

# Vízgőzös előoxidáció hatása az E110G cirkónium ötvözet – levegőbetöréssel járó atomerőművi balesetek esetén bekövetkező – magas hőmérsékletű oxidációjára

Perezné Feró Erzsébet, Novotny Tamás, Horváth Lászlóné

TSO Szeminárium  
Budapest, OAH székház  
2016. június 07.

# Bevezetés

## Cirkónium fűtőelem-burkolatok

### Normál üzemi körülmények között

- ❖ jó mechanikai tulajdonságok és korrózióállóság

### Atomerőművi balesetek során

- ❖ oxidáló atmoszféra és magas hőmérséklet → Zr burkolat elridegedése

### Burkolat oxidáció végbemehet

- ❖ vízgőz atmoszférában (LOCA esemény)
- ❖ levegőben, ill. vízgőz-levegő elegyben (reaktor leállításkor, reaktortartály fedelének eltávolítása után vagy a pihentető medence hűtővíz kimaradásos üzemzavarainál)



# Kísérleti munka

**Előzmények (2014):** Levegőbetöréssel járó atomerőművi üzemzavaroknál, baleseteknél esetlegesen kialakuló, levegőtartalmú vízgőz atmoszféra E110G burkolat oxidációs és mechanikai viselkedésére gyakorolt hatásának vizsgálata



Káros hatás a keletkező oxidréteg tulajdonságaira  
Gyorsabb oxidáció  
A burkolat hamarabb elveszíti képlékenységét

Valódi baleseti helyzetben a burkolat a levegővel való kontaktust megelőzően már oxidálódik!

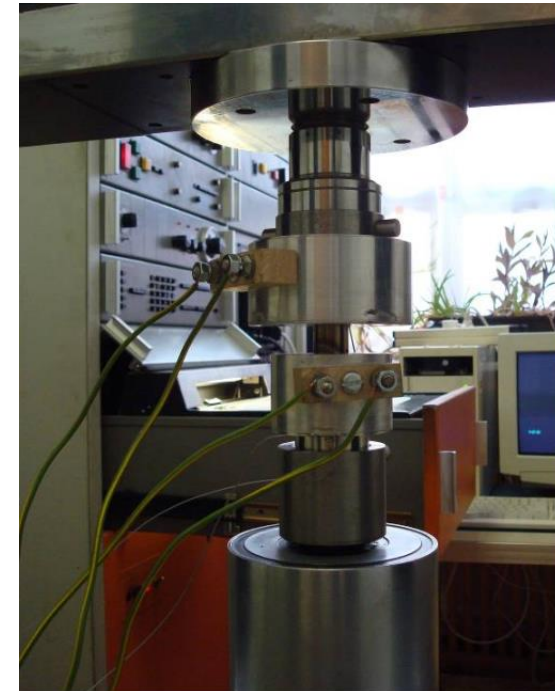
**2015:** A burkolat felületén előzetesen kialakult oxidréteg milyen hatással van az E110G burkolat levegős oxidációs kinetikájára, ill. a burkolat elridegedésére.



# Kísérleti munka fázisai

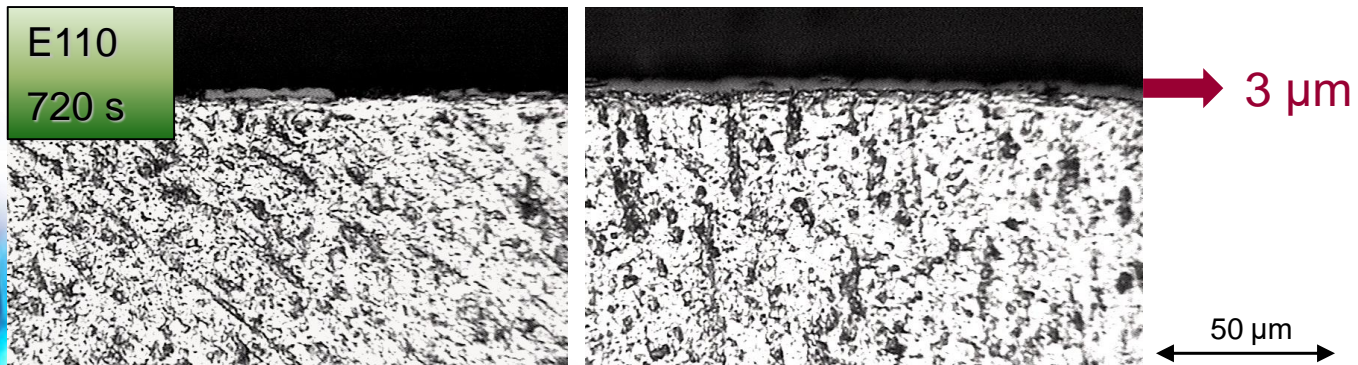
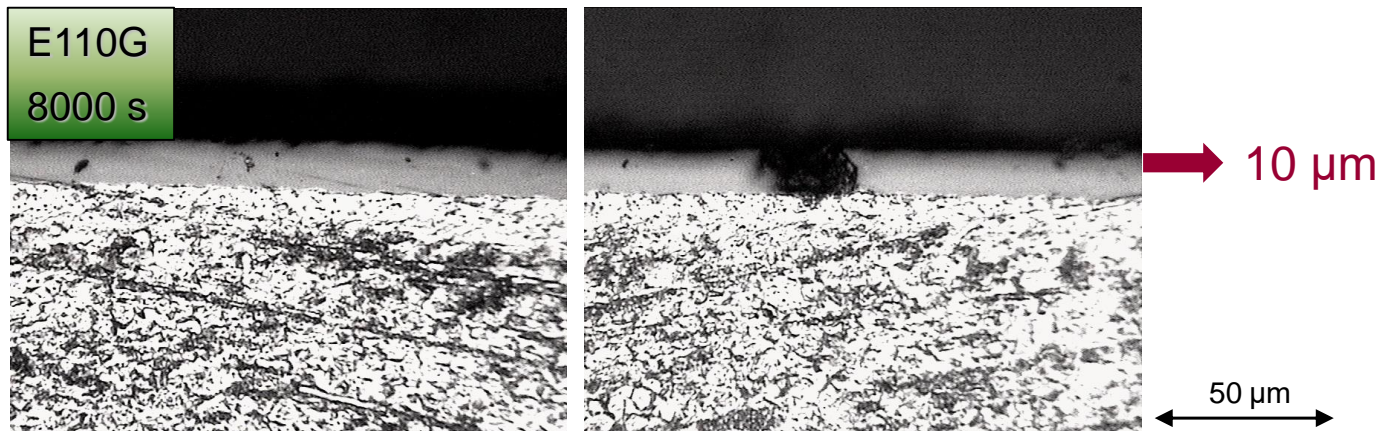
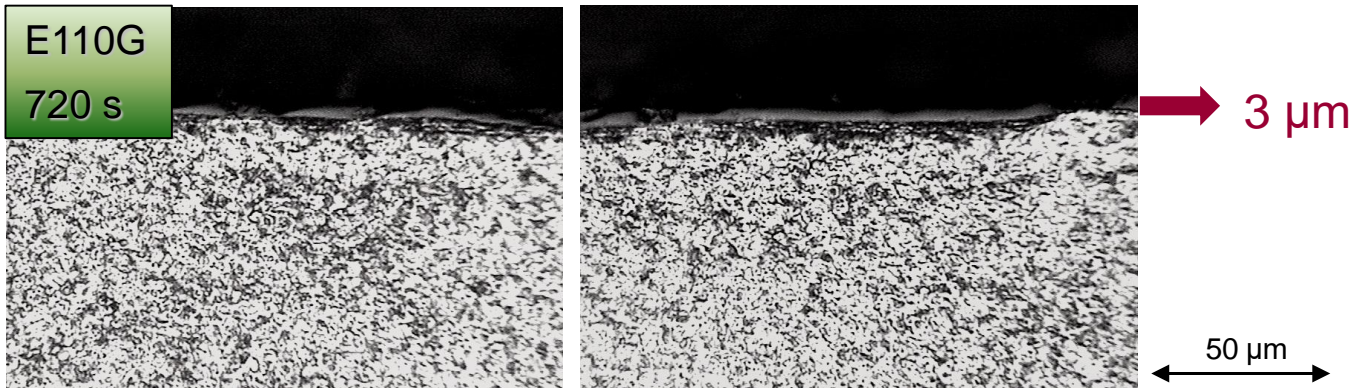
Kiindulási anyagok: 8 mm-es E110G és E110 minták

- ❖ Vízgőzös előoxidáció 800°C-on, két különböző vastagságú oxidréteg előállítása céljából
- ❖ Optikai mikroszkópos vizsgálat az oxidrétegvastagság ellenőrzésére
- ❖ Oxidáció két különböző összetételű levegő-vízgőz elegyben (1000°C; 1200°C)
- ❖ Mechanikai vizsgálatok (gyűrűtörő tesztek)



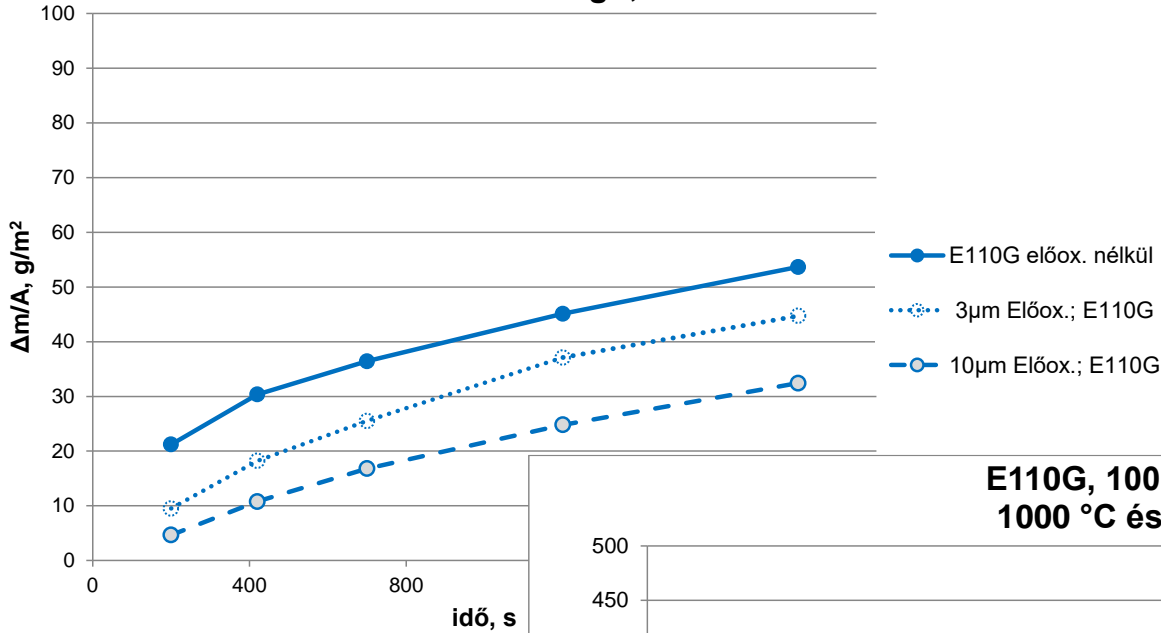


# Előoxidáció vízgőzben



# E110G levegős oxidációja

**E110G**  
10% levegő; 1000 °C

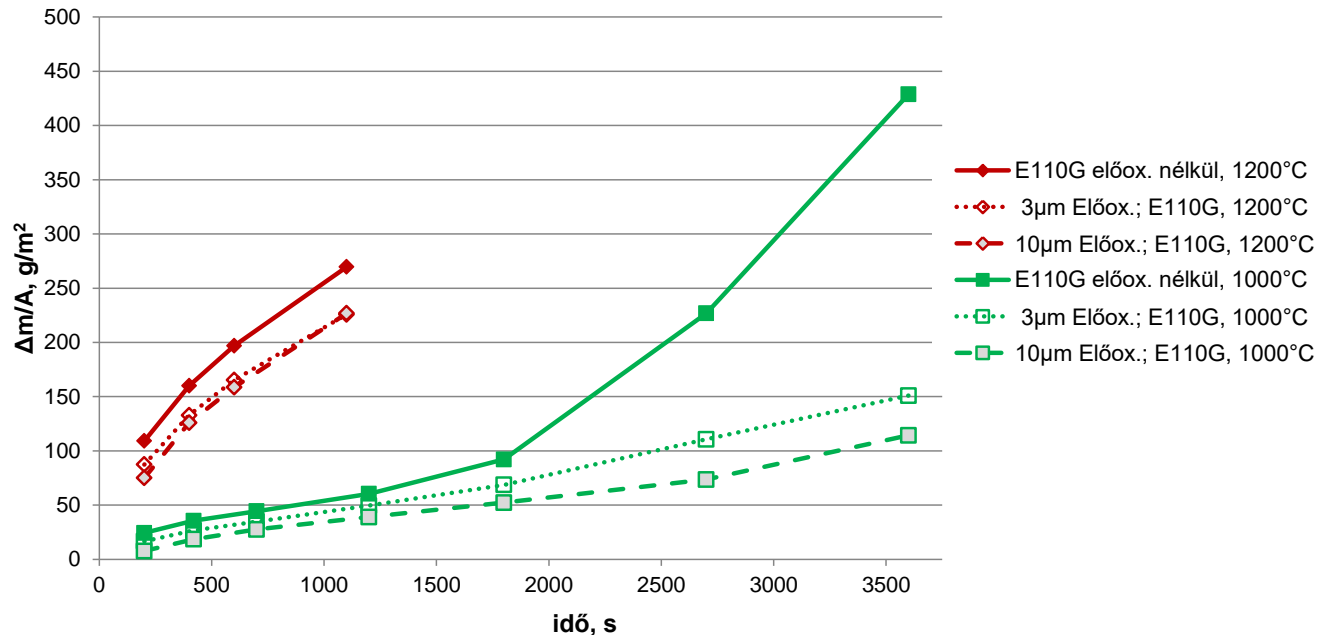


Hőm: 1000 °C  
Atm: 10% levegő – 90% vízgőz

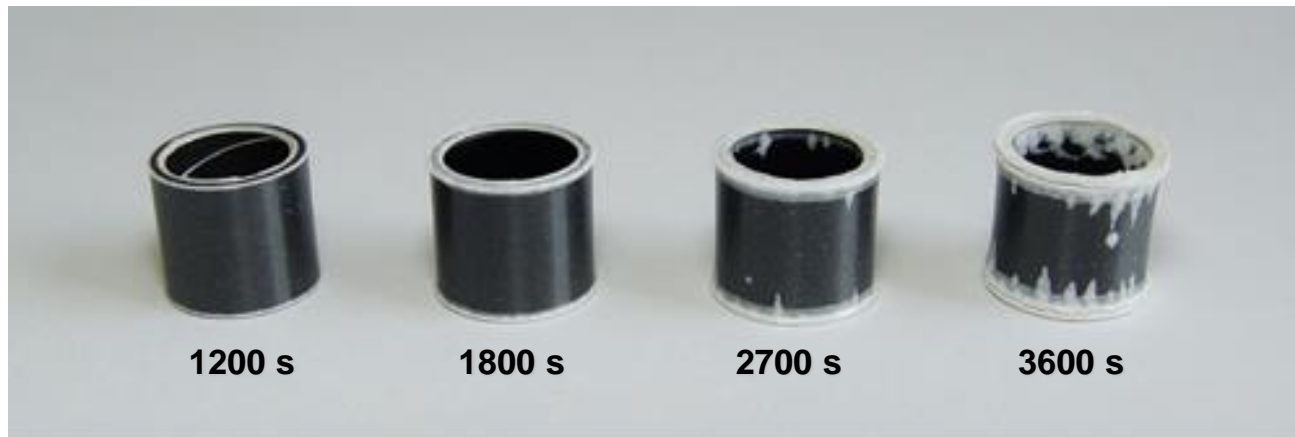
Az előoxidált minták kevésbé oxidálódtak

Hőm: 1000 °C és 1200 °C  
Atm: 100% levegő

**E110G, 100% levegő**  
1000 °C és 1200 °C

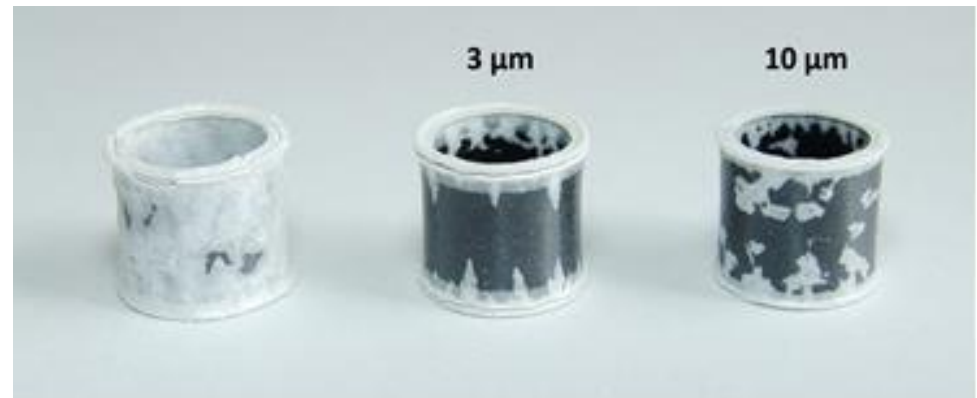


# E110G levegős oxidációja



Hőm: 1000 °C  
Atm: 100% levegő  
Előox: 3 μm

Hőm: 1000 °C  
Atm: 100% levegő  
Ox. idő: 3600 s



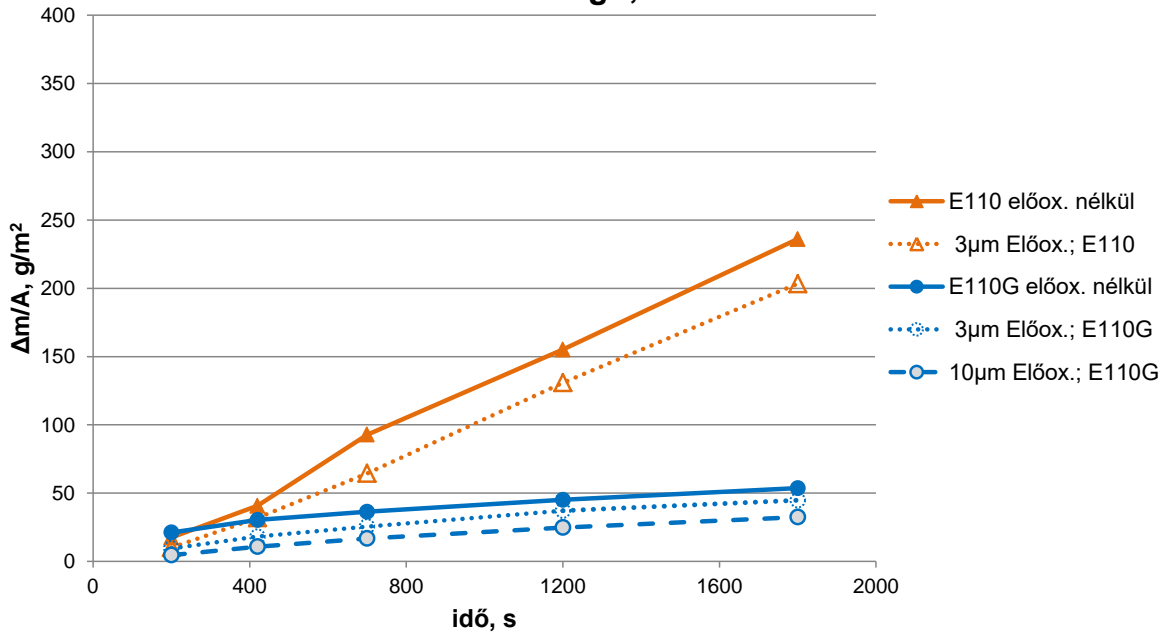
Az előoxidációkor keletkezett oxidréteg **védő hatású**





# E110 és E110G levegős oxidációjának összehasonlítása

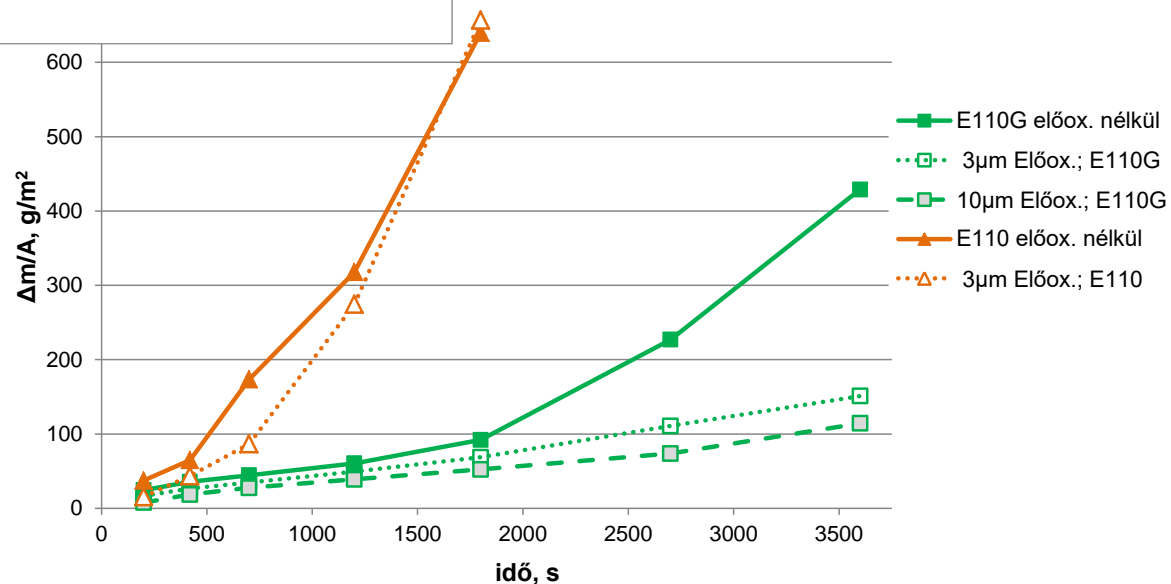
**E110 és E110G  
10% levegő; 1000 °C**



Hőm: 1000 °C  
 Atm: 10% levegő – 90% vízgőz  
 Előox: 3 μm  
 Ox. idő: 1800 s

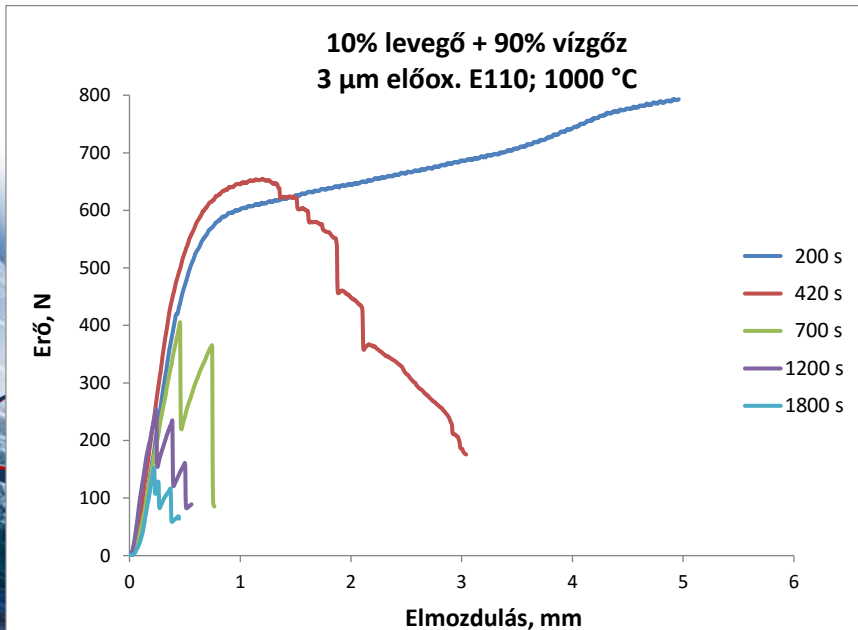
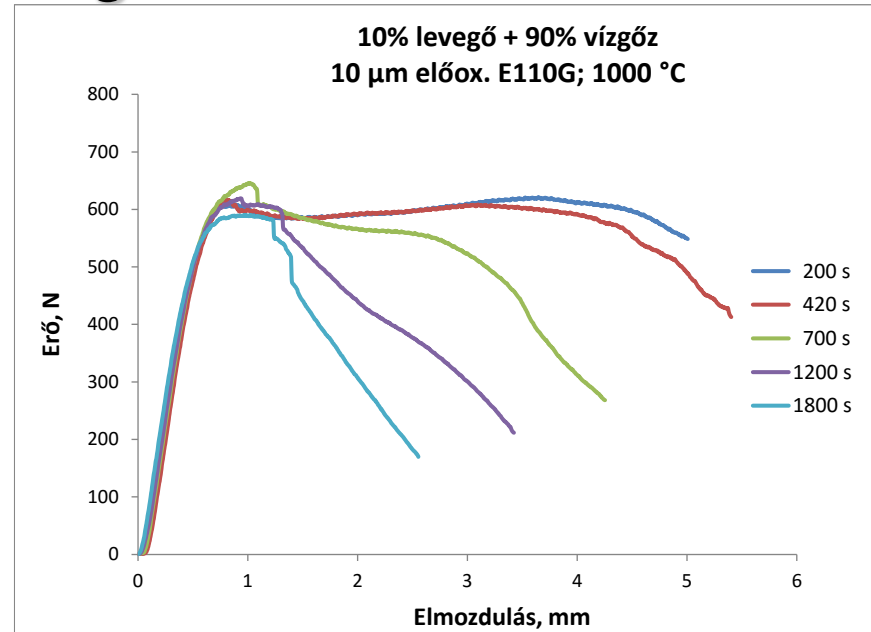
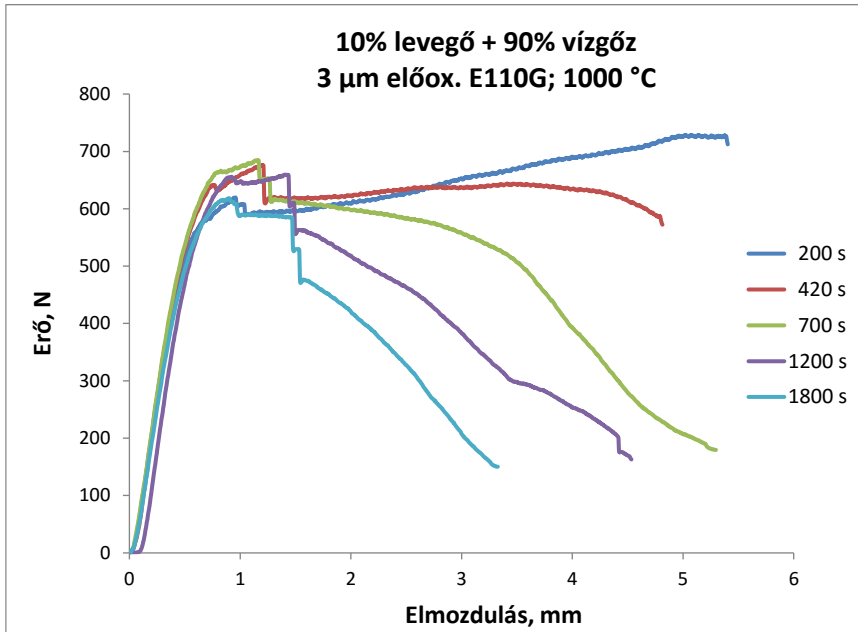
A két burkolat oxidációs kinetikája közötti különbség az előoxidáció hatására sem csökken

**E110 és E110G  
100% levegő; 1000 °C**





# Mechanikai vizsgálatok

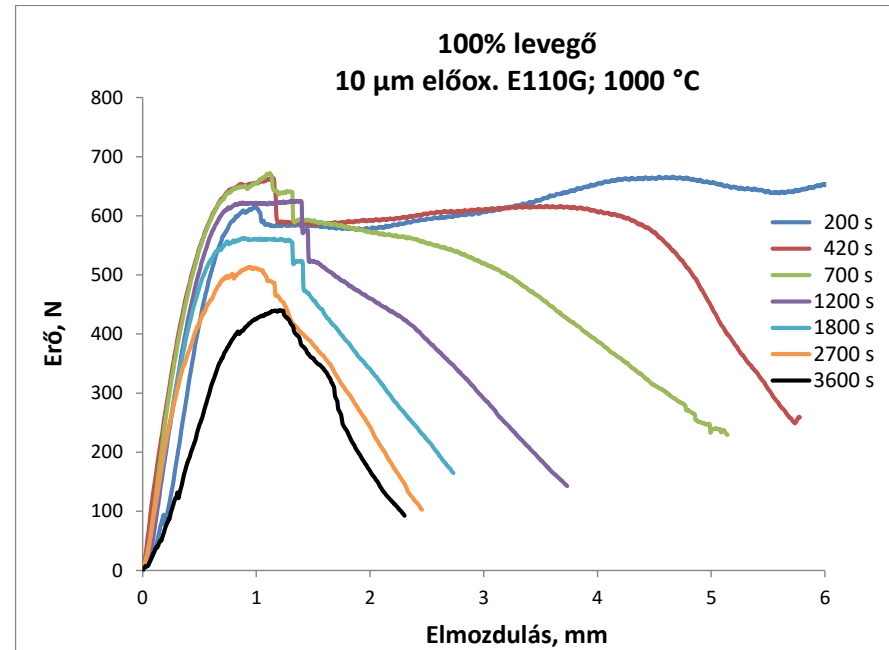
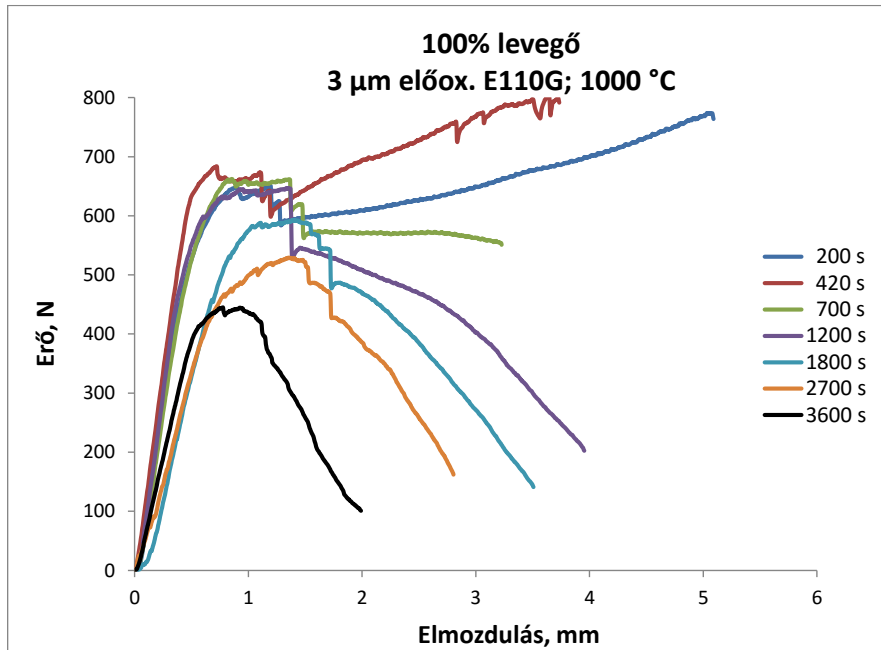


## Oxidációs idő hatása

E110G: Még a hosszabb ideig (1800 s) oxidált minták is képlékenyek maradtak

E110: 700 s fölött a minták rideggé váltak

# Mechanikai vizsgálatok



## Oxidációs idő hatása

E110G: A terhelhetőség 1800 s oxidációs időnél csökkenni kezd, de még 3600 s után is jelentős erőt képes elviselni

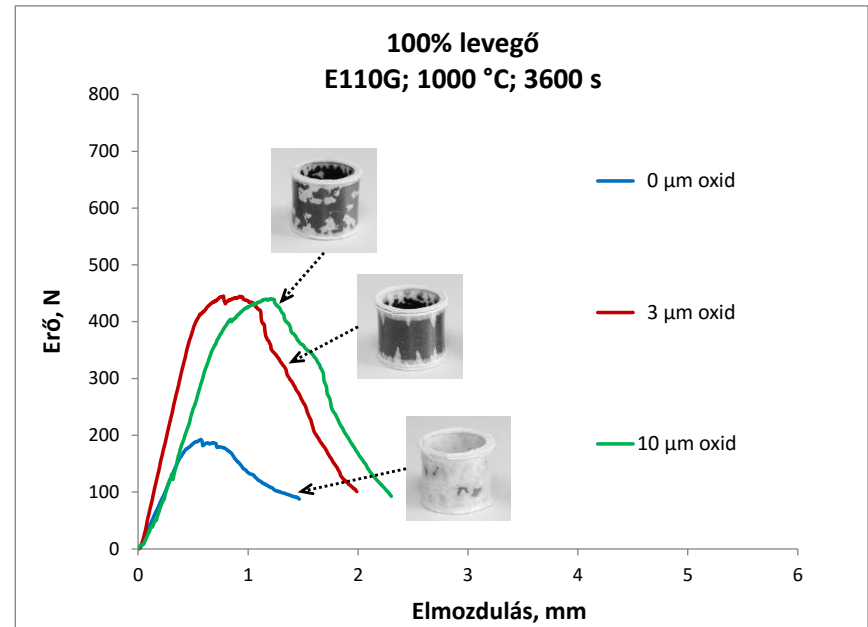
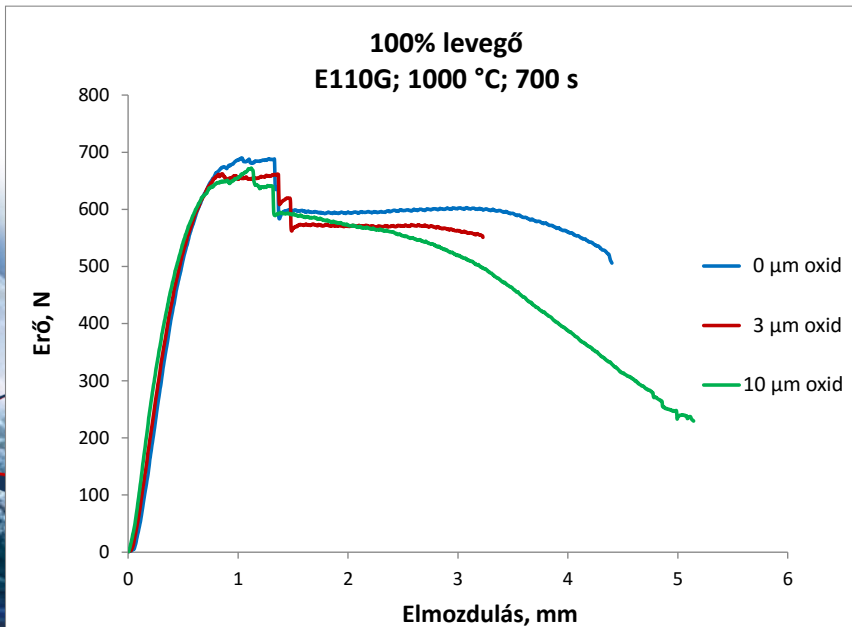
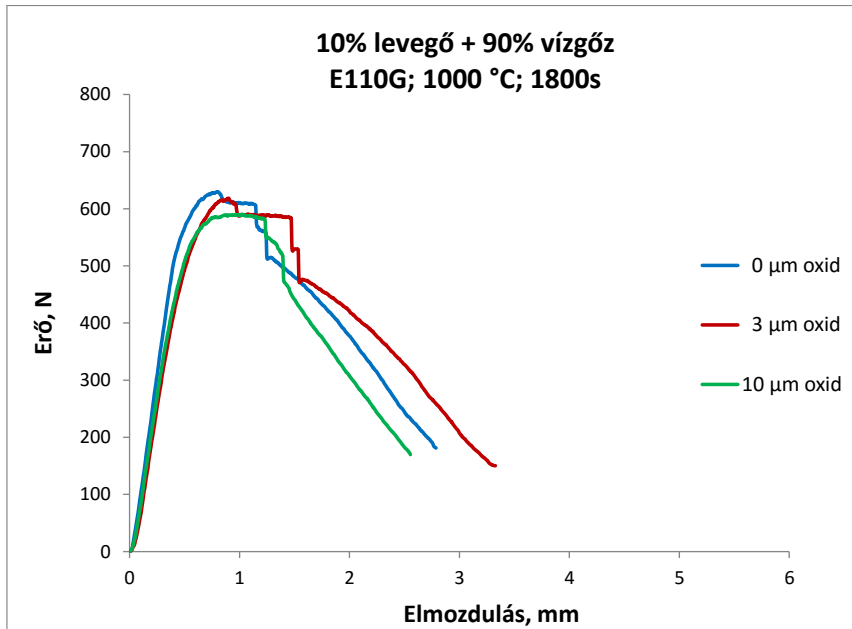
# Mechanikai vizsgálatok

## Előzetesen kialakult oxidréteg hatása

10% levegő tartalmú elegyben:  
Nincs számottevő különbség

100% levegőben: Kisebb oxidációs időknél nincs különbség. Hosszabb idejű oxidációkor az előoxidált minták képlékenyebbek maradnak

➔ oxidréteg védő szerepe



# Mechanikai vizsgálatok



Burkolat: E110  
Hőm: 1000 °C  
Atm: 100% levegő  
Előox: 3 μm

Nagymértékű oxidáció, deformáció!

➔ A gyűrűtörő vizsgálatoknak nincs értelme



# Összefoglalás

Levegőbetöréssel járó atomerőművi balesetek során bekövetkezhet a cirkónium fűtőelem burkolatok oxidációja és elridegedése.

A burkolat felületén – a levegős oxidációt megelőzően – kialakult oxidréteg hatással lehet a további oxidációra és a burkolat mechanikai tulajdonságaira.

Munkánk célja annak megállapítása volt, hogy a vízgőzös előoxidáció milyen hatást gyakorol az E110G burkolat levegős oxidációjának kinetikájára, ill. a burkolat képlékenységre.

Számos E110G (és néhány E110) minta előoxidációját, majd ezt követően magas hőmérsékletű levegős oxidációját hajtottuk végre. Az oxidált mintadarabokat gyűrőtörő vizsgálatoknak vetettük alá.



# Összefoglalás

## Megállapítások

- ❖ Az E110G és az E110 burkolatok levegős oxidációs kinetikája jelentősen különbözik egymástól.
- ❖ A burkolatok felületén előzetesen létrehozott (max. 10  $\mu\text{m}$ ), viszonylag egybefüggő oxidréteg gátolja a további levegős oxidációt.
- ❖ Az E110G ötvözet baleseti körülmények között képlékenyebb viselkedést mutat, mint az E110. Az előoxidált E110G minták hosszú idejű levegős oxidáció után is képlékenyek maradnak.
- ❖ A korábban kialakult védő oxidrétegnek a burkolat elridegedésére gyakorolt hatása kevésbé számottevő, mint a levegős oxidációra gyakorolt hatás.

Megállapítható, hogy a normál üzemeltetés alatt vagy egy levegőbetöréssel járó baleset kezdeti fázisában képződő oxidréteg – a vizsgált oxidréteg vastagságok esetében – gátolná az E110G burkolat degradációját. Azonban a levegőtartalmú atmoszféra baleseti körülmények között – még az oxidréteg védő hatása ellenére is – a cirkónium burkolat gyors oxidációjához és elridegedéséhez vezet.

Köszönöm a figyelmet!  
Thank you for your attention!



# E110G és E110 burkolatok kémiai összetétele

	Nb	Mg	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Hf	F**	Cl**
E110	10000	0.5	0.5	1	10	0.1	45	15	0.5	100	30	3
E110G	10000	1.5	10	35	30	5	500	15	5	10	10	1

