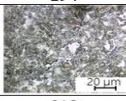
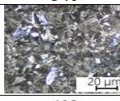
Alapanyag: S355J2+N (152 HV10)	Acetilén-oxigén láng		Propán-oxigén láng	
	Hűtés			
	Levegőhűtés	Vízhűtés	Levegőhűtés	Vízhűtés
Mikroszkópi képek/átlagkeménységek (HV10)				
$T_{max}=675\text{ °C}$	 158	 187	 156	 170
$T_{max}=800\text{ °C}$	 172	 173	 163	 168
$T_{max}=1\ 000\text{ °C}$	 184	 210	 166	 170

14/44

14

## Az S960QL acél mikroszerkezetének változása a szimulációs kezelésekre

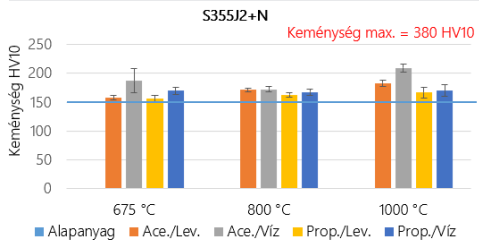


Alapanyag: S960QL (348 HV10)	Acetilén-oxigén láng		Propán-oxigén láng	
	Hűtési mód			
	Levegőhűtés	Vizhűtés	Levegőhűtés	Vizhűtés
Mikroszkópi képek/átlagkeménységek				
$T_{max}=675\text{ °C}$	 338	 339	 341	 333
$T_{max}=800\text{ °C}$	 321	 346	 294	 340
$T_{max}=1\ 000\text{ °C}$	 354	 407	 318	 402

15/44

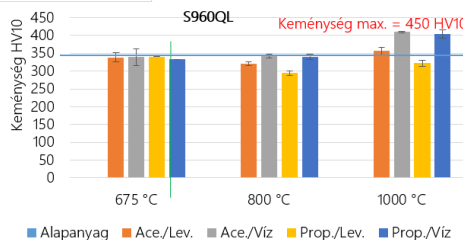
15

## A hevítés hatása a keménységre



### Keménység maximumok:

- MSZ EN ISO 15614-1 (hegesztésnél)  
380 HV10 (1-es anyagcsoport)  
450 HV10 (3-as anyagcsoport)
- MSZ EN 1090-2 (lángvágásnál)  
450 HV10 ( $R_{p0,2} > 460\text{ MPa}$ )

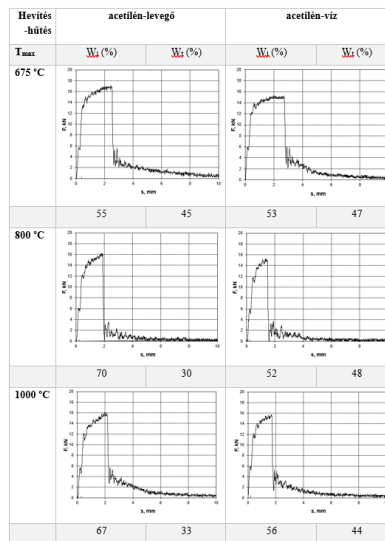
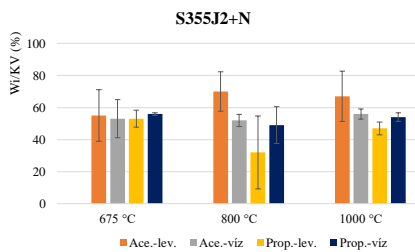
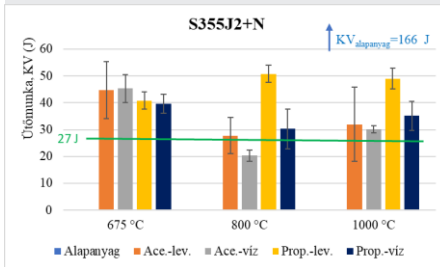


16/44

16

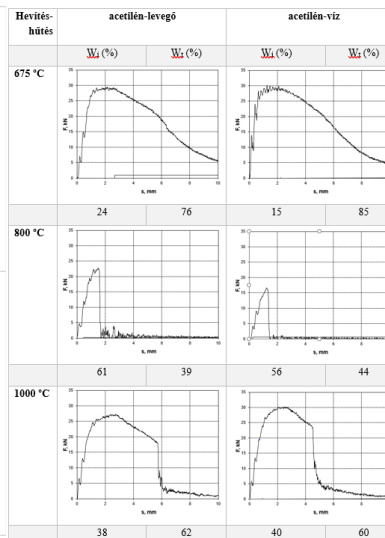
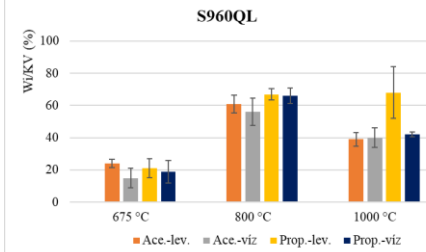
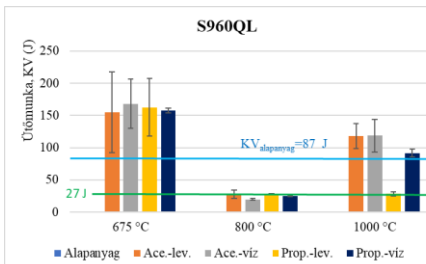


## Az S355J2+N acél szívóssága a hevítések után



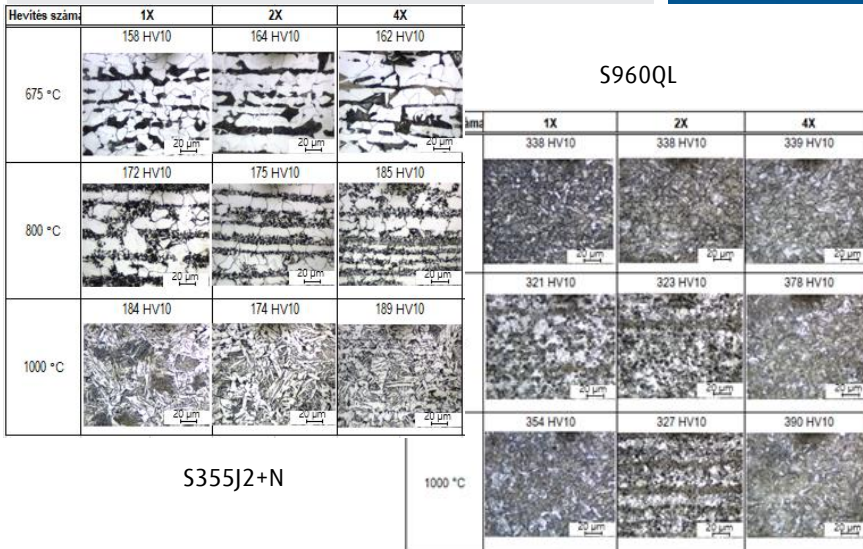
17

## Az S960QL acél szívóssága a hevítések után



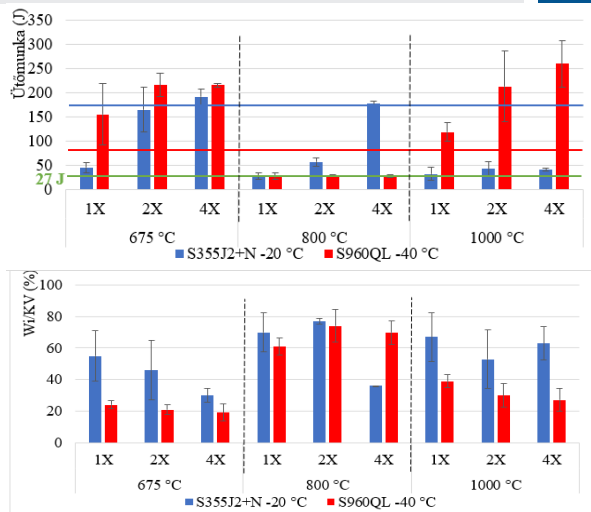
18

## Többszöri hevítés hatása az acélok mikroszerkezetére és keménységére (acetilén-oxigén hevítés, levegőhűtés)



19

## Többszöri hevítés hatása a szívósságra (acetilén-oxigén hevítés, levegőhűtés)



20/44

20

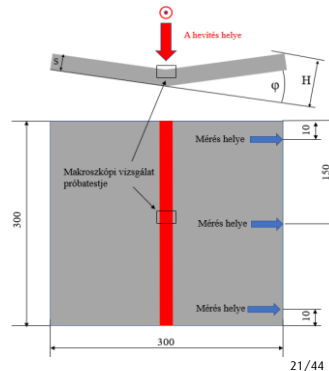


### Valós hevítések különböző peremfeltételekkel:

- Alapanyag - Lemezvastagságok: S355J2+N - 15 mm, S690QL - 30 mm, S960QL - 10 mm
- Hevítés módja: vonalhevítés (300x300 mm méretű lemez közepén)
- Alkalmazott égők: lemezvastagsághoz „illesztett”, teljesítményű (hőáramú) egy- ( $s=10$  és 15 mm esetén), ill. több lánghú (  $s=30$  mm esetén)
- Alkalmazott éghető/égést tápláló gáz: acetilén/oxigén, propán/oxigén
- Munkadarabok hűtése: nyugvó levegő, intenzív vízugár
- Maximális hőmérséklet:  $A_3$  felett (túlhevített)
- Hevítések száma: egyszeres és többszörös hevítések (2x, 4x, 6x) – csak acetilén-oxigén hevítésnél, és nyugvó levegőn hűtésnél

### Anyagvizsgálatok:

- Makroszkópi csiszolat
- Optikai mikroszkópos vizsgálat
- Keménységmérés (HV10)
- (Alakváltozás mérése)



21/44

21



### ➤ Legnagyobb probléma a felhevített terület elridegedésének veszélye!

- A lángegyengetés technológiája (is) hegesztőmérnöki/technológusi jóváhagyást/felügyeletet igényel az alábbiak szerint:
  - acetilén-oxigén üzemű, megfelelő teljesítményű égő használata (lassú égésű gázokat mellőzése),
  - lehető legkisebb terület túlhevítés nélküli hevítése (max.  $A_1$  körüli hőmérséklet) – már normalizált acéloknál is,
  - vízűtés mellőzése (legfeljebb ha már  $M_1$  alá hűlt a szerkezet),
  - újrahevítés ugyanazon a területen lehet, de max. kétszer,
- Nagyszilárdságú acélok felhasználásának hiányos vizsgálati/tapasztalati ismereteinek kiegészítése.
- Speciális acélok (különleges összetétel, gyártástechnológia stb.) feldolgozásánál előzetes vizsgálatok végezhetőek a kidolgozott módszer alapján (tapasztalat gyűjtés).
- A vizsgálati módszer kiterjeszhető más lánghévízások (pl. lánghévízés) hatásának vizsgálatára.
- Új acélfejlesztéseknél az anyagmérnököknek fontos információk olyan acélok kifejlesztéséhez, amely a lánghévízések hatására kevésbé érzékenyek.

22/44

22



**Köszönjük a megtisztelő figyelmet!**

Making our world more productive

