



Éghető gázok jelentősége lánggyengetésnél

Gyura László*, Dr. Balogh András**, Dr. Gáspár Marcell**

MAHEG-Ipari Gázok Ankét
Budapest, 2021.11.04

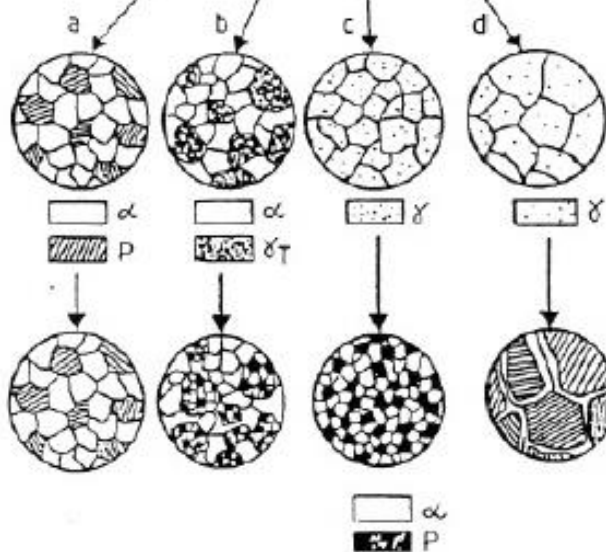
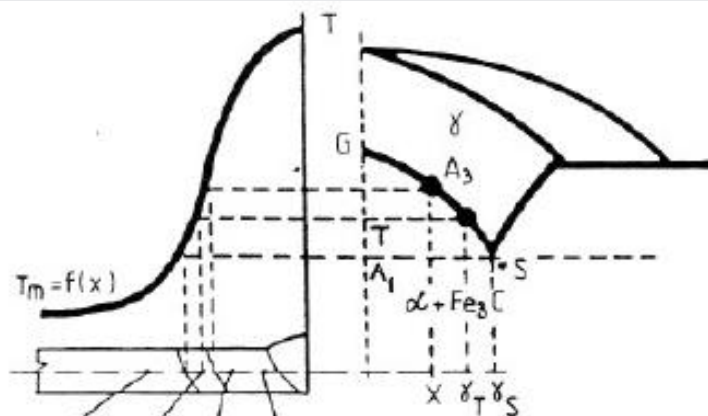
*Linde Gáz Magyarország Zrt.

**Miskolci Egyetem

Making our world more productive



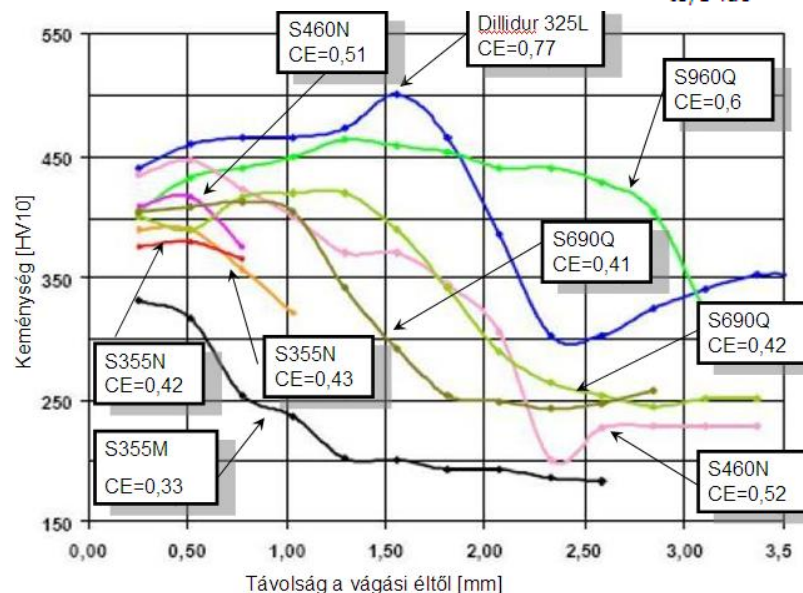
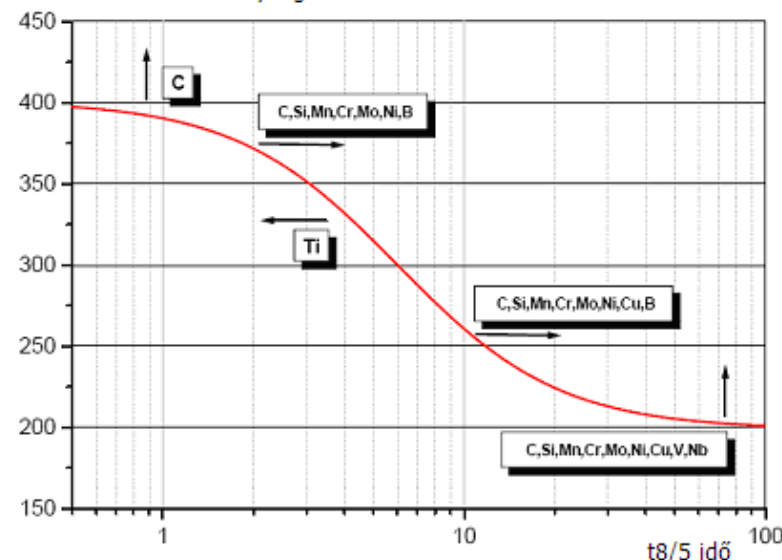
Szövetszerkezet/keménység változása a hegesztett kötés keresztmetszetében



Felhevítéskor
kialakuló
szövetszerkezet

Lehűléskor
kialakuló
szövetszerkezet

Hőhatásővezet keménysége



Lángerőnyetítés alapelve: hevítés/zömítés/zsugorodás



Gyors és koncentrált hevítés

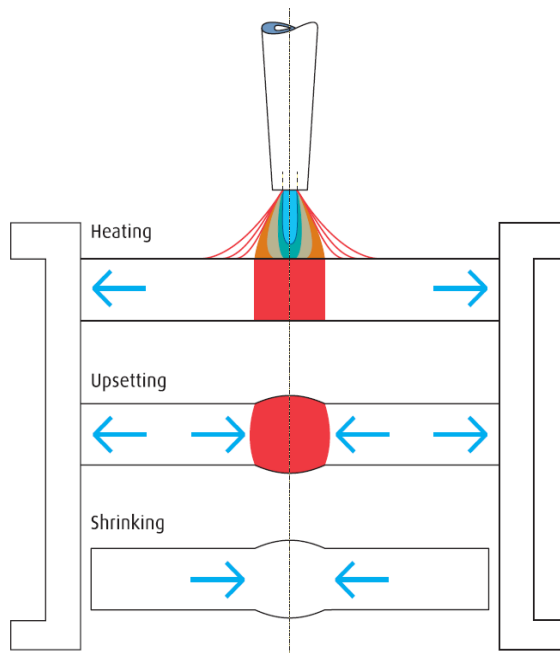
hevítjük a munkadarabot a képlékeny alakváltozást okozó hőmérsékleti tartományba

Zömítés

hőtágulás korlátozásával a hevített zónában

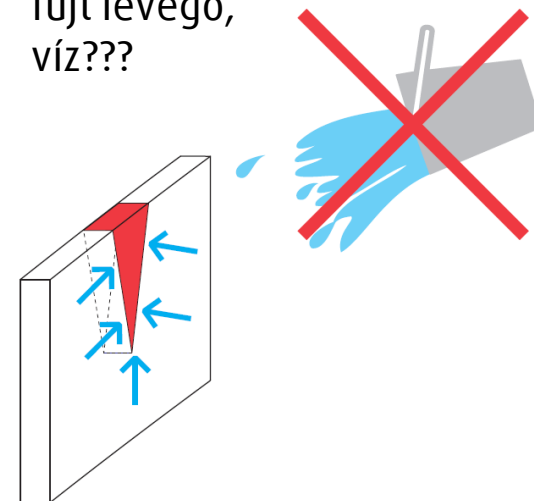
Zsugorodás

hűlés közben a zsugorodási zónában



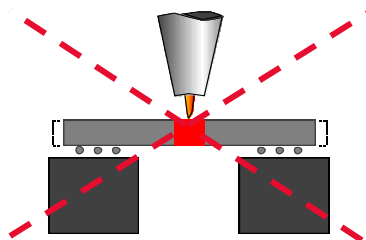
Hűtés:

nyugvó levegő,
fűt levegő,
víz???



Ha nincs tágulási korlát
(alakváltozás korlátozása nélkül)

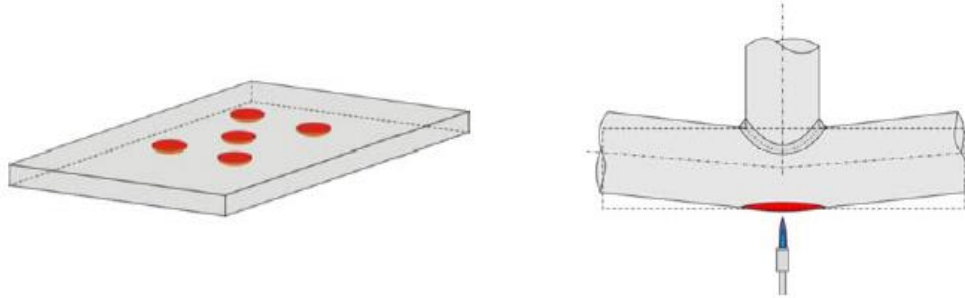
Nincs egyengető hatás



Lángerősség jellemző megjelenési formái

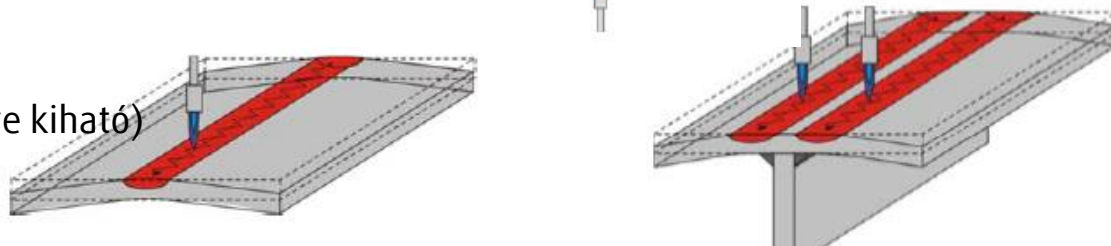


– Ponthevítés



– Vonalhevítés

(nem teljes keresztmetszetre kiható)



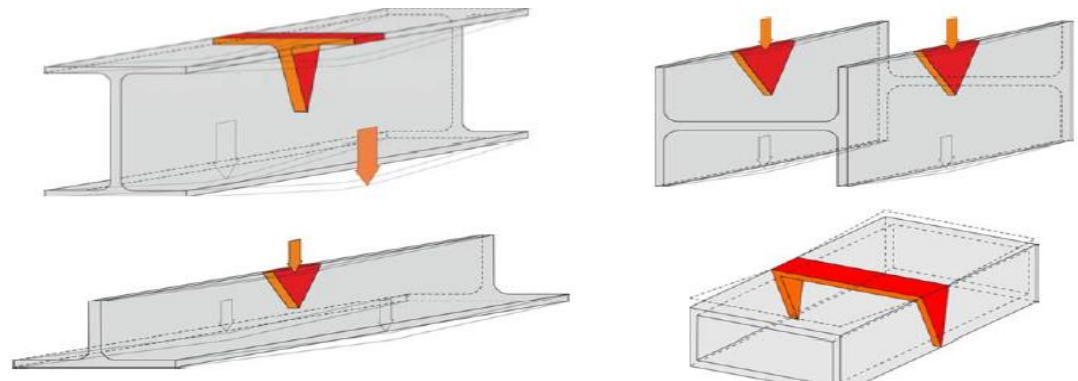
– Sávhevítés

(teljes keresztmetszetre kiható)



– Ékalakú hevítés

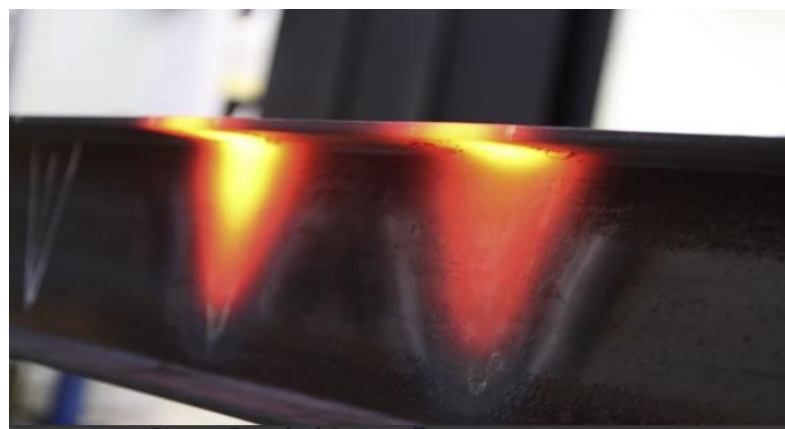
(teljes keresztmetszetre kiható)



Lángerőgyengetés 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	$\leq 900\text{ °C}$	$\leq 700\text{ °C}$	$\leq 650\text{ °C}$
Termomechanikusan hengerelt acélok, 460 MPa folyáshatárig	$\leq 900\text{ °C}$	$\leq 700\text{ °C}$	$\leq 650\text{ °C}$
Termomechanikusan hengerelt acélok 500-700 MPa folyáshatár között	$\leq 900\text{ °C}$	$\leq 600\text{ °C}$	$\leq 550\text{ °C}$
Nemesített nagyszilárdságú acélok (pl. S690QL, S960QL)	a választott alapanyag megeresztési hőmérséklete alatt általánosan 20 °C- kal		



Meghatározó hőmérsékletek:

- A_1 (A_{c1})
- A_3 (A_{c3})

5

Jellemző gázfajták lángtechnológiákhoz

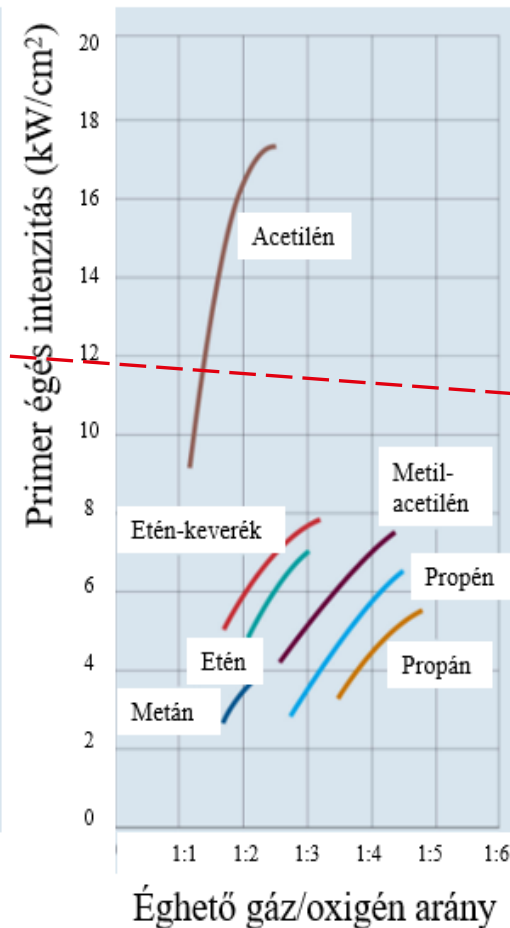
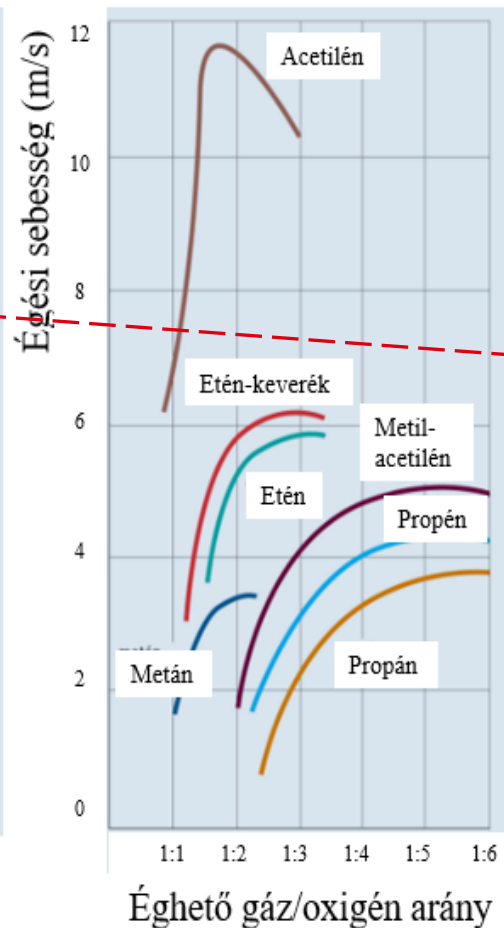
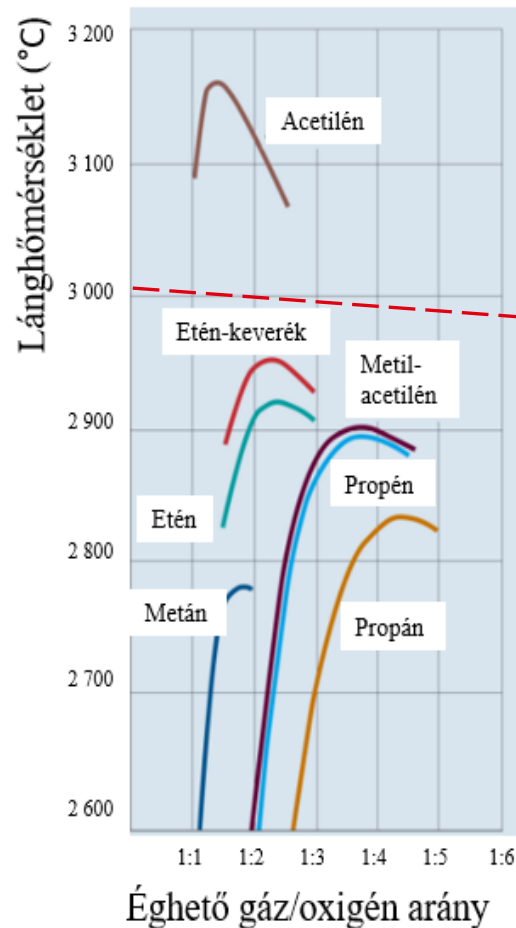


Gázok	Tulajdonságok
Oxigén (O_2)	• színtelen, szagtalan, • nem mérgező, • égést tápláló
Acetilén (C_2H_2)	• Fűtőérték = 56 500 kJ/m³, • Maximális láng hőmérséklet oxigénnel = 3 106 °C, • Maximális láng hőmérséklet levegővel = 2 330 °C, • Égési sebesség, hőáramsűrűsége relatíve nagy, • Keverési arány lángtechnológiáknál (acetilén:oxigén): 1: 0,8 -tól 1: 1,5, • Sztöchiometrikus égés oxigénnel : 1: 2,5.
Propán (C_3H_8)	• Fűtőérték = 93 200 kJ/m³, • Maximális láng hőmérséklet oxigénnel = 2810 °C, • Maximális láng hőmérséklet levegővel = 1930 °C, • Égési sebesség, hőáramsűrűsége relatíve kicsi, • Keverési arány lángtechnológiáknál (propán:oxigén): 1: 3,5 -tól 1: 4,5, • Sztöchiometrikus égés oxigénnel : 1: 5.

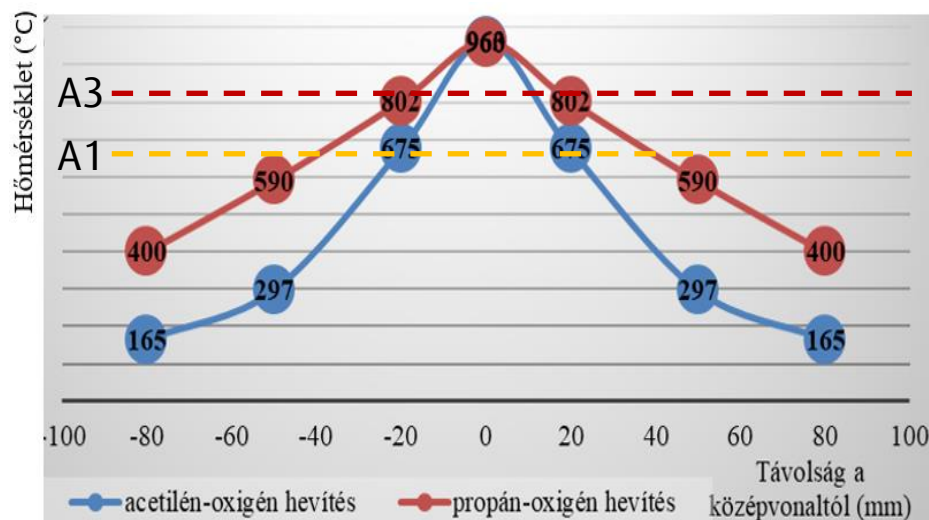


„slow burning” – lassú égésű gázok

Az éghető gázok fő jellemzői (lánghőmérséklet, égési sebesség, hőáramsűrűség)



Hőmérsékleteloszlás/hevített terület nagysága acetilén és propán hevítésnél



Hevítési idő (s)

„10-30” acetilén háromkúpos vágófúvóka (hevítő láng)

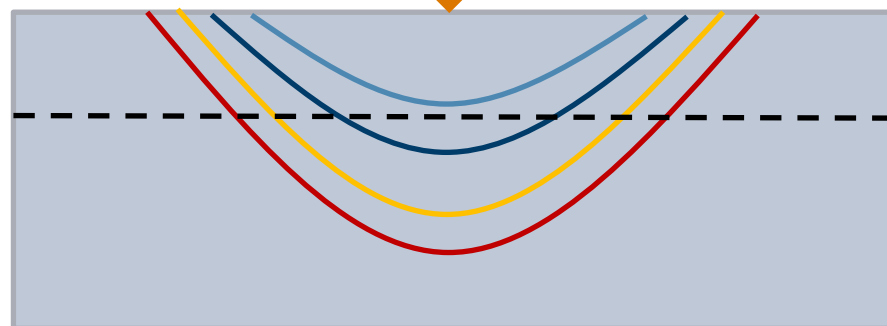
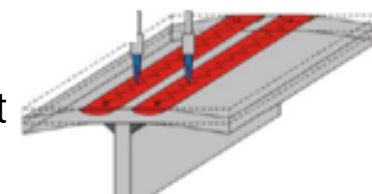
10

„10-30” propán háromkúpos vágófúvóka (hevítő láng)

40

Vonalhevítés

(NEM teljes keresztmetszet)



— : acetilén, levegőhűtés

— : acetilén, vízűtés

— : propán, levegőhűtés

— : propán, vízűtés

Sávhevítés

(teljes keresztmetszet)

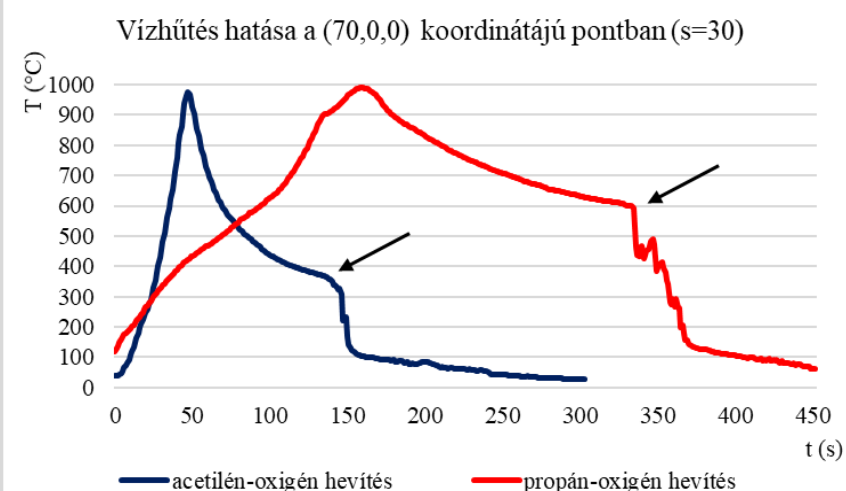
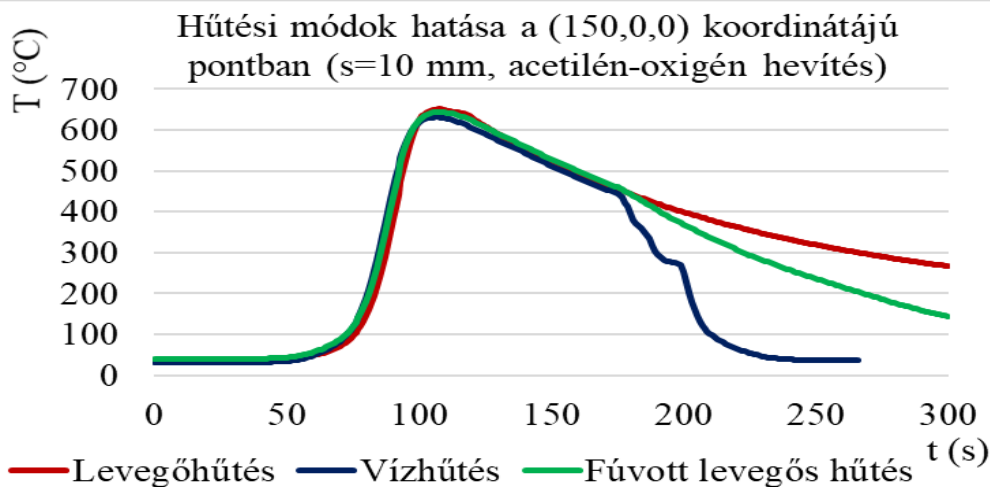
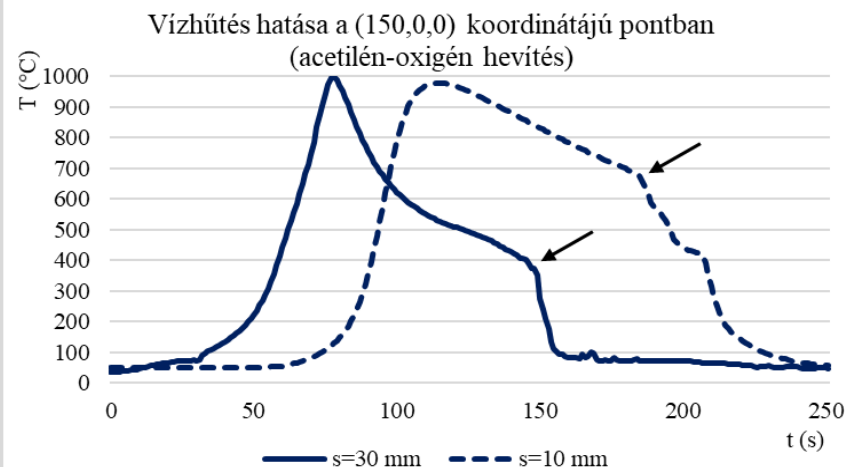
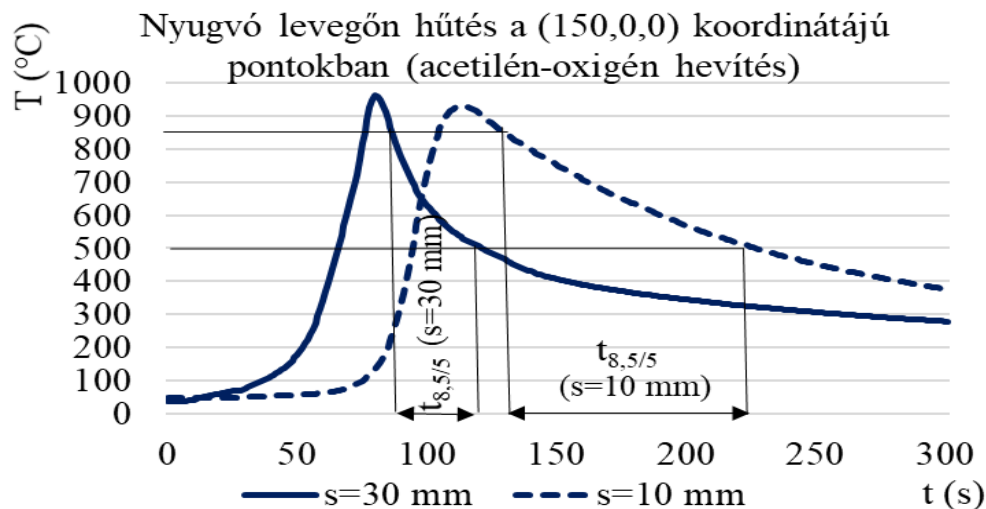


Acetilén



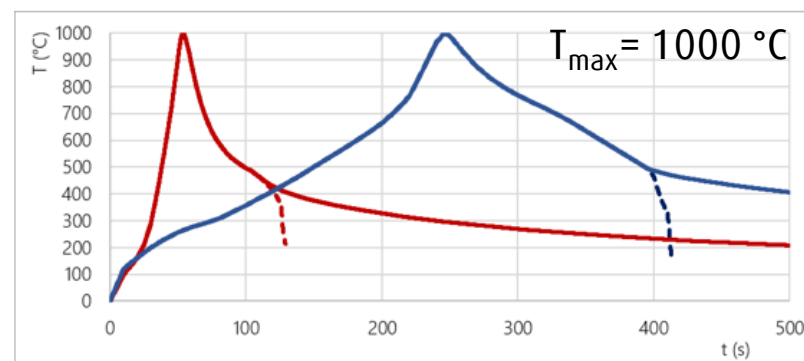
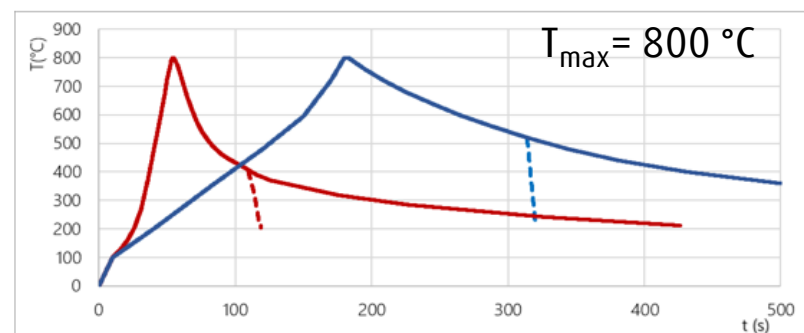
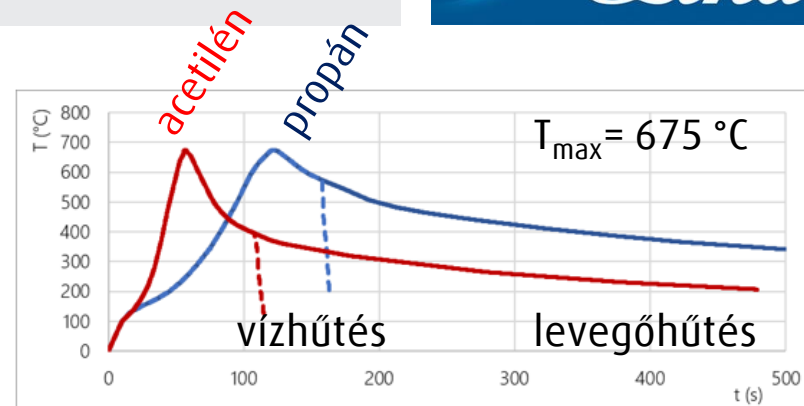
Propán

Hűlési viszonyok különböző peremfeltételek mellett



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_3 közötti, interkritikus), 1000°C (A_3 feletti, superkritikus)

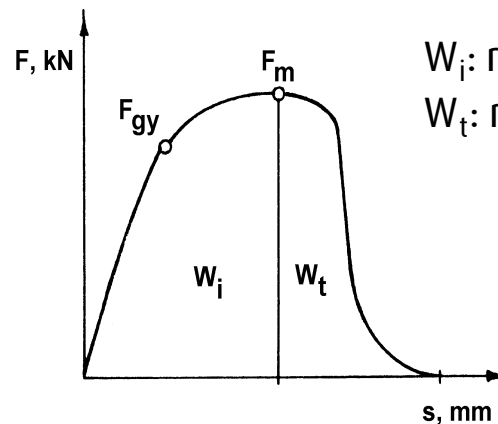
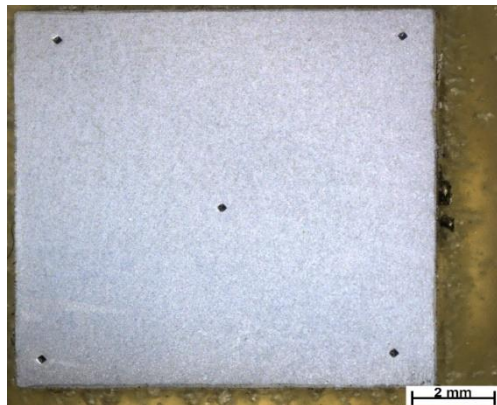


Hőszimulációs vizsgálatok:

- 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

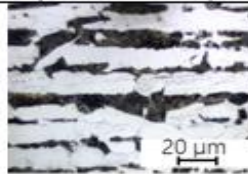
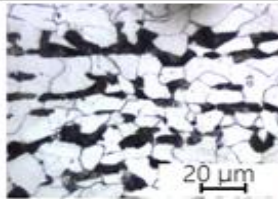
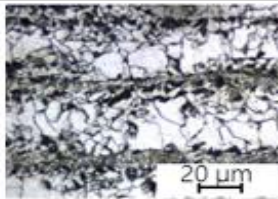
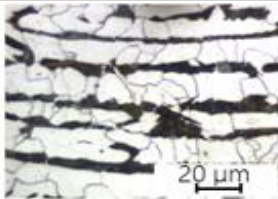
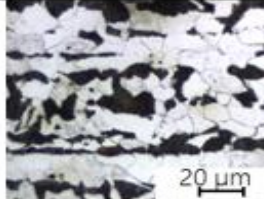
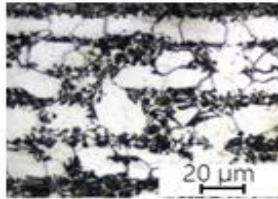
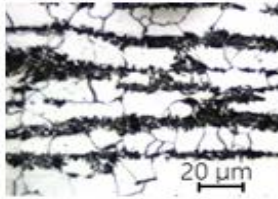
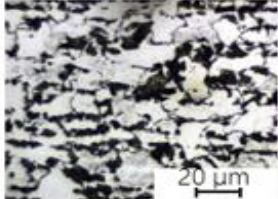
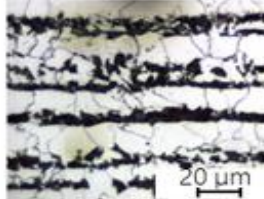
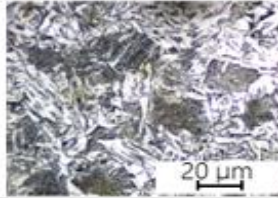
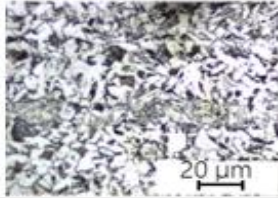
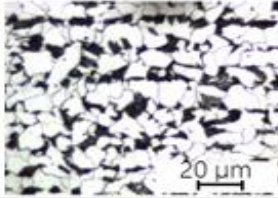
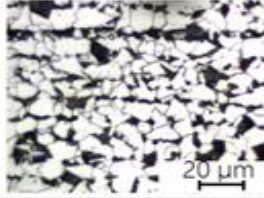
W_t : repedésterjedésre fordított energia

$$KV = W_i + W_t$$

Értékelés alapja: W_i / KV

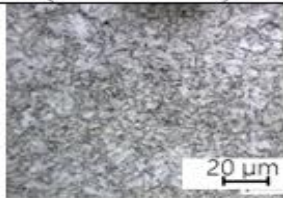
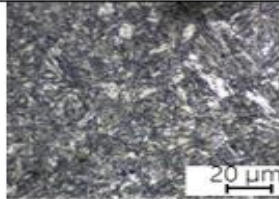
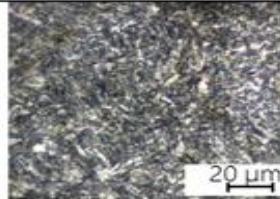
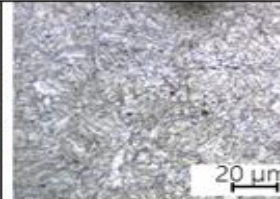
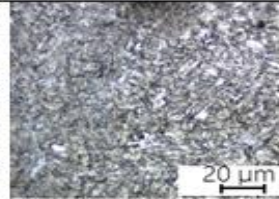
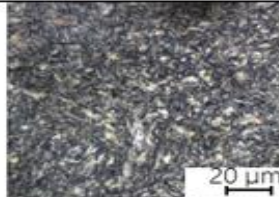
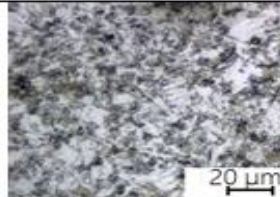
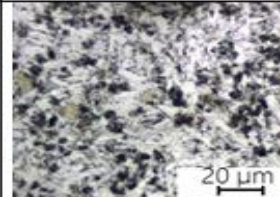
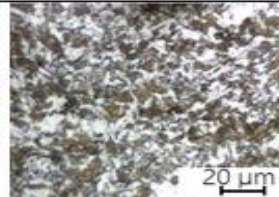
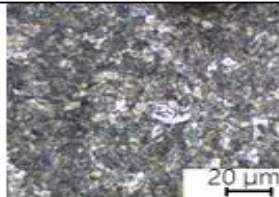
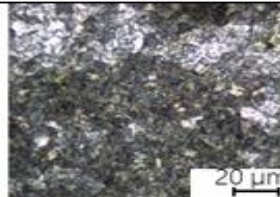
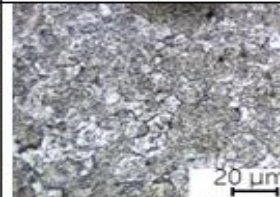
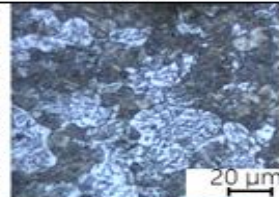
Az S355J2+N acél mikroszerkezetének változása a szimulációs kezelések hatására



	Acetilén-oxigén láng		Propán-oxigén láng	
Alapanyag: S355J2+N (152 HV10)	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

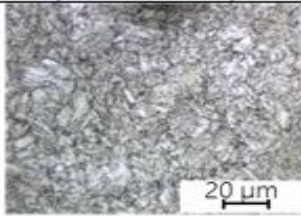
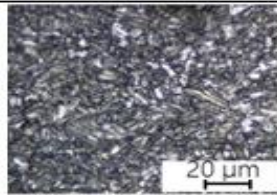
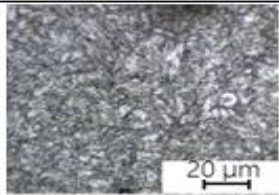
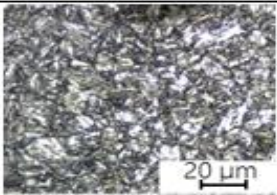
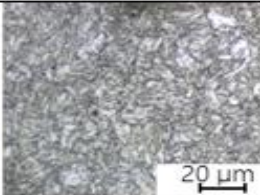
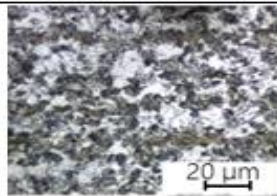
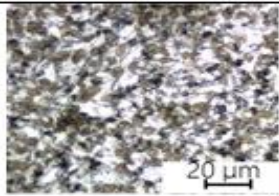
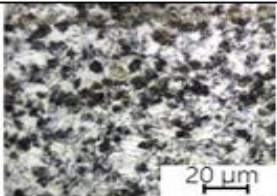
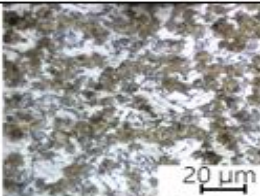
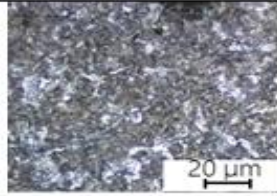
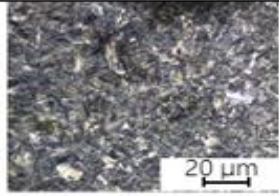
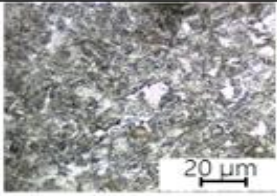
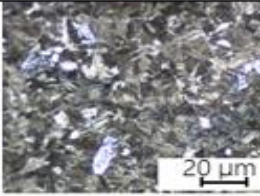
Az S690QL acél mikroszerkezetének változása a szimulációs kezelések hatására



	Acetilén-oxigén láng		Propán-oxigén láng	
Alapanyag: S690QL (297 HV10)	Hűtés			
	Levegőhűtés	Vízhűtés	Levegőhűtés	Vízhűtés
	Mikroszkópi képek/átlagkeménységek (HV10)			
$T_{\max}=675\text{ °C}$				
	296	286	278	281
$T_{\max}=800\text{ °C}$				
	256	258	243	283
$T_{\max}=1\ 000\text{ °C}$				
	338	350	277	343

Az S960QL acél mikroszerkezetének változása a szimulációs kezelések hatására



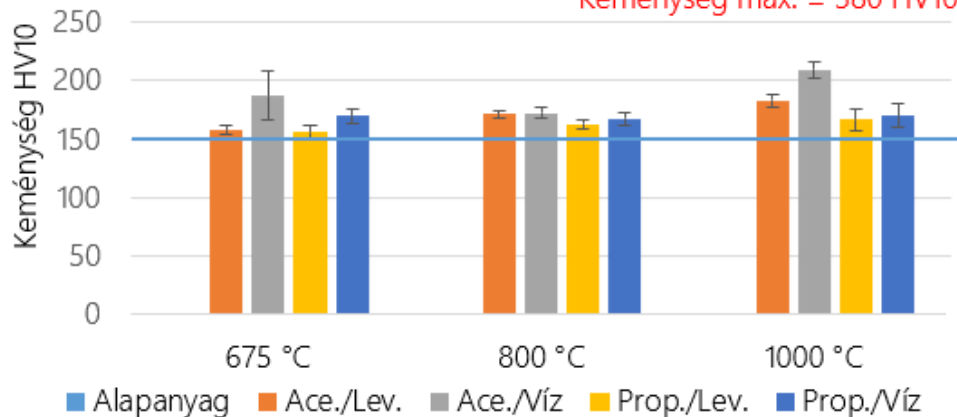
	Acetilén-oxigén láng		Propán-oxigén láng	
Alapanyag: S960QL (348 HV10)	Hűtési mód			
	Levegőhűtés	Vízhűtés	Levegőhűtés	Vízhűtés
	Mikroszkópi képek/átlagkeménységek			
$T_{\max}=675\text{ °C}$				
	338	339	341	333
$T_{\max}=800\text{ °C}$				
	321	346	294	340
$T_{\max}=1\ 000\text{ °C}$				
	354	407	318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

A hevítés hatása a keménységre



S355J2+N

Keménység max. = 380 HV10

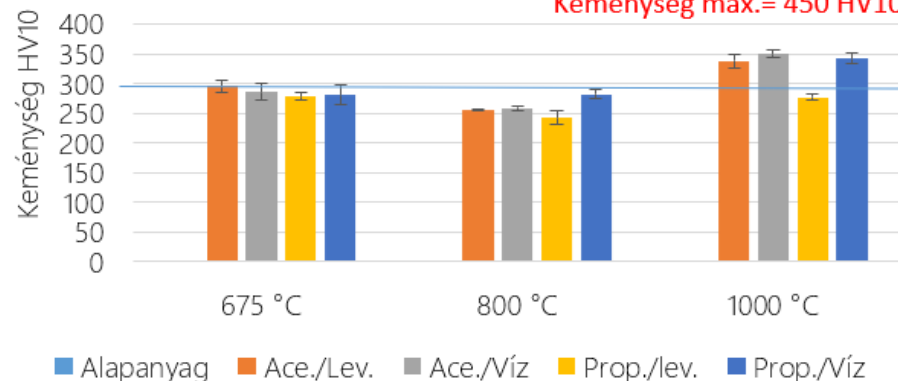


Keménység maximumok:

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

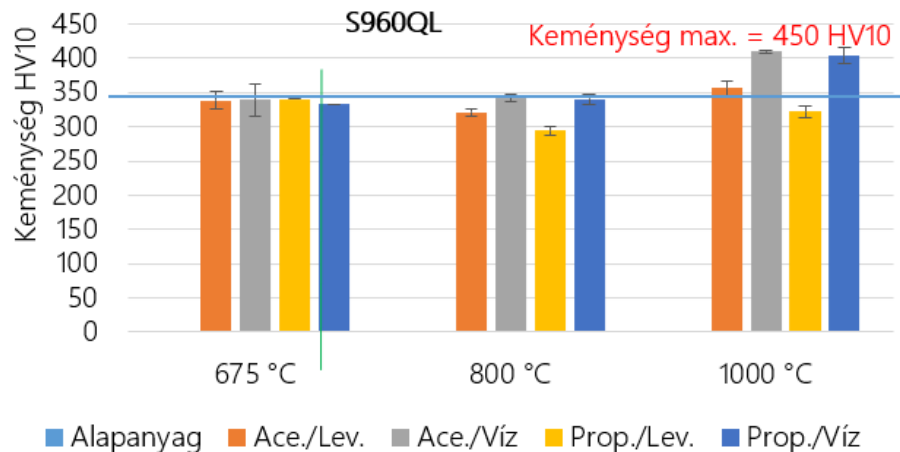
S690QL

Keménység max. = 450 HV10



S960QL

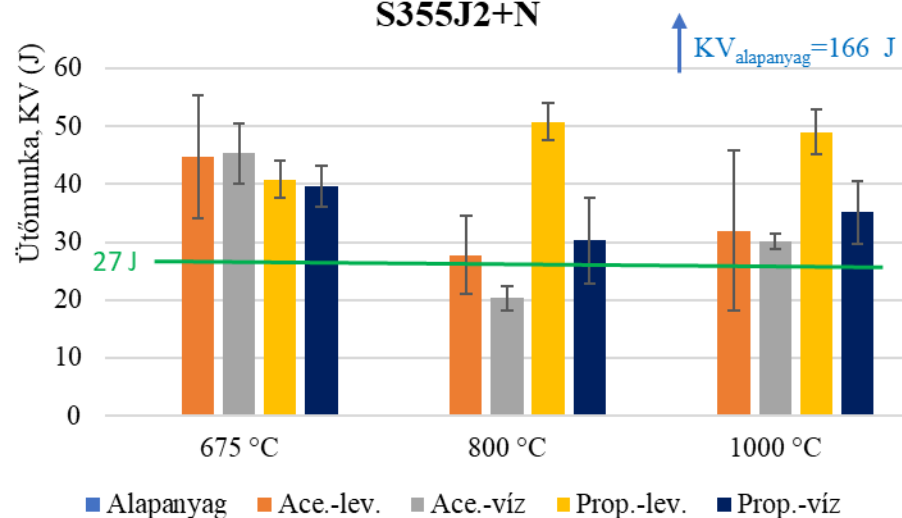
Keménység max. = 450 HV10



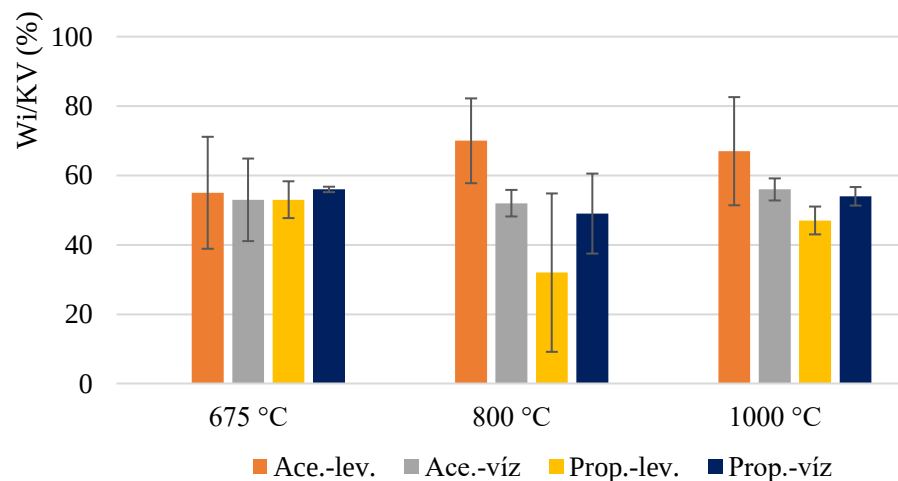
Az S355J2+N acél szívóssága a hevítések után



S355J2+N

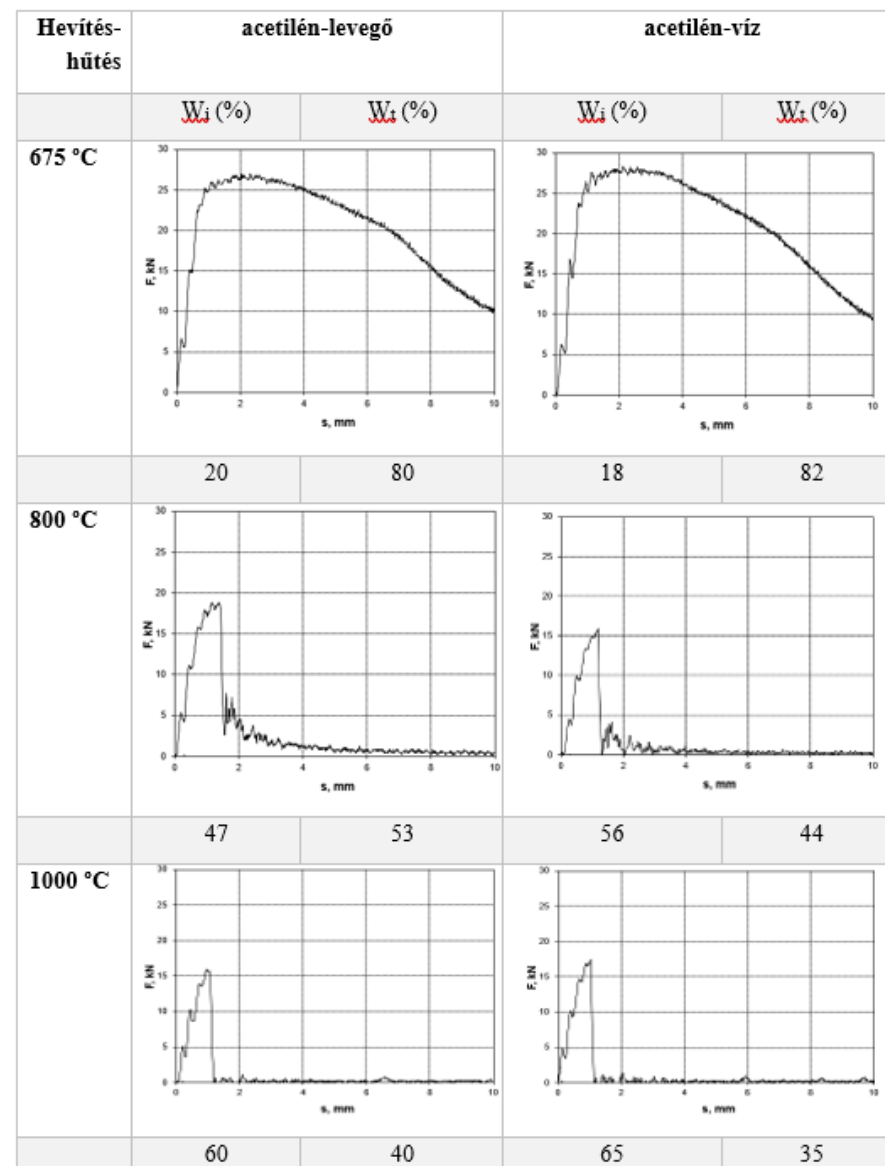
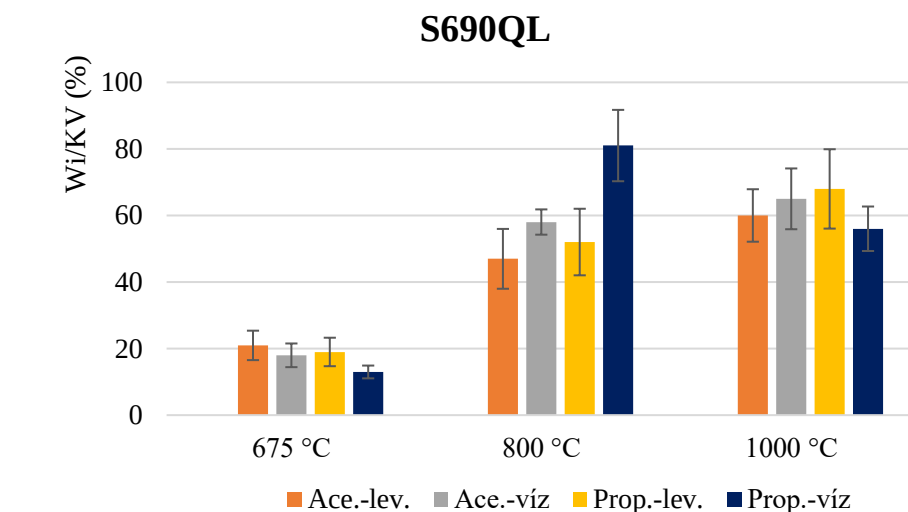
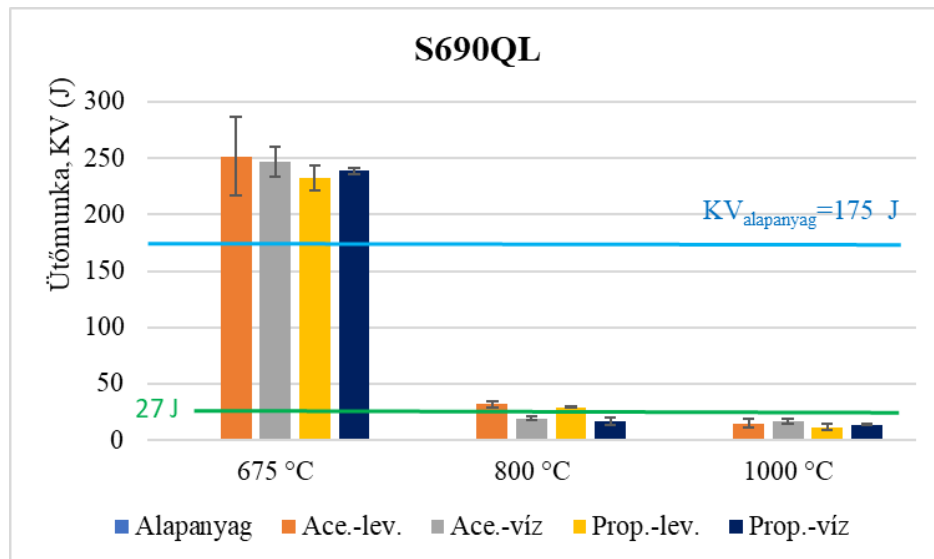


S355J2+N



Hevítés -hűtés	acetilén-levegő		acetilén-víz	
T _{max}	W _i (%)	W _t (%)	W _i (%)	W _t (%)
675 °C				
	55	45	53	47
800 °C				
	70	30	52	48
1000 °C				
	67	33	56	44

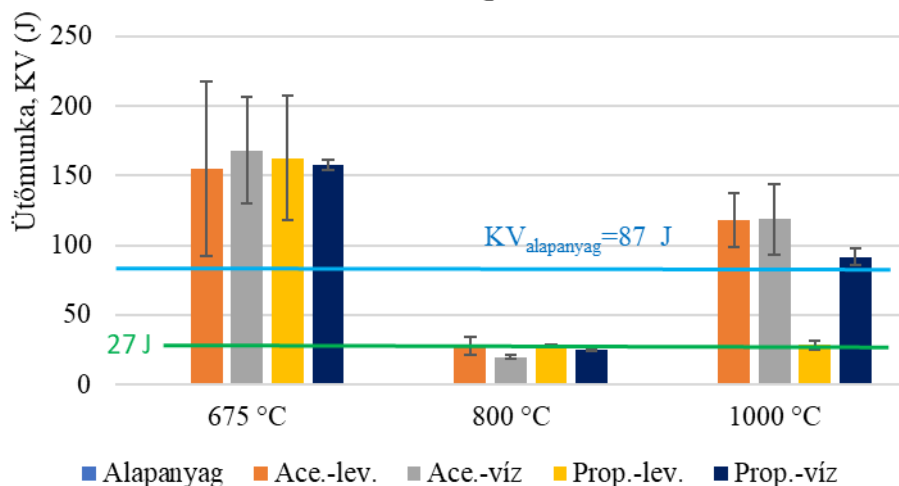
Az S690QL acél szívóssága a hevítések után



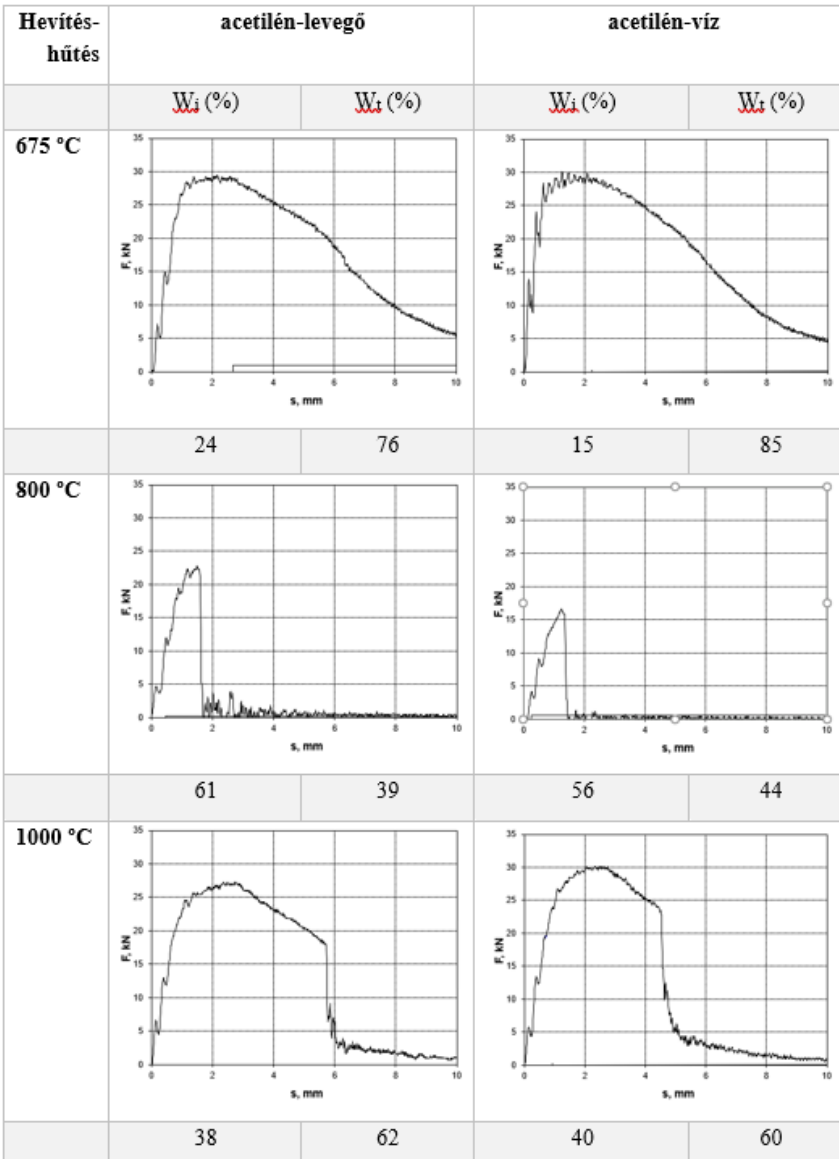
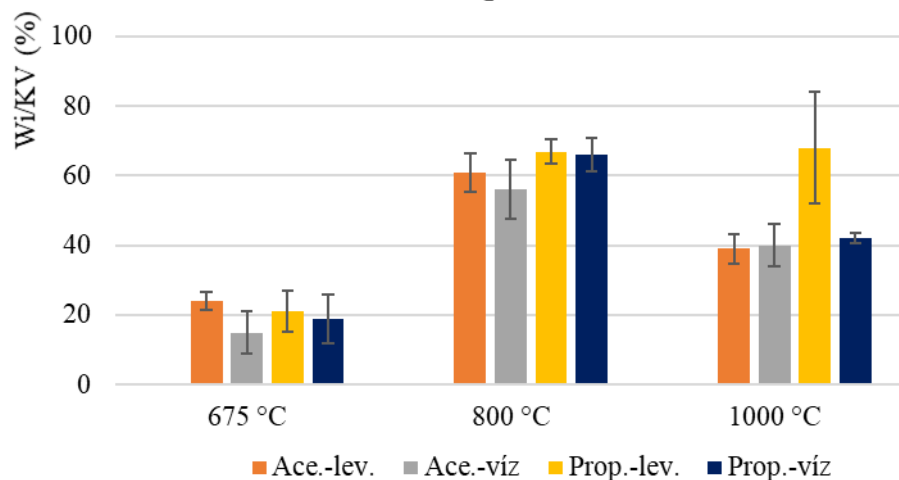
Az S960QL acél szívóssága a hevítések után



S960QL

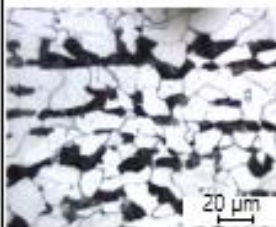
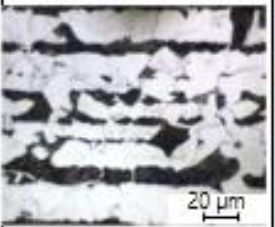
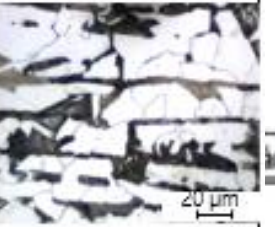
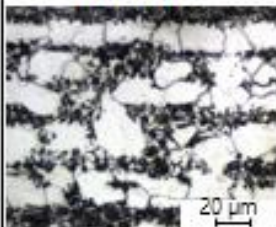
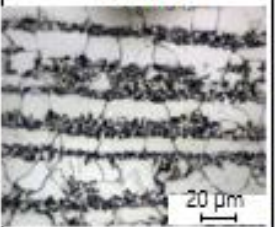
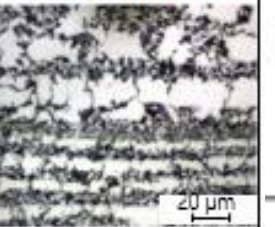
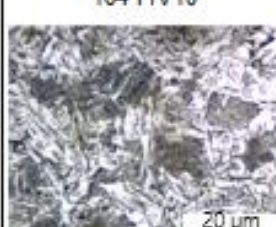


S960QL



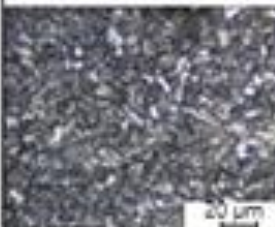
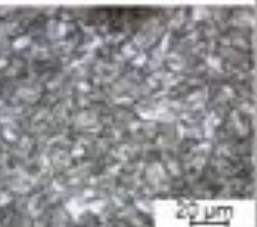
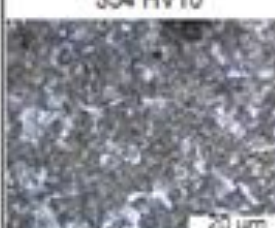
Többszöri hevítés hatása az acélok mikroszerkezetére és keménységére (acetilén-oxigén hevítés, levegőhűtés)



Hevítés száma	1X	2X	4X
675 °C	158 HV10 	164 HV10 	162 HV10 
800 °C	172 HV10 	175 HV10 	185 HV10 
1000 °C	184 HV10 	174 HV10 	189 HV10 

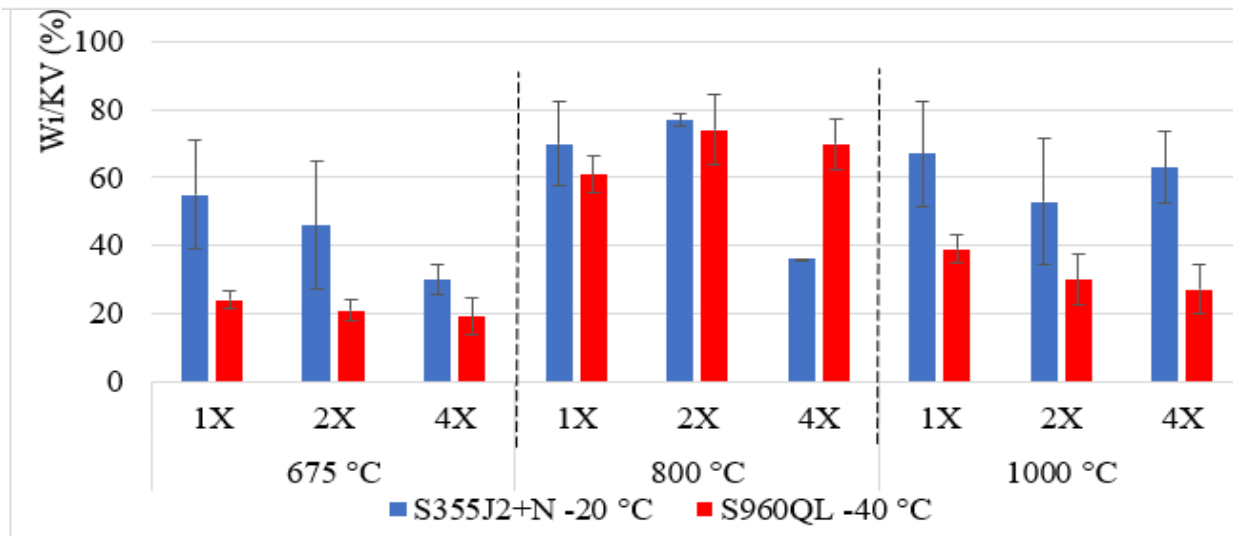
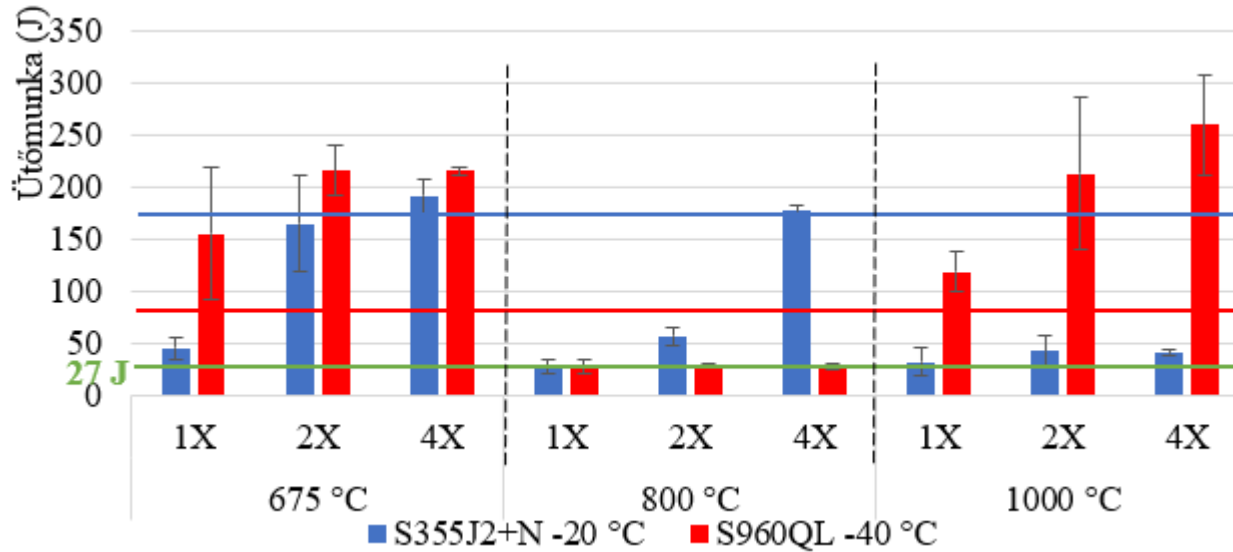
S355J2+N

S960QL

1X	2X	4X
338 HV10 	338 HV10 	339 HV10 
321 HV10 	323 HV10 	378 HV10 
354 HV10 	327 HV10 	390 HV10 

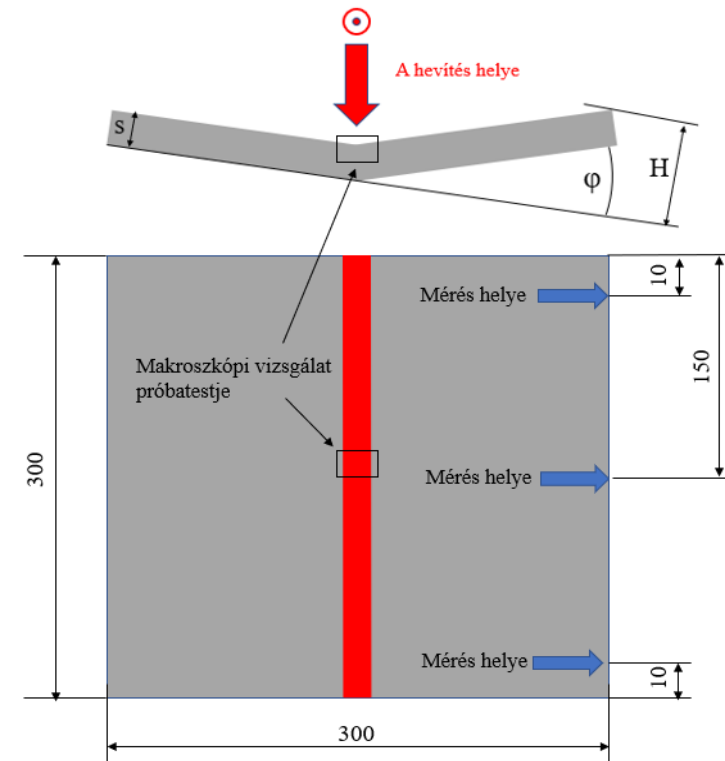
1000 °C

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



Anyagvizsgálatok:

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





- A vizsgált **normalizált és nemesített** nagyszilárdságú acéloknál a **keménységváltozás mértéke jellemzően nem kritikus** (intenzív vízűtésnél alakulhat ki kritikushoz közeli keménység), SŐT a **nagyszilárdságú acéloknál a szuperkritikus hőmérséklet alatt jellemzően kilágyulás következik be** (szilárdság csökkenés??)
- A normalizált acéloknál **már a szubkritikus (A_1 alatti) hőmérsékletű egyszeri hevítés is jelentős szívósságcsökkenést okoz**. A ridegedés mértékének csökkentése érdekében a láng egyengetéshez
 - olyan munkarendet kell előírni, amellyel **minimálisra csökkenthető az egyidejűleg felhevített térfogat**,
 - **kerülni kell a lassú égésű gázok alkalmazását**, amelyek az egyengetési folyamat időtartamát az acetilén-oxigén lángéhoz viszonyítva megnövelik,
 - A lemezvastagságnak **megfelelő teljesítményű égőt** javasolt alkalmazni.



- A nagyszilárdságú acéloknál az interkritikus A_1 - A_3 hőközbe történő szándékolt vagy véletlen **hevítés** az egyengetett acél eredeti szövetszerkezetének jelentős károsításával jár, és a martenzit-ausztenit (M-A) szigetek kialakulása miatt **számottevő szívósságcsökkenést okoz**.
- A termikus egyengetési technológiák során a felhevített anyagrészek **azonnali vízhűtése** a helyi keménységnövekedés és kritikus mértékű szívósságcsökkenés **miatt nem javasolt**. A vízhűtés az elridegedés és a felkeményedés miatt **annál veszélyesebb**:
 - minél nagyobb szilárdságcsoportba tartozik az egyengetett acél,
 - minél magasabb hőmérsékleten éri a víz az egyengetett acélt,
 - minél kisebb tömegű (kisebb falvastagságú és kiterjedésű) az egyengetett szerkezet rész,
 - minél nagyobb volt a felhevített térfogat.

Összefoglalás a lángegyengetés hatásairól



- A helyes technológiával végrehajtott **második hőciklus** a vizsgált **normalizált acélok**, valamint a **nagyszilárdságú acélok** szerkezetében, az első hevítéshez képest **nem okoz további szignifikáns anyagszerkezeti változást**. Amennyiben az egyengetéshez szükséges alakváltozás növelése érdekében újabb hevítésre lenne szükség, a vizsgált acélok hevítése **ugyanazon a területen másodszori, ellenőrzött hevítése elfogadható**.



- A lánggyengetés technológiája (is) hegesztőmérnöki/technológusi jóváhagyást/felügyeletet igényel az alábbiak szerint:
- acetilén-oxigén üzemű, megfelelő teljesítményű égő használata (lassú égésű gázok mellőzése),
 - lehető legkisebb terület túlhevítés nélküli hevítése (max. A_1 körüli hőmérséklet) – már normalizált acéloknál is,
 - vízűtés mellőzése (legfeljebb ha már M_f alá hűlt a szerkezet),
 - újrahevítés ugyanazon a területen lehet, (de max. kétszer).



Köszönöm a megtisztelő figyelmet!

Making our world more productive

