به نام خدا

مرکز دانلود رایگان
مهندسی متالورژی و مواد

---

www.Iran-mavad.com

متالورژی جوشکاری

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

تعریف و انواع جوشکاری ذوبی

- روشی است که در آن از طریق ذوب کردن فلز پایه اتصال برقرار

می گردد و به سه گروه عمده طبقه بندی می شود:

- جوشکاری گاز
- جوشکاری قوسی
- جوشکاری با پرتو پر انرژی

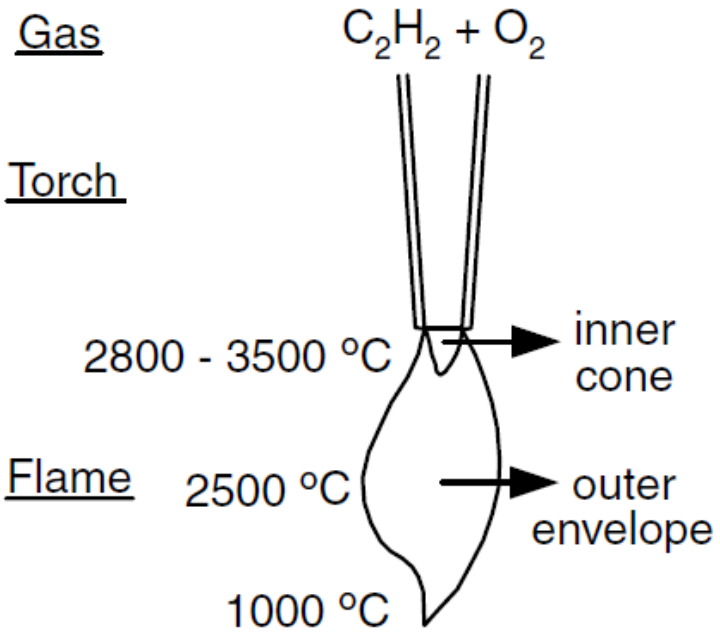
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

جوشکاری با گاز

- جوشکاری اکسی استیلن
  - در این فرایند ذوب فلز و فرایند جوشکاری از طریق حرارت تولید شده از واکنش یک گاز با اکسیژن انجام می شود.
  - پر مصرف ترین گاز در فرایندهای جوشکاری با گاز اکسی استیلن می باشد.
  - شعله اکسی استلین می تواند بصورت اسیدی، خنثی و احیایی باشد.
  - می توان از یک فلاکس یا کمک ذوب جهت جلوگیری از اکسیداسیون سطحی استفاده کرد.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

شماتیک شعله و واکنش های آن



Primary combustion in inner cone (2/3 total heat) :

$2C_2H_2 + 2O_2$ (from cylinder) $\rightarrow 4CO + 2H_2$

Secondary combustion in outer envelope (1/3 total heat) :

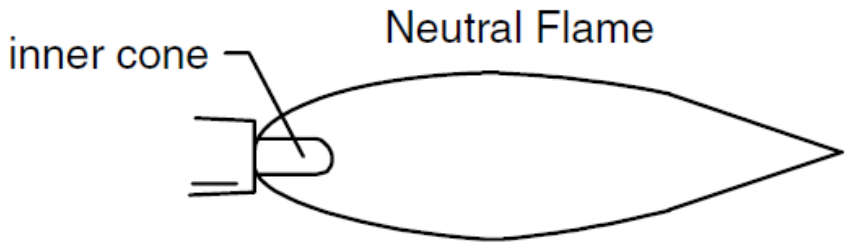
$4CO + 2O_2$ (from air) $\rightarrow 4CO_2$

$2H_2 + O_2$ (from air) $\rightarrow 2H_2O$

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

شعله خنثی

- زمانیکه نسبت اکسیژن با گازی استیلن (C_2H_2) برابر باشد، شعله خنثی است.
- شعله از یک مخروط بزرگ بیرونی و یک مخروط کوچک درونی تشکیل شده است.

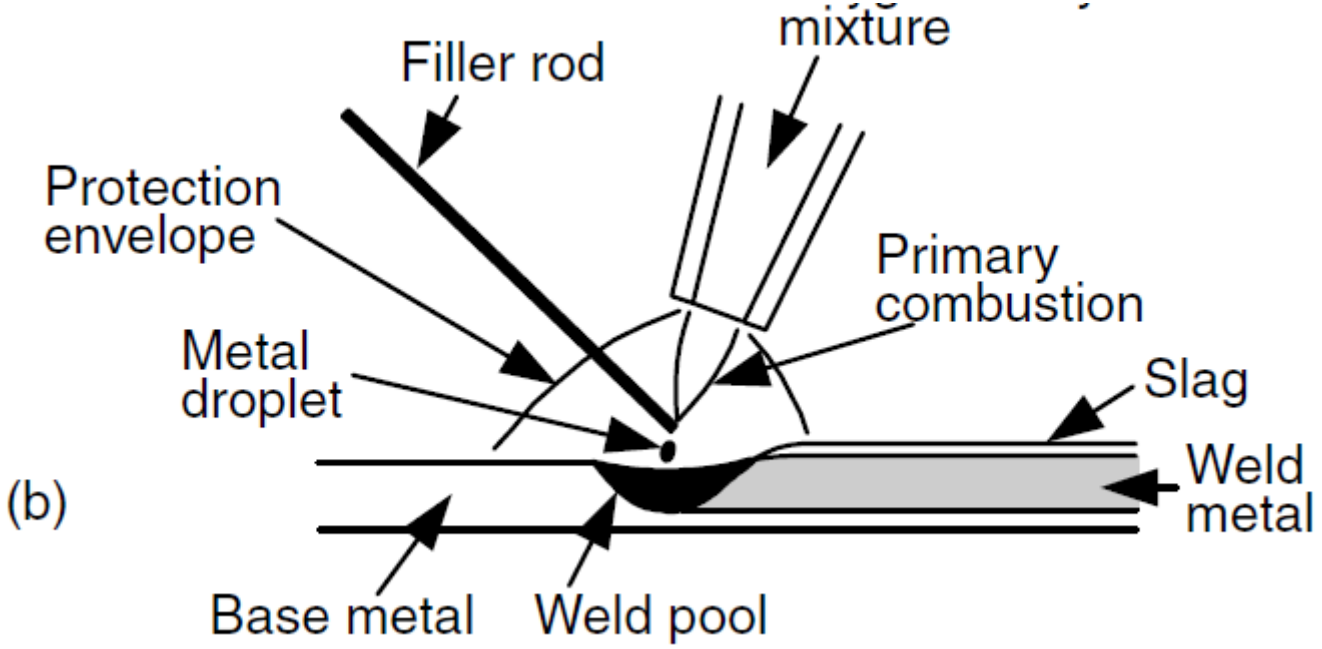


- دوسوم انرژی جوشکاری از واکنش گاز با اکسیژن تامین می شود.
- یک سوم مابقی از تشکیل CO_2 و H_2O تولید می شود.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

منطقه حفاظت

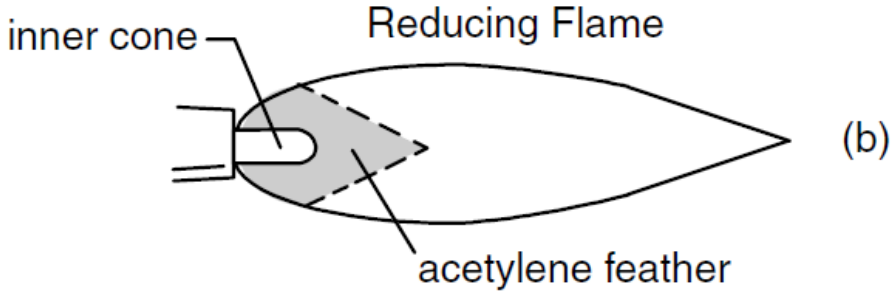
- در این منطقه گاز CO و H2 که از احتراق اول بوجود آمده اند روی سطح قرار گرفته و با جذب اکسیژن از سطح حفاظت می کنند.



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

شعله احیایی

- زمانیکه نسبت استلین از اکسیژن بیشتر باشد شعله احیایی خواهد بود.
- ویژگی این شعله آنست که بین منطقه مخروطی اول شعله و منطقه حفاظت، محدوده ای سبز رنگ دیده می شود.

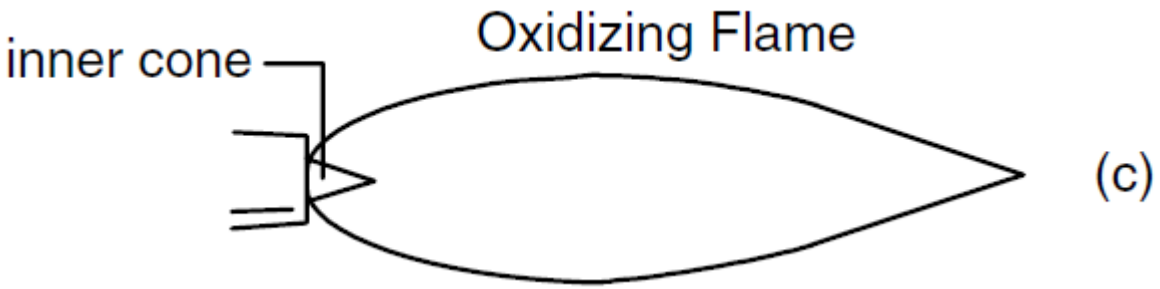


- از شعله احیایی برای جوشکاری آلیاژهای آلومینیوم و یا فولاد با کربن بالا استفاده می گردد.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

شعله اکسیدی

- نسبت بیشتر اکسیژن به استیلن شعله اکسیدی را ایجاد خواهد کرد.
- در مرکز شعله (مخروط داخلی) رنگ شعله سفید رنگ است.
- برای جوشکاری برنج از این شعله استفاده می گردد.



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

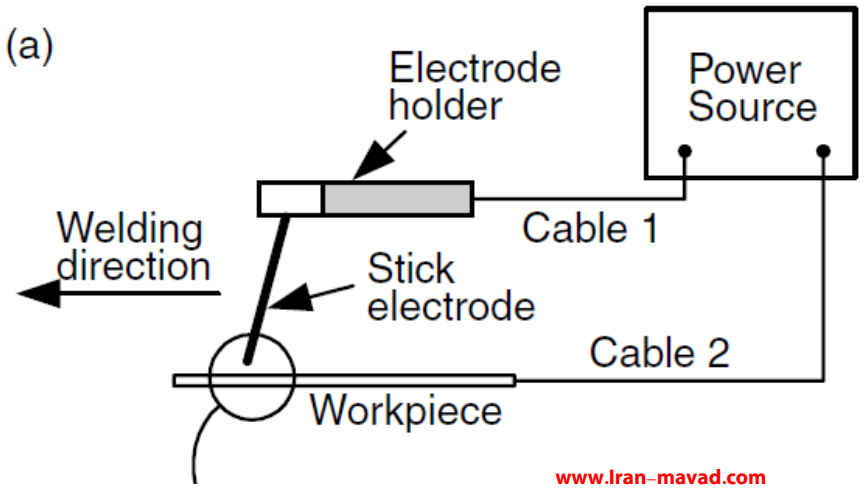
مزایا و معایب

- ارزان بودن
- قابل حمل بودن
- آسانی انجام عملیات
- ورودی حرارت بالا
- سرعت پایین جوشکاری
- برای جوشکاری فلزات فعال مانند تیتانیوم و زیرکونیم توصیه نمی شود (بدلیل حفاظت محدود)

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

جوشکاری با الکترود دستی (SMAW)

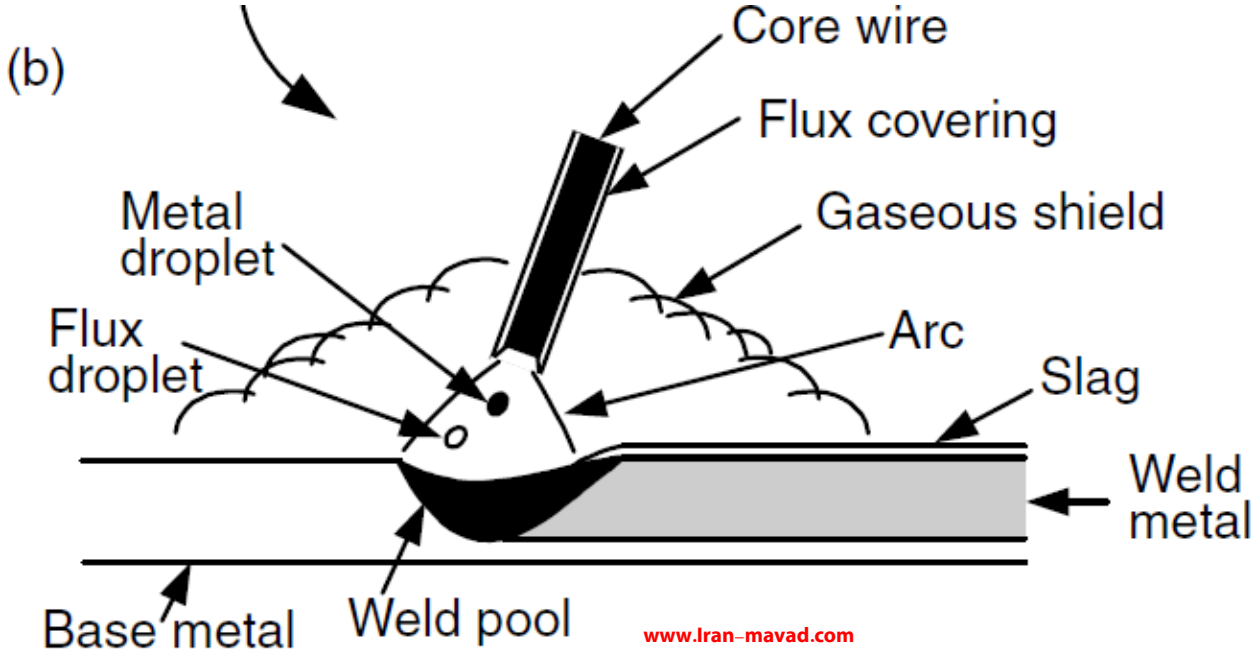
- جوشکاری از طریق ذوب فلز با استفاده از قوس بوجود آمده بین یک الکترود غلاف دار و فلز پایه انجام می شود.
- در این روش جوشکاری فلز پایه به یک ورودی منبع تغذیه و الکترود دستی به ورودی دیگر متصل می شود.



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

جوشکاری الکترود دستی

- مذاب قسمت فلزی الکترود وارد حوضچه شده و جوش را می سازد در حالیکه مذاب فلاکس بیرونی سبک بوده و روی حوضچه را با سرباره می پوشاند و آن را حفاظت می کند.



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

کارکرد غلاف الکترود

- حفاظت

- ایجاد یک سپر گاز بر روی حوضچه از طریق سوختن مواد آلی مانند سلولز $(C_6H_{10}O_5)_x$ در الکترودهای سلولزی.
- در الکترودهای آهکی سپر حرارتی از گاز CO_2 تشکیل شده و به این ترتیب از آن ها با عنوان الکترودهای کم هیدروژن یاد می شود.
- الکترودهای کم هیدروژن برای جوشکاری فلزات با استحکام بالا که ترک هیدروژنی حساس هستند مناسب است.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

کارکرد غلاف الکترود

- احیا

- با افزودن مواد احیا کننده و یا عوامل فلاکس به کاهش میزان اکسیداسیون و تمیز شدن سطح کمک می کند.
- وجود سرباره بر روی منطقه جوش به کاهش میزان اکسیداسیون پس از انجام جوشکاری نیز منجر می شود.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

کارکرد غلاف

- تثبیت کننده قوس
  - با افزودن موادی چون اکسالات پتاسیم و یا کربنات لیتیم به غلاف جوش این مواد تجزیه شده و هدایت پلاسمای قوس را افزایش می دهند.
- عناصر آلیاژی/ پودر فلز
  - به منظور تغییر ترکیب و آلیاژسازی
  - افزایش حجم جوشکاری

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

مزایا و معایب

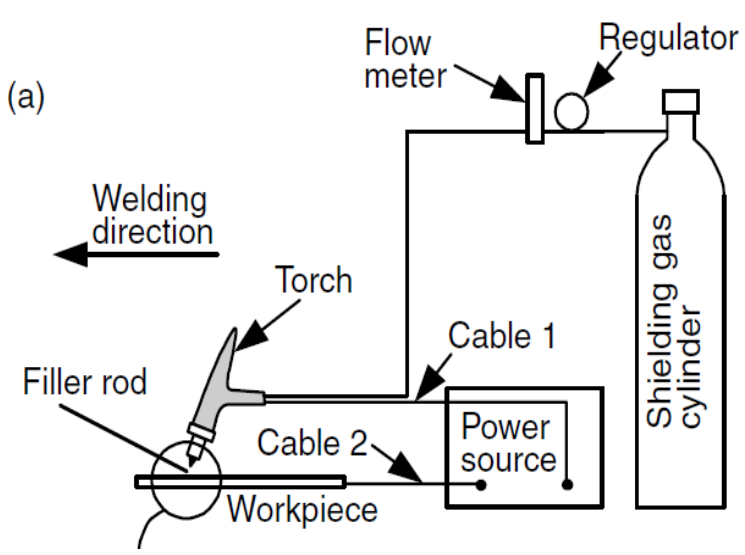
- ارزان بودن
- قابل حمل بودن
- آسانی انجام عملیات

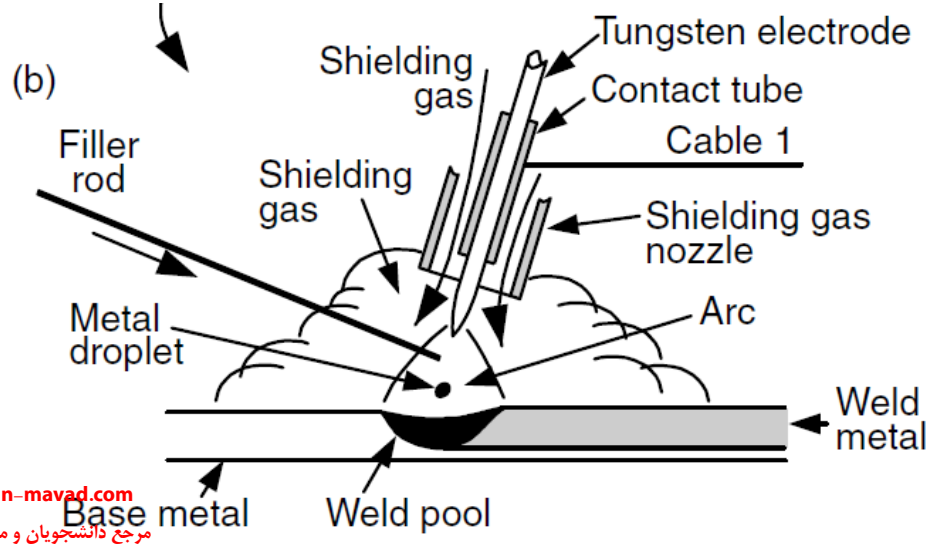
- گاز محافظ برای جوشکاری فلزات فعال مانند آلومینیوم یا تیتانیوم
- نرخ جوشکاری محدود است زیرا با افزایش حرارت الکترود غلاف جدا می شود.
- به دلیل طول محدود الکترود نیاز به تعویض وجود دارد که سرعت جوشکاری را کاهش می دهد.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

جوشکاری گاز- تنگستن (TIG)

- جوشکاری از طریق ذوب فلز با استفاده از یک قوس مابین الکترود تنگستن (غیر مصرفی) و فلز پایه صورت می گیرد.
- گاز خنثی از طریق نازل بر روی حوضچه مذاب دمیده می شود.
- گاهی نیز گاز غیر خنثی به سیستم تزریق می شود.





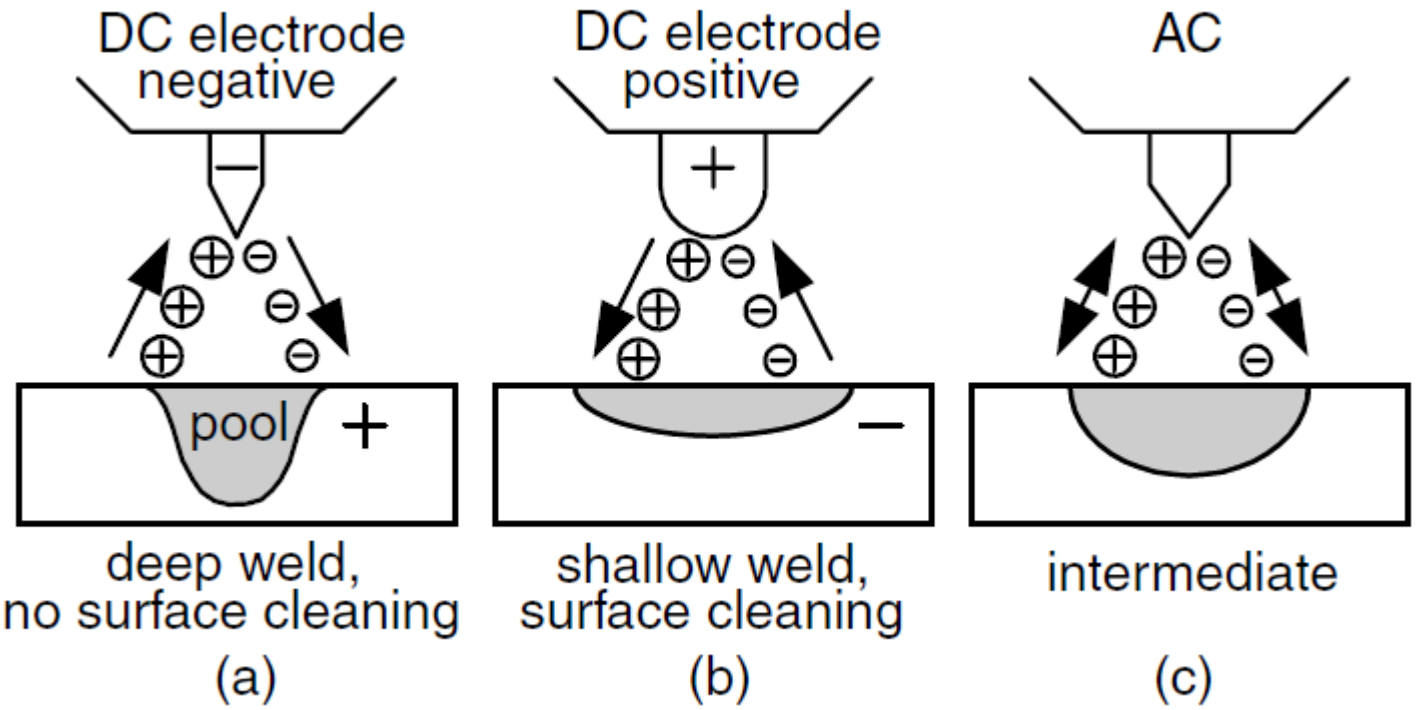
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

جوشکاری گاز- تنگستن (TIG)

- قطبیت
  - قطب منفی -> عمق نفوذ در این حالت بیشتر است
  - قطب مثبت -> انرژی کمتر بر روی قطعه تمرکز دارد و حوضچه کم عمق است./ قطر الکترود باید بزرگ تر باشد تا ذوب نگردد. / بدلیل حرکت یون های مثبت به سمت سطح فلز لایه های اکسیدی بر داشته می شوند./ برای جوشکاری ورق های نازک منیزیم و آلومینیوم مناسب است.
  - جریان متناوب -> برای جوشکاری آلومینیوم بیشتر استفاده می شود و حسن هر دو روش را با هم دارد.

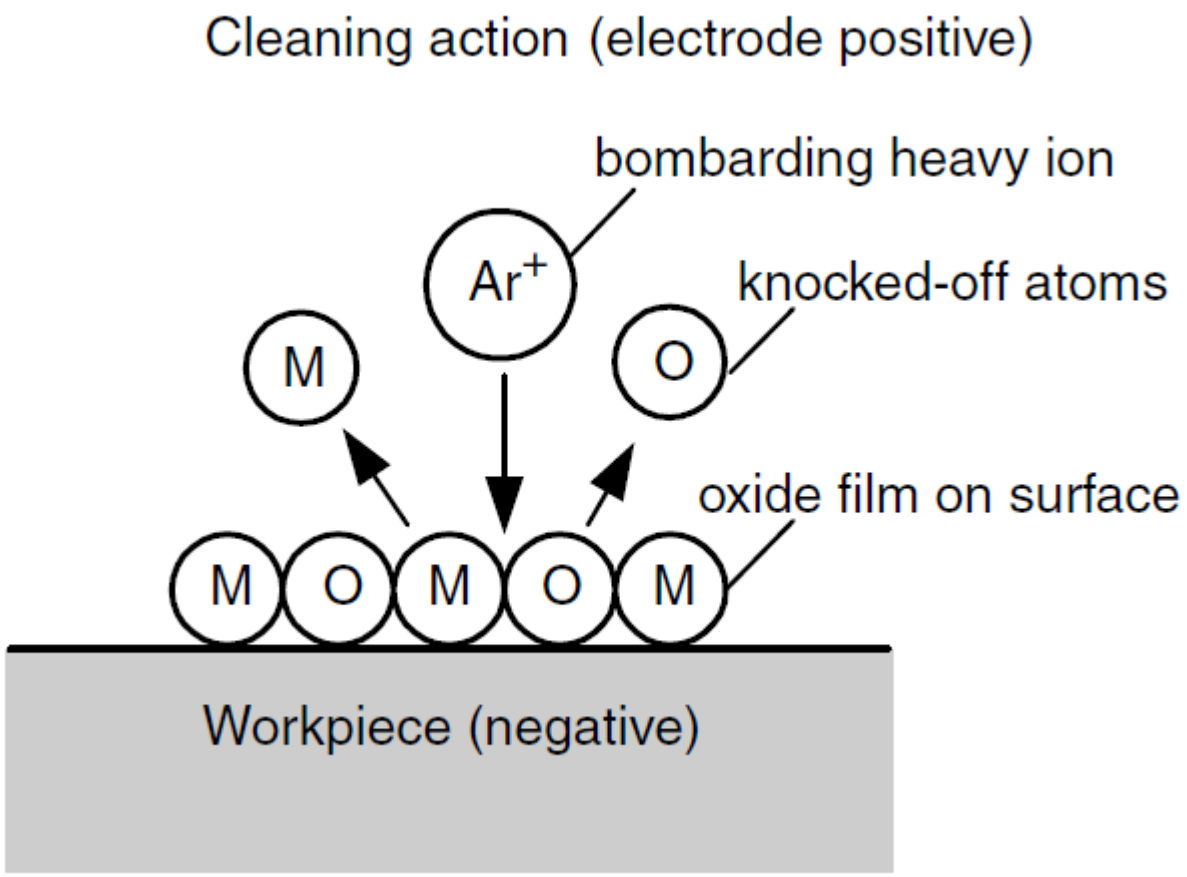
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

اثر قطبیت بر کیفیت جوش



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

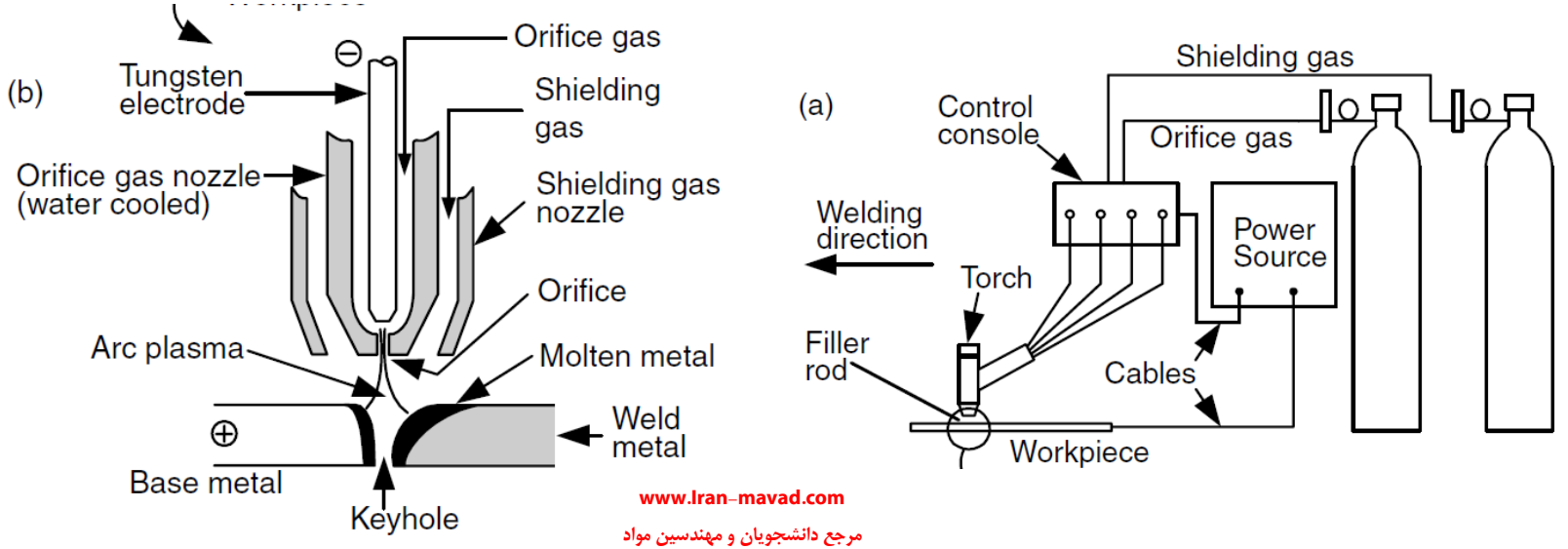
اثر اکسید زدایی یون آرگون



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

جوشکاری قوس پلاسما

- نوعی روش جوشکاری است که ذوب فلز از طریق یک قوس متمرکز بین الکترود تنگستن وفلز صورت می گیرد.
- دو خروجی گاز در این نوع جوشکاری وجود دارد.
- معمولا از قطب منفی برای جوشکاری استفاده می شود.



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

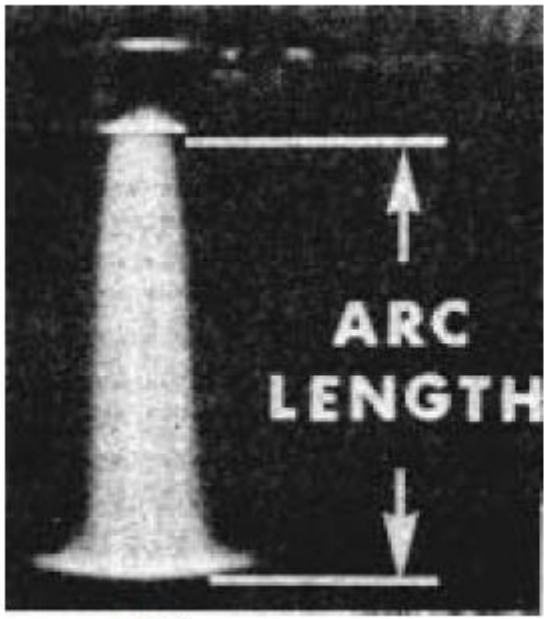
گازهای محافظ و خواص آنها

TABLE 1.2 Properties of Shielding Gases Used for Welding

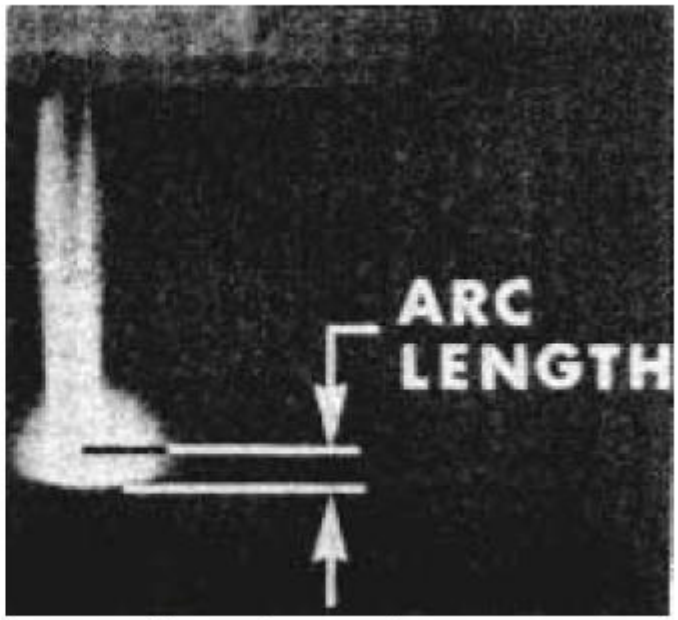
Gas	Chemical Symbol	Molecular Weight (g/mol)	Specific Gravity with Respect to Air at 1 atm and 0°C	Density (g/L)	Ionization Potential (eV)
Argon	Ar	39.95	1.38	1.784	15.7
Carbon dioxide	CO_2	44.01	1.53	1.978	14.4
Helium	He	4.00	0.1368	0.178	24.5
Hydrogen	H_2	2.016	0.0695	0.090	13.5
Nitrogen	N_2	28.01	0.967	1.25	14.5
Oxygen	O_2	32.00	1.105	1.43	13.2

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

جوشکاری قوس پلاسما



Plasma arc



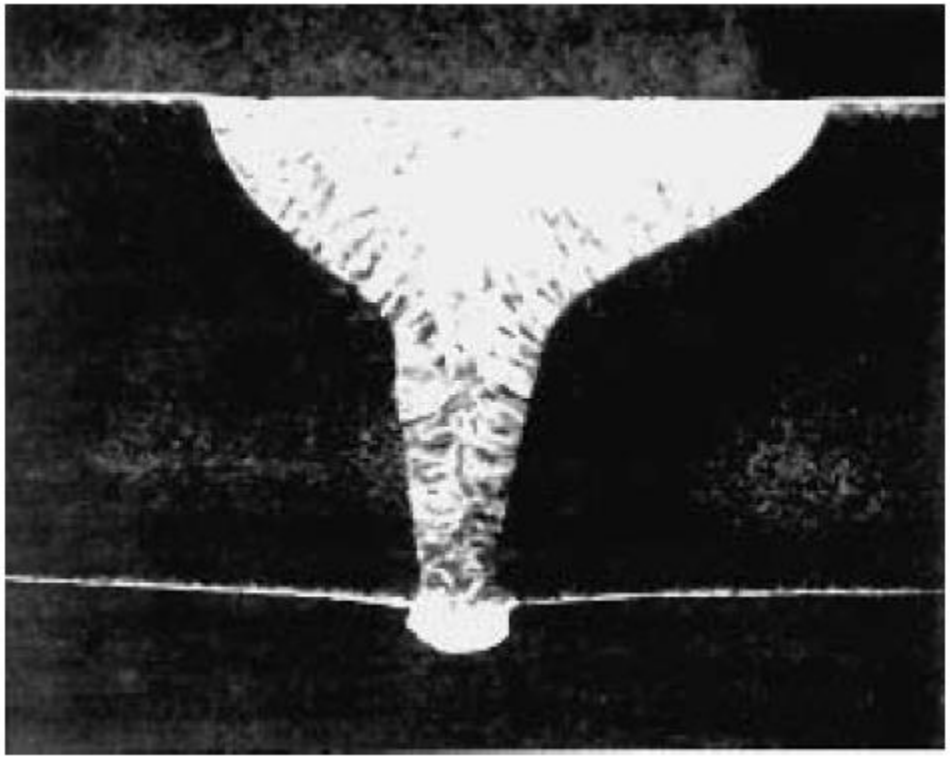
Gas tungsten arc

افزایش منطقه قوس با افزایش طول قوس در جوشکاری پلاسما اندک است

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

Keyhole

- سرعت بالای جوشکاری نسبت به جوشکاری با گاز (GTAW)



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

مزایا و معایب جوشکاری قوس پلاسما

- عدم نیاز به مهارت بالای جوشکار بدلیل ثبات قوس
- عدم احتمال برخورد الکترود تنگستن با فلز پایه و ایجاد آلودگی
- سرعت بالای جوشکاری
- قیمت بالای دستگاه
- متغیرهای زیاد تنظیم فرایند جوشکاری

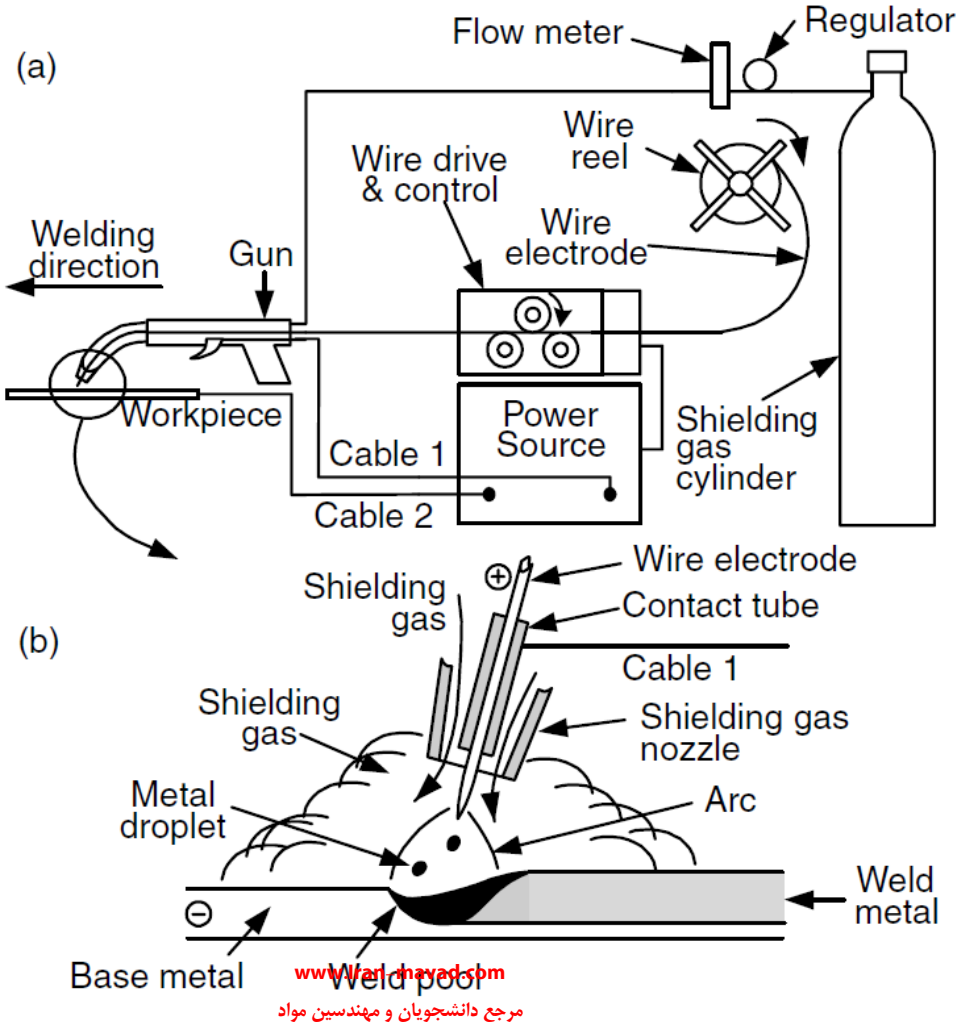
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

جوشکاری قوس گاز (GMAW)

- در این فرایند جوشکاری ذوب فلز از طریق برقراری قوس بین یک سیم که بطور پیوسته به سیستم وارد می شود و فلز پایه انجام می شود.
- برای حفاظت حوضچه معمولا از یک گاز خنثی مثل آرگون/هلیوم استفاده می گردد. به این ترتیب این روش جوشکاری MIG خوانده می شود.
- بعضا از یک گاز فعال مانند CO_2 در این فرایند جوشکاری نیز استفاده می شود (MAG).
- پر کاربردترین روش در جوشکاری آلیاژهای آلومینیوم می باشد.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

جوشکاری قوس گاز (GMAW)



www.Varjavand.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

پایان

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

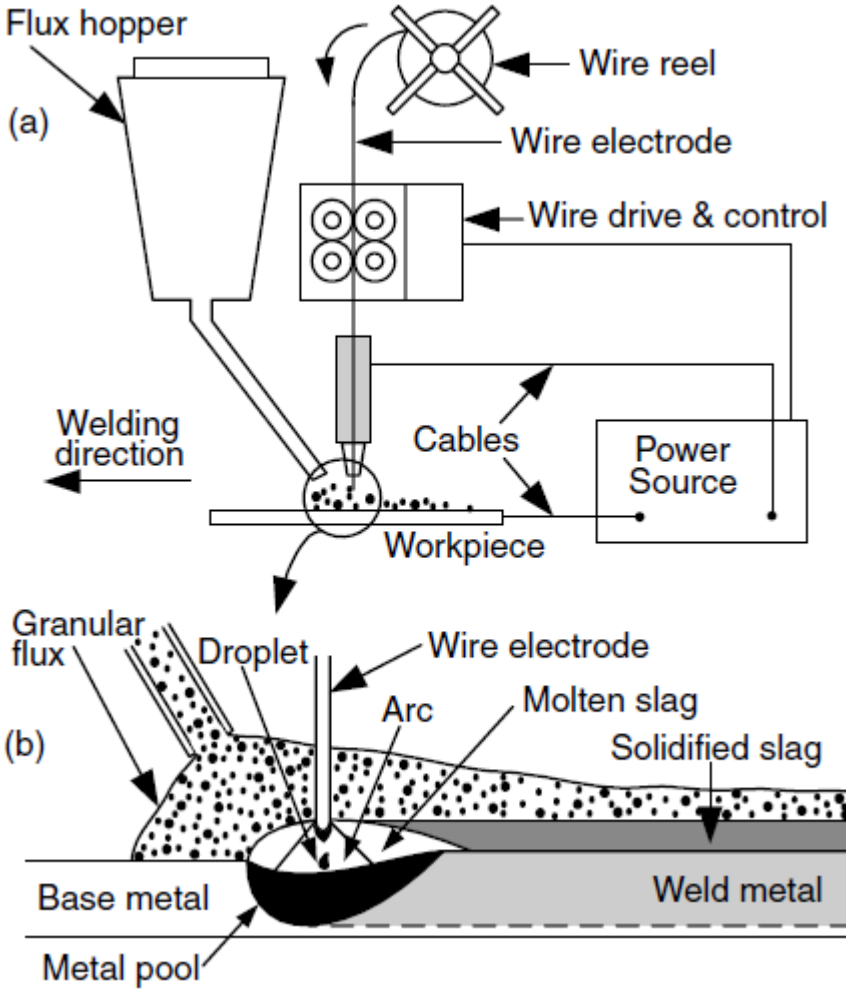
متالورژی جوشکاری

جلسه دوم

انتقال و توزیع حرارت

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

جوشکاری زیر پودری (SAW)



- جوشکاری بوسیله الکترود مصرفی
- حفاظت از حوضچه بوسیله سرباره و فلاکس گرانوله
- از هیچ گاز محافظی استفاده نمی شود.
- DCEP جریان های پایین
- DCAC در جریان های بالا

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

مزایا و معایب SAW

- مزایا
  - جوش تمیز
  - پودر فلز و آلیاژ سازها به پودر گرانول اضافه می شود.
  - استفاده از دو یا چند الکترود
  - نفوذ بالا (جوش خطوط لوله)
- محدودیت هندسی جوشکاری

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

انتقال حرارت

- انتقال حرارت بر
  - تنش پسماند و تابیدگی
  - تبدیلات فازی و در نهایت ریزساختار تاثیرگذار است.

- بازدهی انتقال حرارت
  - مقداری از گرما به قطعه منتقل شده و مابقی جذب محیط می گردد.

$$\eta = \frac{Qt_{\text{weld}}}{Q_{\text{nominal}}t_{\text{weld}}} = \frac{Q}{Q_{\text{nominal}}} \longrightarrow \eta = \frac{Qt_{\text{weld}}}{EIt_{\text{weld}}} = \frac{Q}{EI}$$

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

حرارت ورودی

- $Q_{nominal} = E \times I$ <- حرارت ورودی
- $Q_{nominal} = (E \times I) / V$
- E پتانسیل جوشکاری، I جریان جوشکاری و V سرعت جوشکاری می باشد.

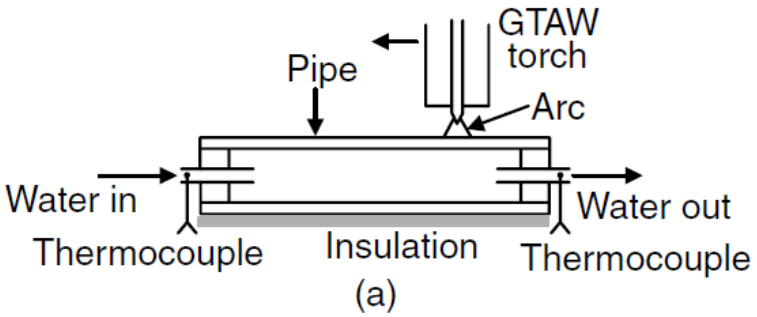
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

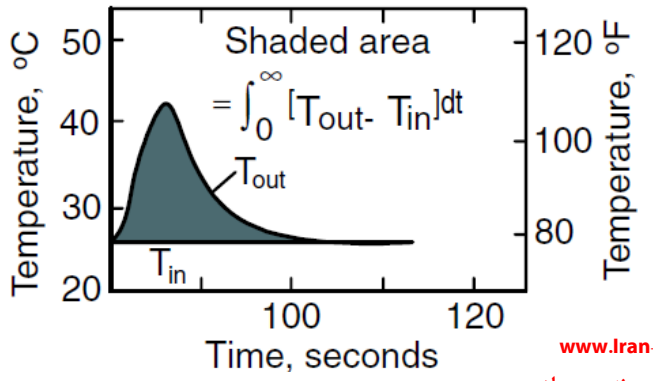
اندازه گیری بازدهی (روش کو)

- بازدهی حرارتی روش جوشکاری بوسیله کالوریممتر انجام می گیرد:

$$Qt_{\text{weld}} = \int_0^{\infty} WC(T_{\text{out}} - T_{\text{in}})\,dt \approx WC\int_0^{\infty}(T_{\text{out}} - T_{\text{in}})dt$$

- W نرخ جرم ورودی آب
- C گرمای مخصوص آب



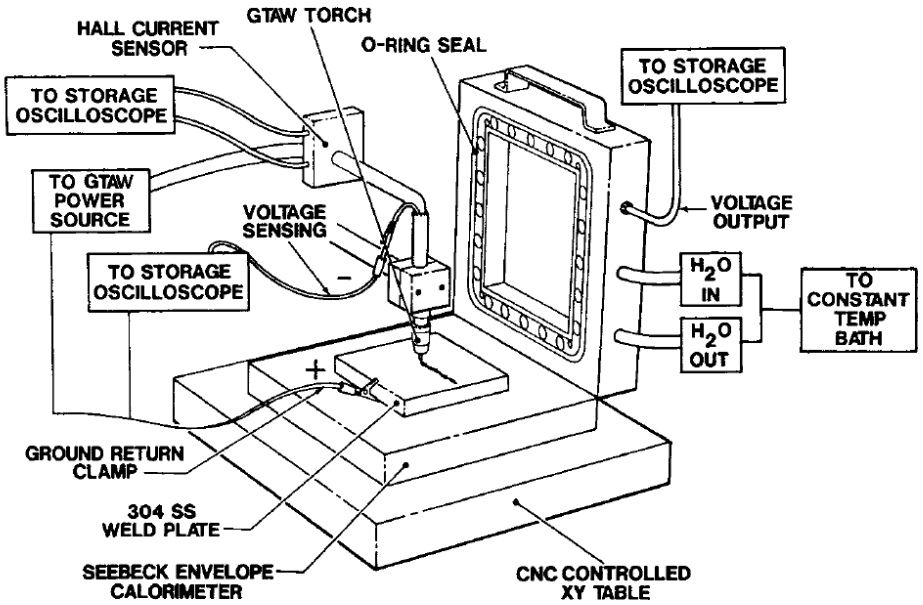


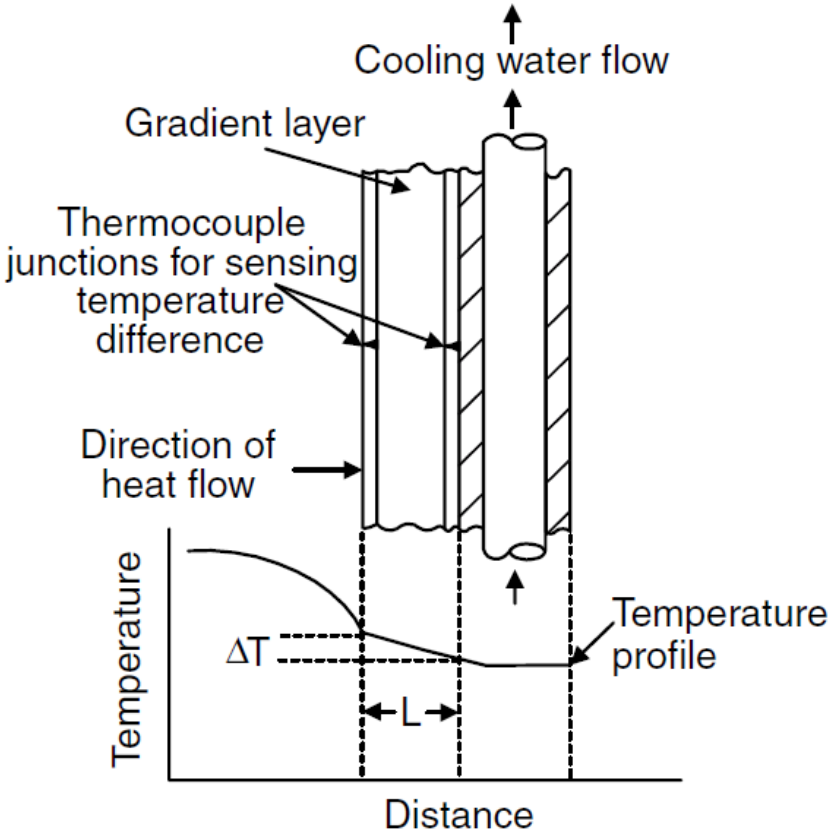
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

اندازه گیری بازدهی (روش سیبک)

- K هدایت حرارتی، dT/L شیب حرارتی و A مساحت نمونه

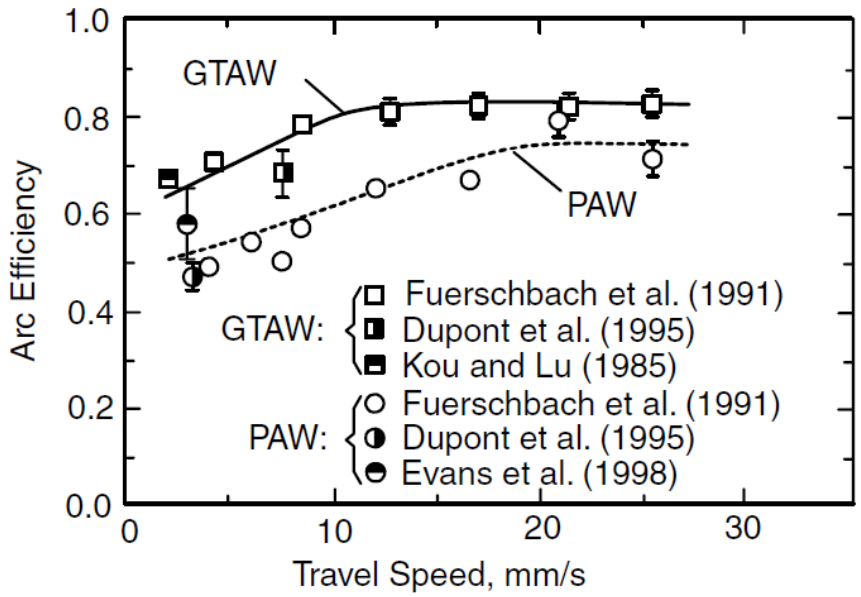
$$Qt_{\text{weld}} = A\int_0^{\infty} k\frac{\Delta T}{L}\,dt$$

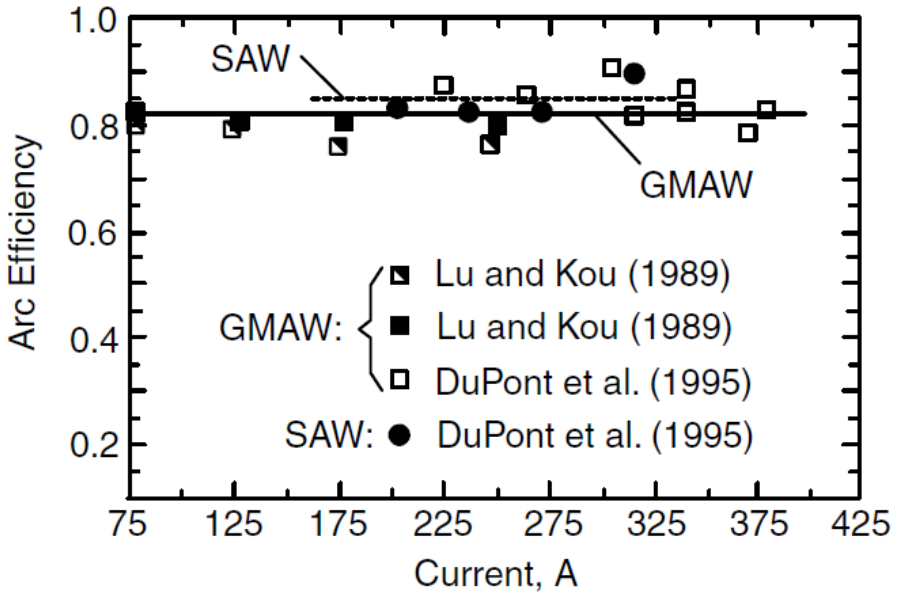




www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

مقایسه بازدهی روش های مختلف

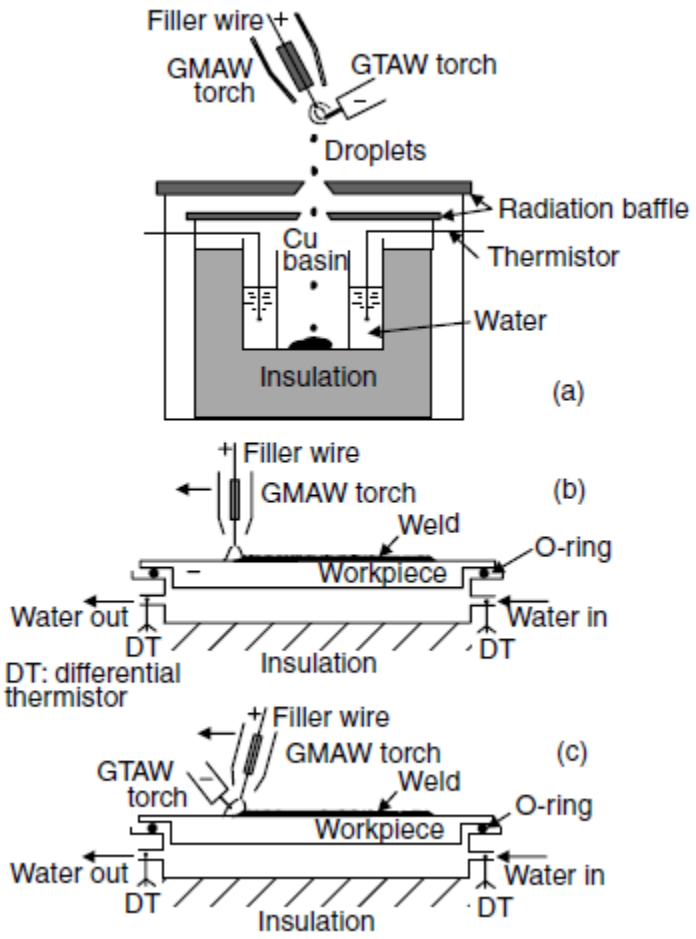


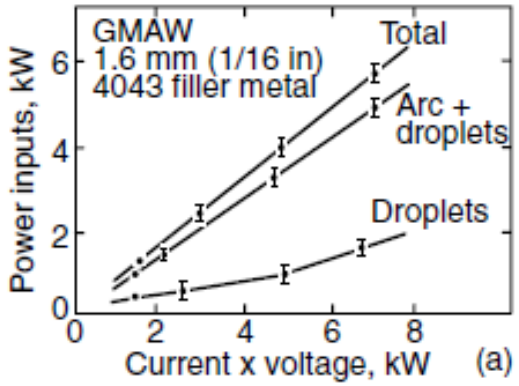


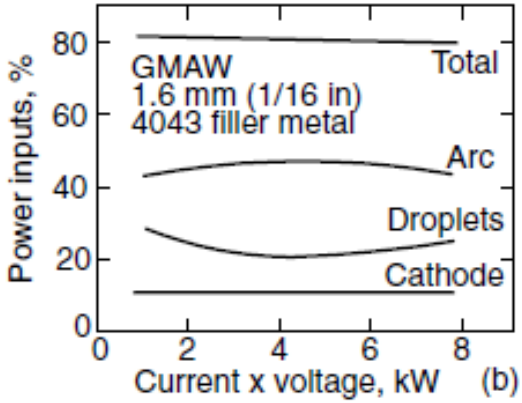
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

منابع حرارتی در جوشکاری MIG

- قطرات مذاب (۲۵٪)
- توسط قوس الکتریکی (۴۵٪)
- کاتد (۱۰٪)



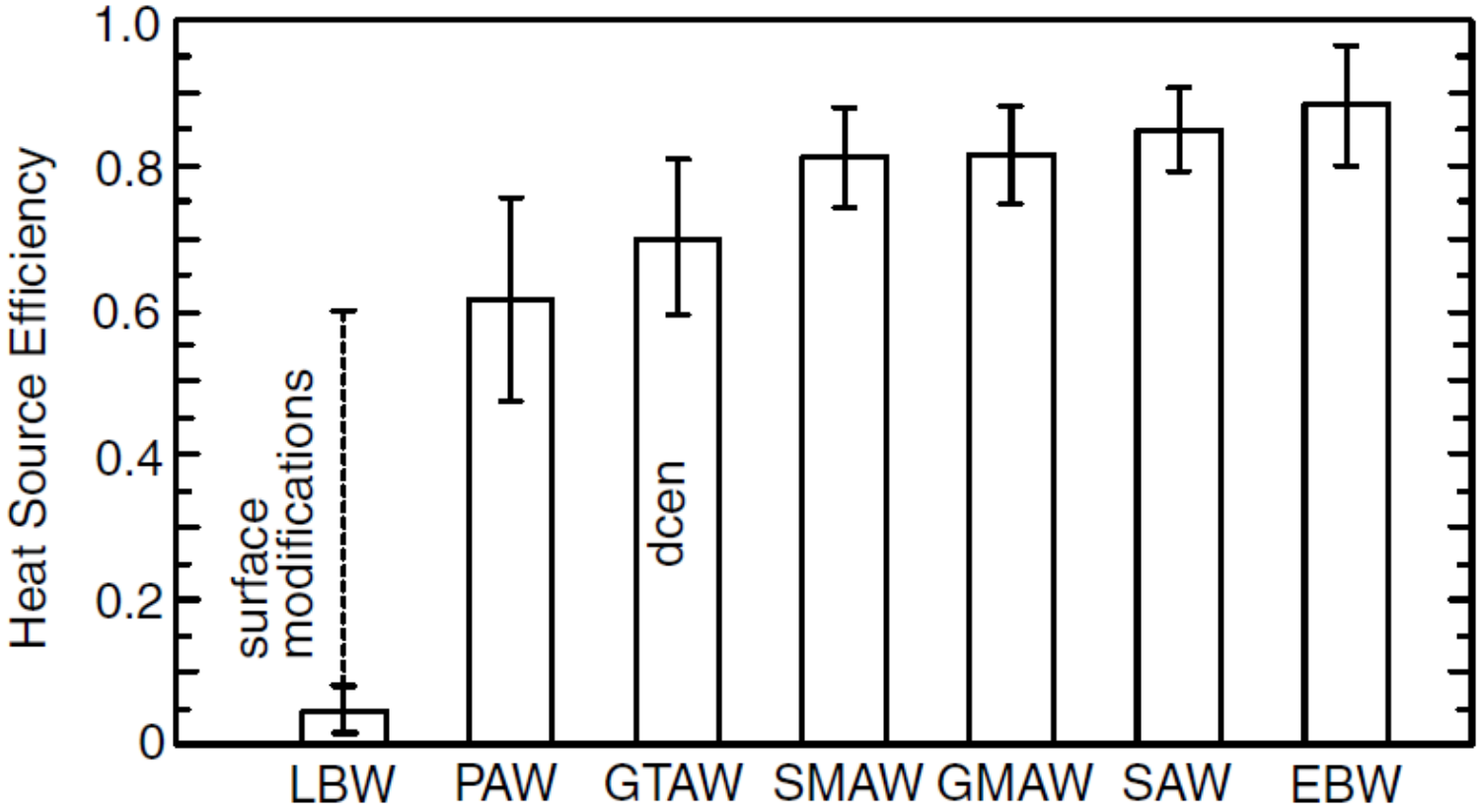




www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

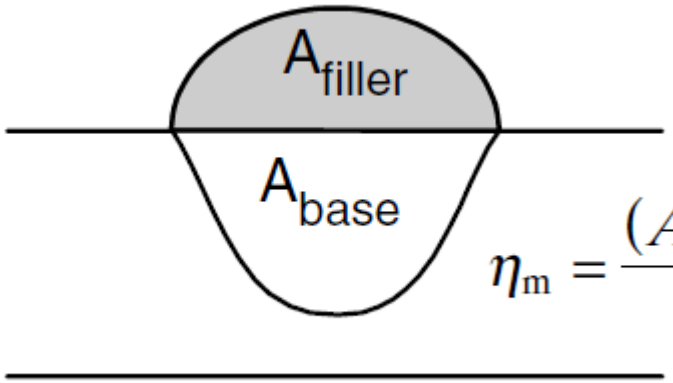
مقایسه بازدهی روش های مختلف

- چرا ؟؟؟؟

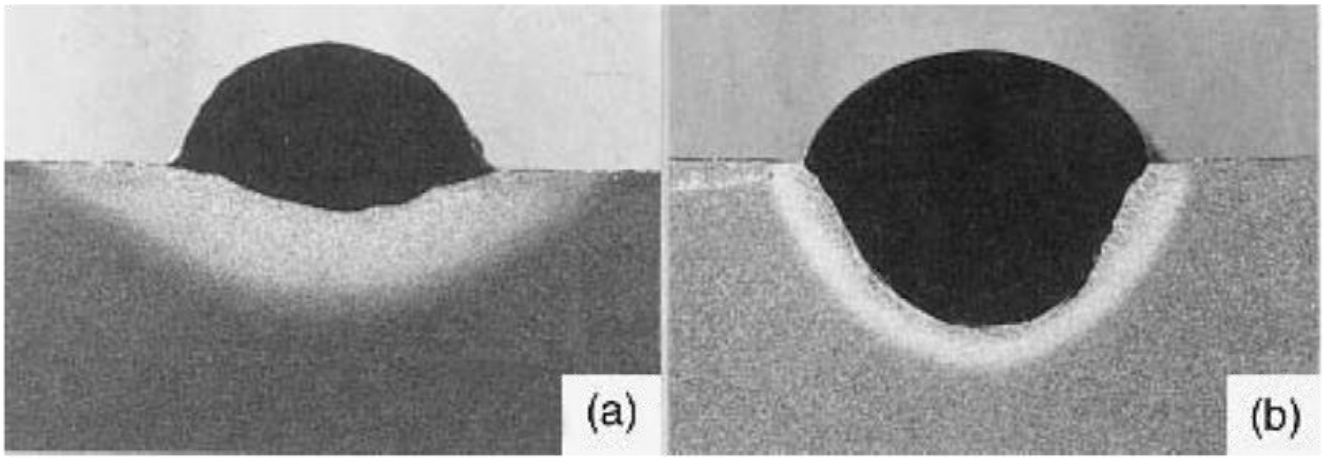


www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

بازدهی ذوب در جوشکاری



$$\eta_m = \frac{(A_{base} V t_{weld}) H_{base} + (A_{filler} V t_{weld}) H_{filler}}{\eta E I t_{weld}}$$

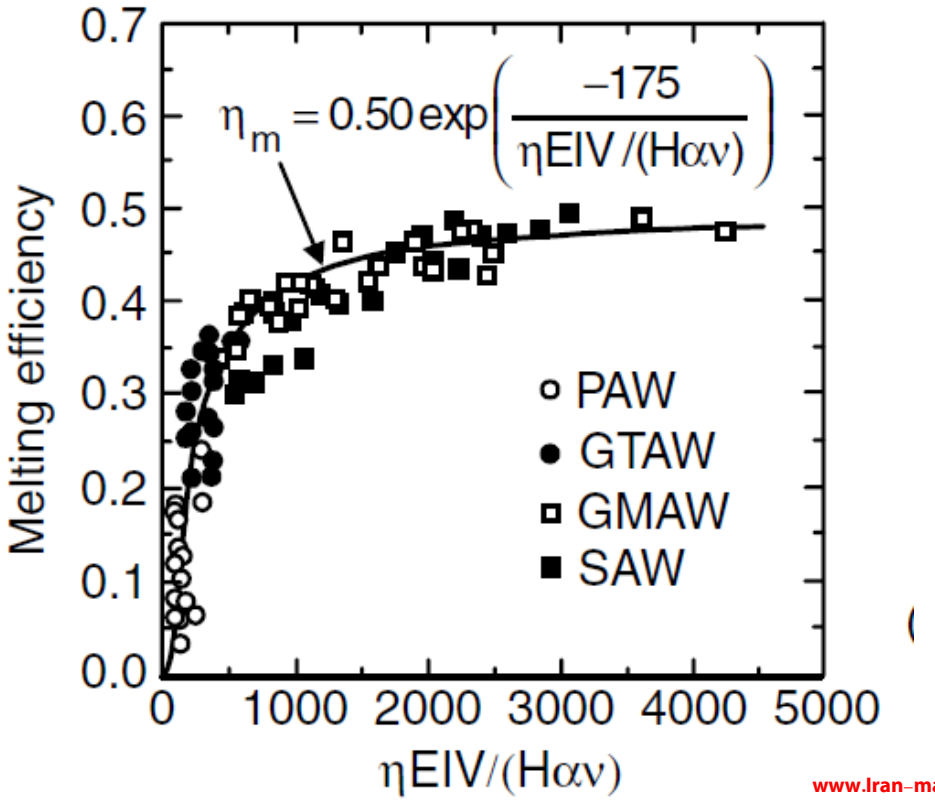


EI/V constant

www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

تغییرات بازدهی ذوب با حرارت ورودی

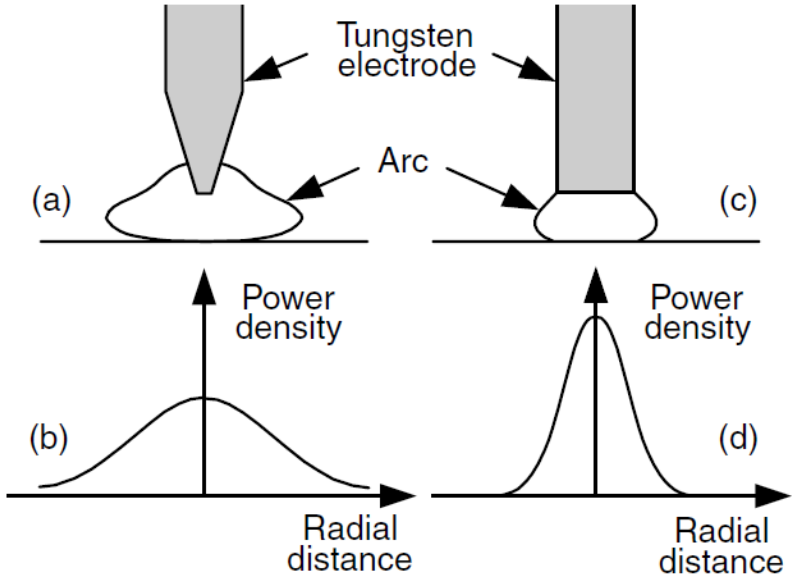
- سرعت بالاتر جوش و حرارت ورودی بالاتر بازدهی ذوب را افزایش می دهد.
- رابطه فورش باخ و کنوورسکی
- سرعت بهمراه انرژی ورودی
- وجود گوگرد در ساختار به افزایش نفوذ منجر میشود.

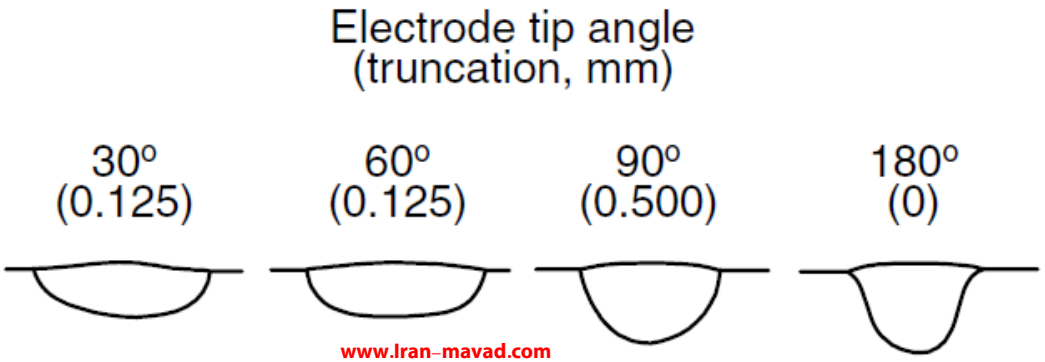


$$\eta_m = A \exp\left(\frac{-B}{\eta EIV / H\alpha\nu}\right)$$

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

زاویه الکترود و دانسیته انرژی در TIG





www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

معادله روزنتال و کاربرد آن

- سوال:

در جوشکاری ورقی با روش TIG از جریان ۲۰۰ A، پتانسیل ۱۰ V و سرعت mm/s ۲ استفاده می شود. نرخ سرد شدن را در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد در دو حالت بدون پیشگرم و با پیشگرم ۲۵۰ درجه محاسبه نمایید.

$$y = z = 0 \qquad \text{and} \qquad R = x$$

$$T - T_0 = \frac{Q}{2\pi k x}$$

$$\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_t = \frac{Q}{2\pi x}\frac{-1}{x^2} = -2\pi k \frac{(T - T_0)^2}{Q}$$

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

تاثیر پیشگرم بر کاهش نرخ سرد شدن

$$\left(\frac{\partial x}{\partial t}\right)_T = V$$

$$\boxed{\left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)_x = \left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_t \left(\frac{\partial x}{\partial t}\right)_T = -2\pi k V \frac{(T - T_0)^2}{Q}}$$

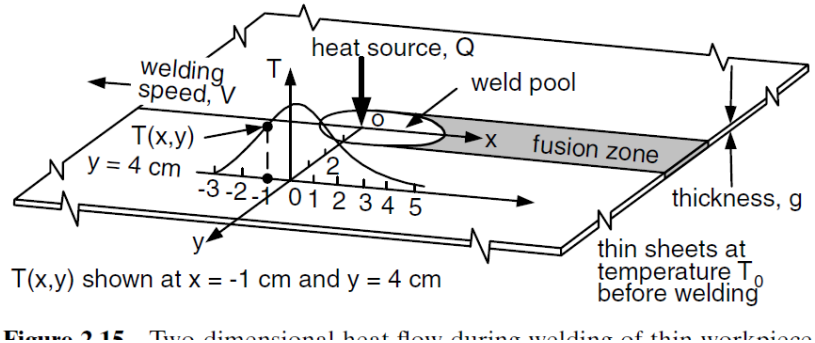
$$\left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)_x = (-2\pi \times 35\ \mathrm{W/m\,^\circ C} \times 2 \times 10^{-3}\ \mathrm{m/s}) \frac{(500^\circ\mathrm{C} - 25^\circ\mathrm{C})^2}{0.7 \times 200\ \mathrm{A} \times 10\ \mathrm{V}} = 71^\circ\mathrm{C/s}$$

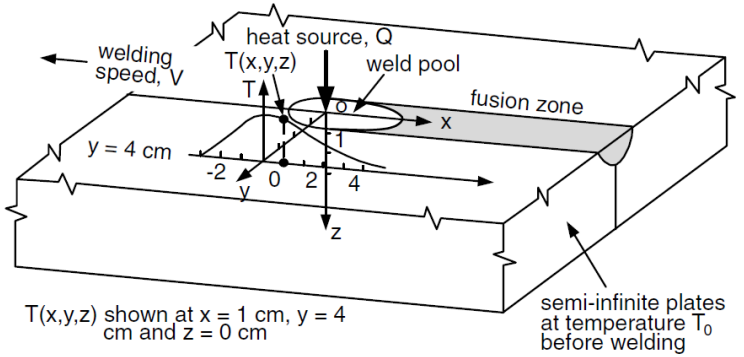
$$\left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)_x = (-2\pi \times 35\ \mathrm{W/m\,^\circ C} \times 2 \times 10^{-3}\ \mathrm{m/s}) \frac{(500^\circ\mathrm{C} - 250^\circ\mathrm{C})^2}{0.7 \times 200\ \mathrm{A} \times 10\ \mathrm{V}} = 20^\circ\mathrm{C/s}$$

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

معادله روزنتال

- محاسبه توزیع حرارت بر حسب فاصله از منطقه ذوب در جوش
  - دوبعدی (ورق های نازک)
  - سه بعدی (ورق های ضخیم)





$$\frac{2\pi(T-T_0)kg}{Q} = \exp\left(\frac{Vx}{2\alpha}\right)K_0\left(\frac{Vr}{2\alpha}\right)$$

$$\frac{2\pi(T-T_0)kR}{Q} = \exp\left[\frac{-V(R-x)}{2\alpha}\right]$$

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

متالورژی جوش

جلسه سوم

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

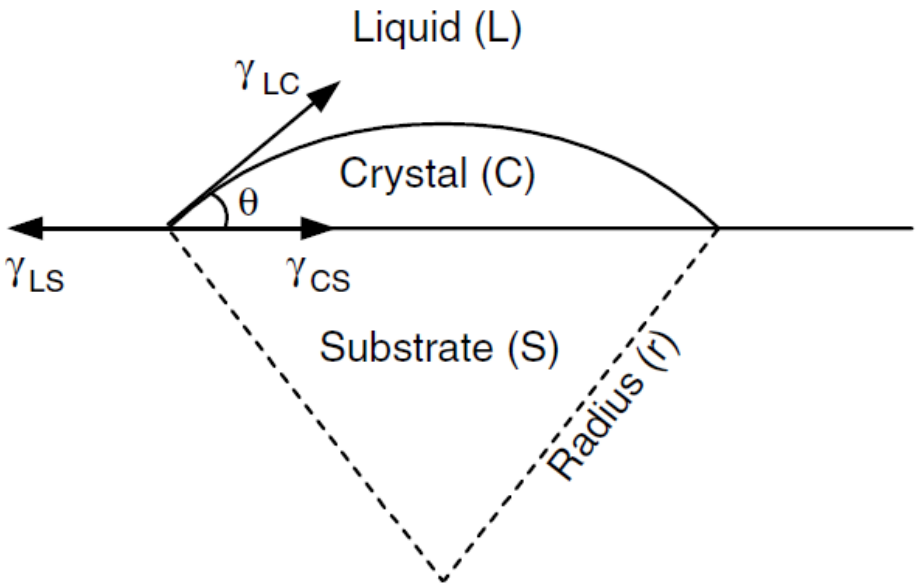
مناطق مختلف در ریزساختار جوش

- منطقه ذوب شده (Fusion Zone)
- منطقه نیمه ذوب (Partially Melted Zone)
- منطقه تحت تاثیر حرارت (Heat Affected Zone)

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

رشد اپی تکسیال

- میزان انرژی جوانه زنی غیر همگن



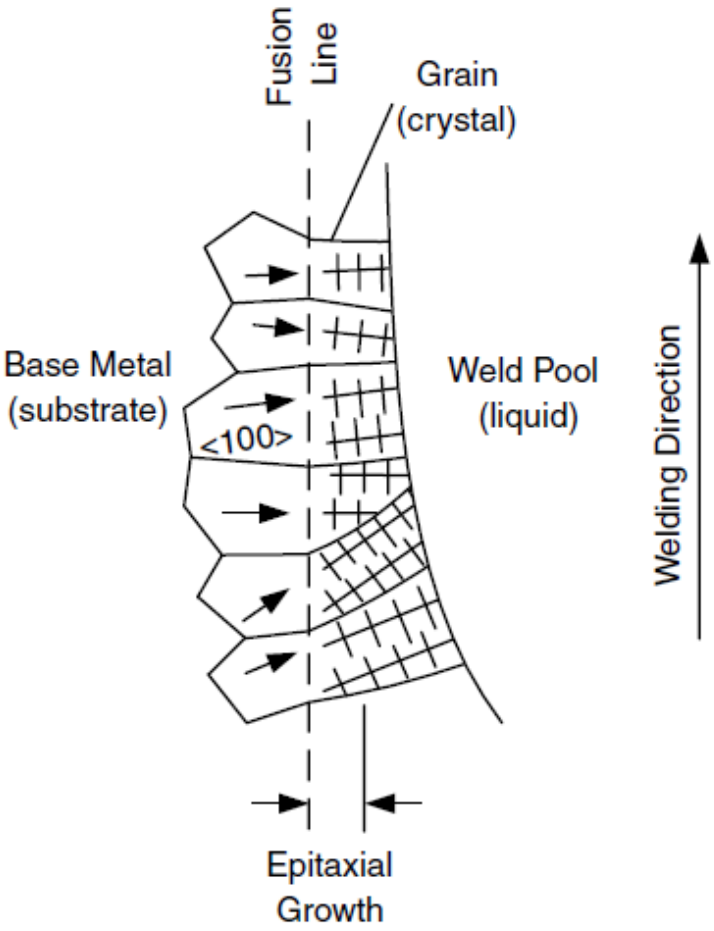
- گاما میزان انرژی سطحی
- θ زاویه بین مذاب و سطح
- اگر θ=0 باشد !

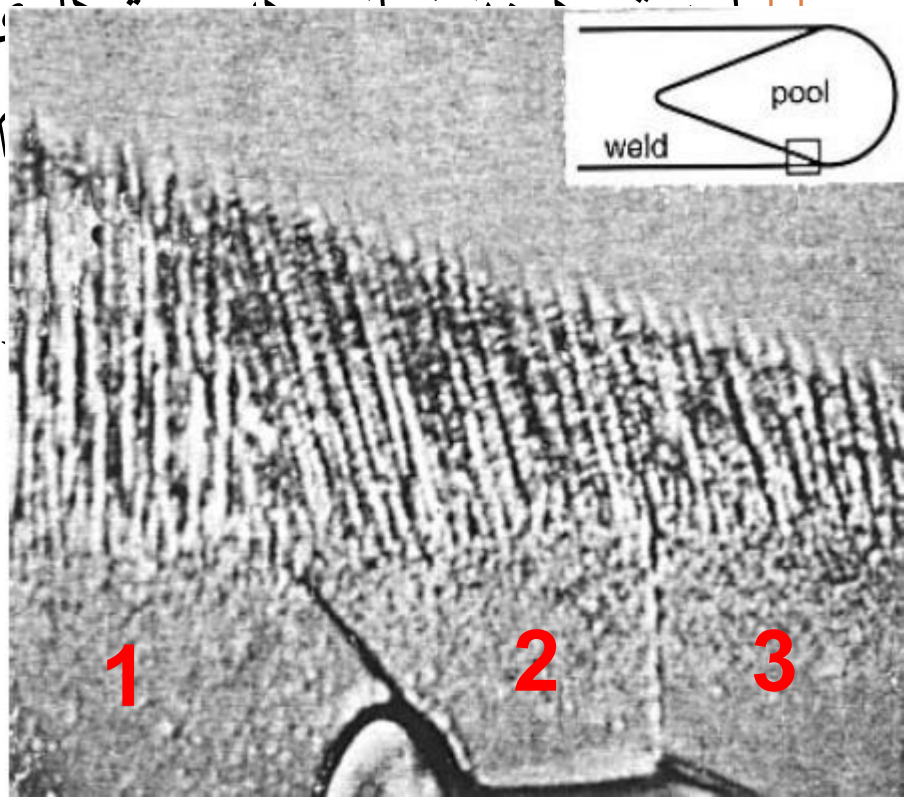
$$\Delta G = \frac{4\pi\gamma_{LC}^3 T_m^2}{3(\Delta H_m \Delta T)^2}(2 - 3\cos\theta + \cos^3\theta)$$

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

رشد اپی تکسیال در مرز ذوب

- در جوشکاری فلز پایه بخوبی مذاب را تر می کند.
- [illegible] بدون
- [illegible] داشت
- [illegible] انجماد
- [illegible] پایه)





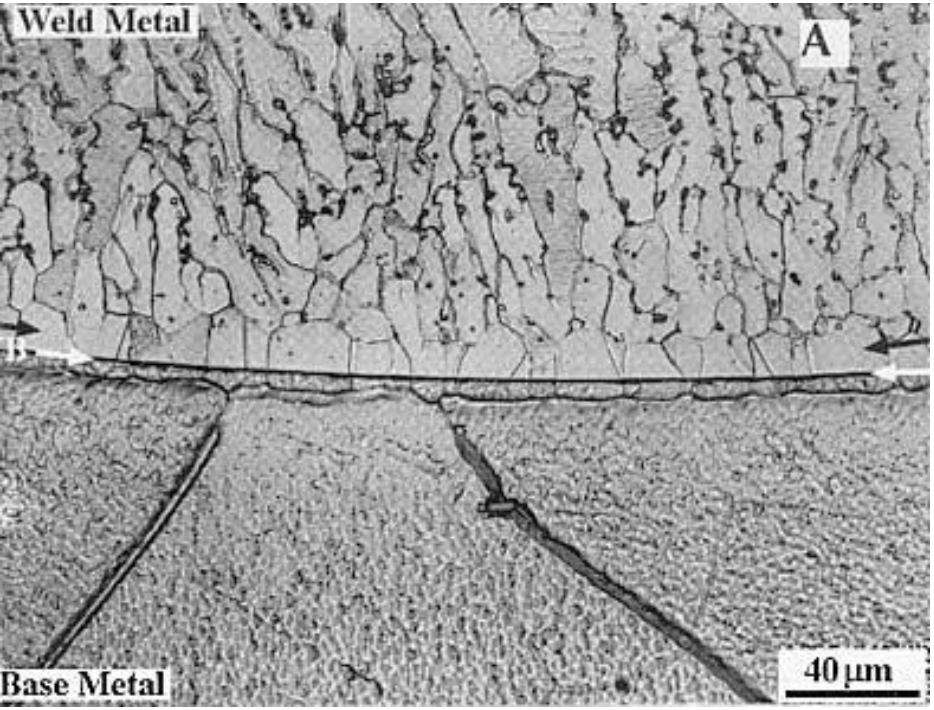
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

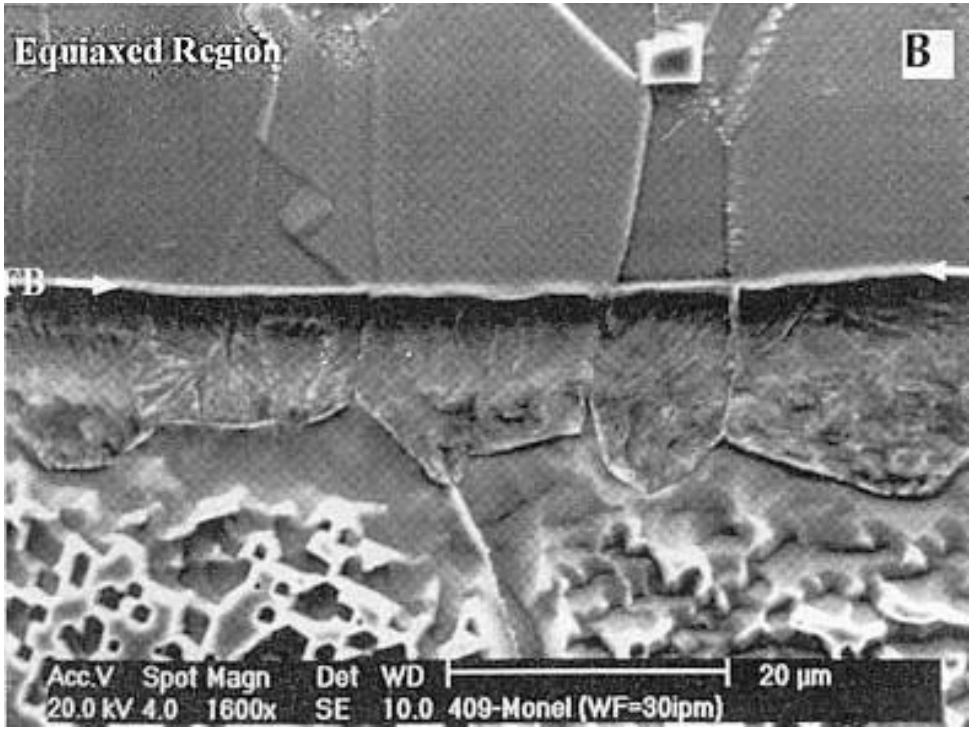
رشد غیر اپی تکسیال

- زمانیکه از فلز پر کننده استفاده شود اختلاف ساختار کریستالوگرافی آن با فلز پایه منجر به این رشد می شود.
- در مرز ذوب کریستال های جدیدی جوانه زنی می کنند.
- مثال: جوشکاری آلیاژ فولاد زنگ نزن فریتی 409 با استفاده از فیلر مونل (70% Ni- 30% Cu)

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

رشد غیر اپی تکسیال





www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

رشد رقابتی در حوضچه مذاب

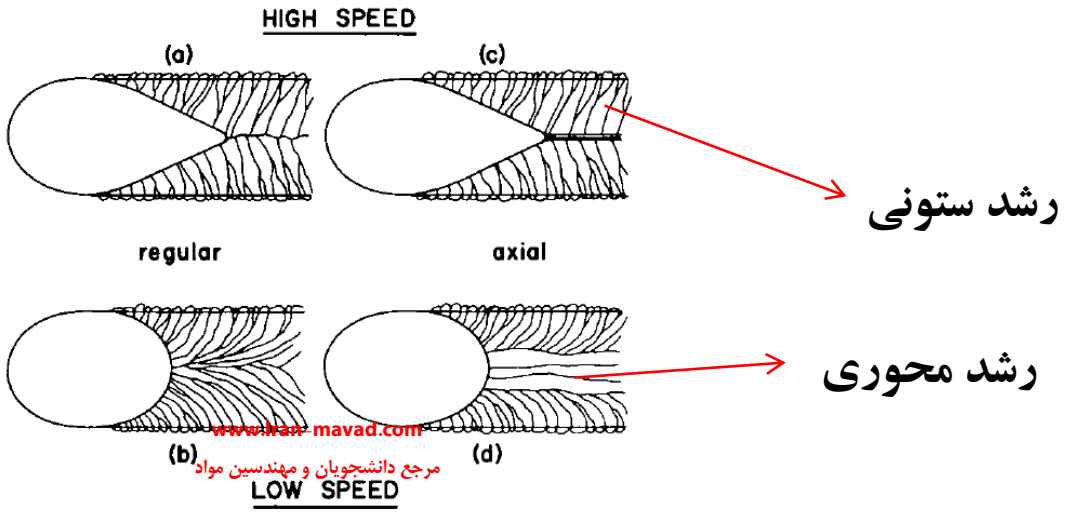
- جوانه زنی دانه ها در حوضچه مذاب در جهت عمود بر شکل حوضچه صورت می گیرد زیرا در این جهت بیشترین گرادیان دمایی وجود دارد.
- دانه هایی که جهت ترجیحی در آنها عمود بر حوضچه مذاب است باقی مانده و به رشد خود ادامه می دهند.

Crystal Structure	Easy-Growth Direction	Examples
Face-centered-cubic (fcc)	<100>	Aluminum alloys, austenitic stainless steels
Body-centered-cubic (bcc)	<100>	Carbon steels, ferritic stainless steels
Hexagonal-close-packed (hcp)	$<10\bar{1}0>$	Titanium, magnesium
Body-centered-tetragonal (bct)	<110>	Tin

www.Iran_mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

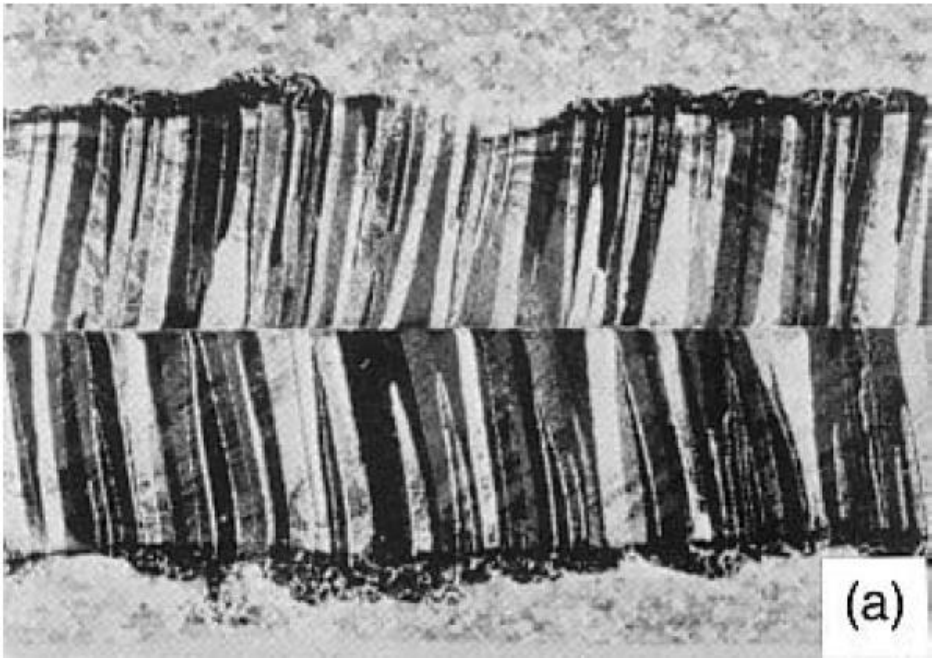
تأثیر سرعت جوشکاری بر ریزساختار منطقه ذوبی

- در سرعت های بالاتر جوشکاری شکل حوضچه بصورت قطره اشک است در حالیکه در سرعت های پایین به شکل بیضوی خواهد بود.
- بنابراین در سرعت های بالا رشد ستونی بصورت خطی خواهد بود در حالیکه در سرعت های کم رشد ستونی مسیری منحنی شکل دارد.

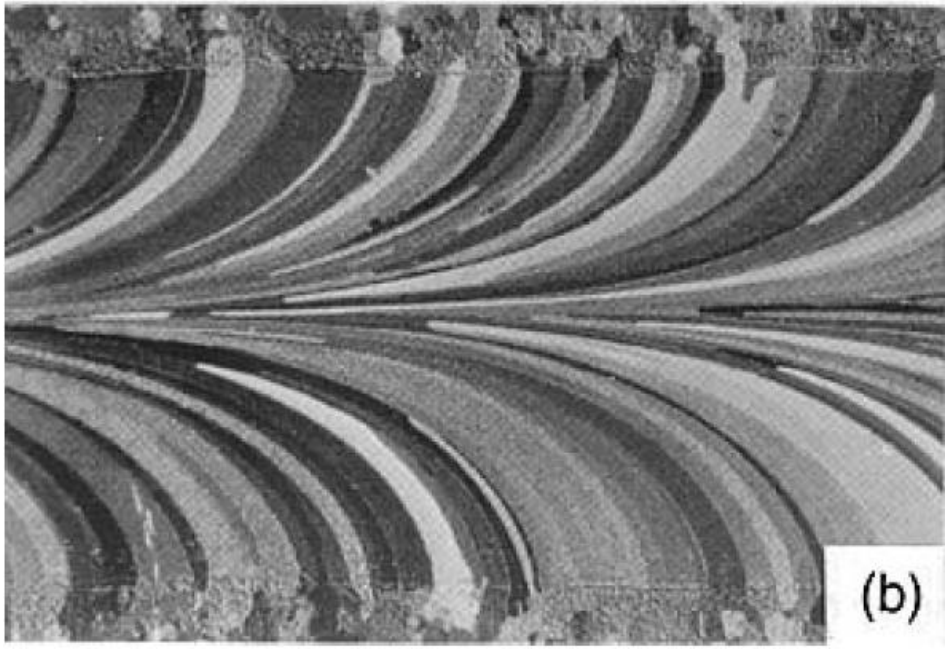


www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

تأثیر سرعت جوشکاری بر ریزساختار منطقه ذوبی



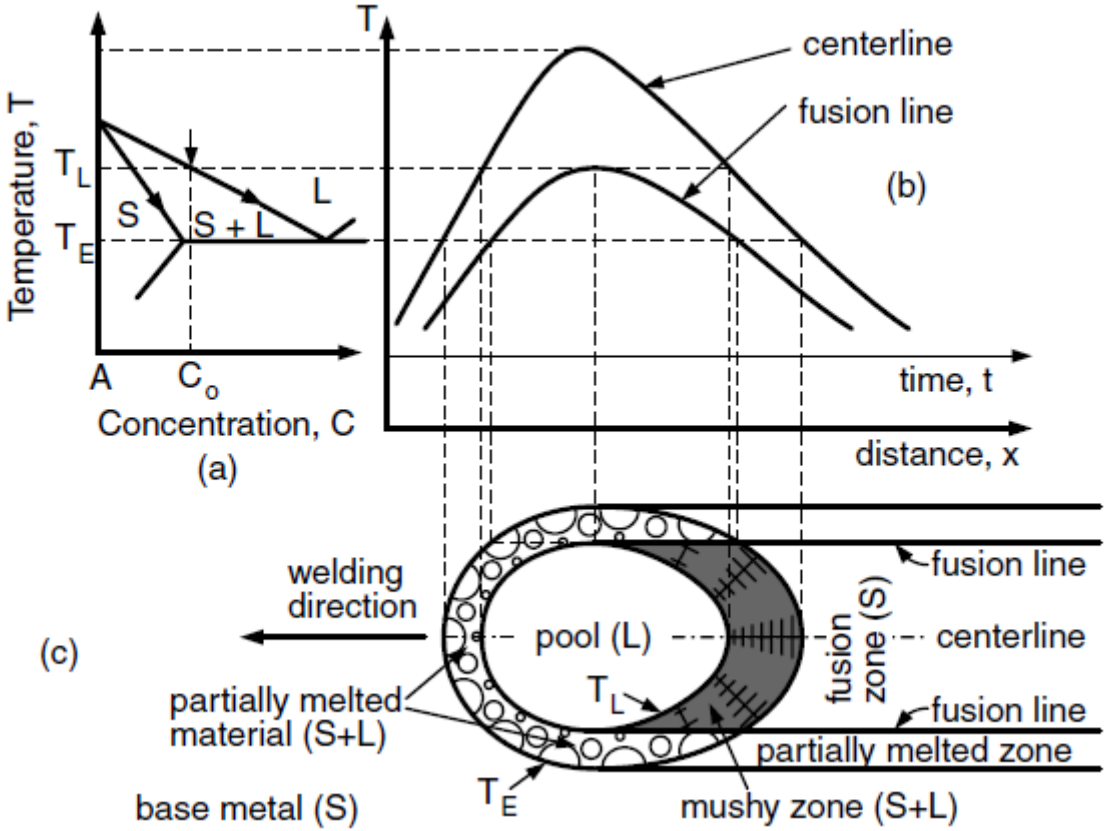
سرعت های بالا ۱۰۰۰ mm/s



سرعت های پایین ۲۵۰ mm/s

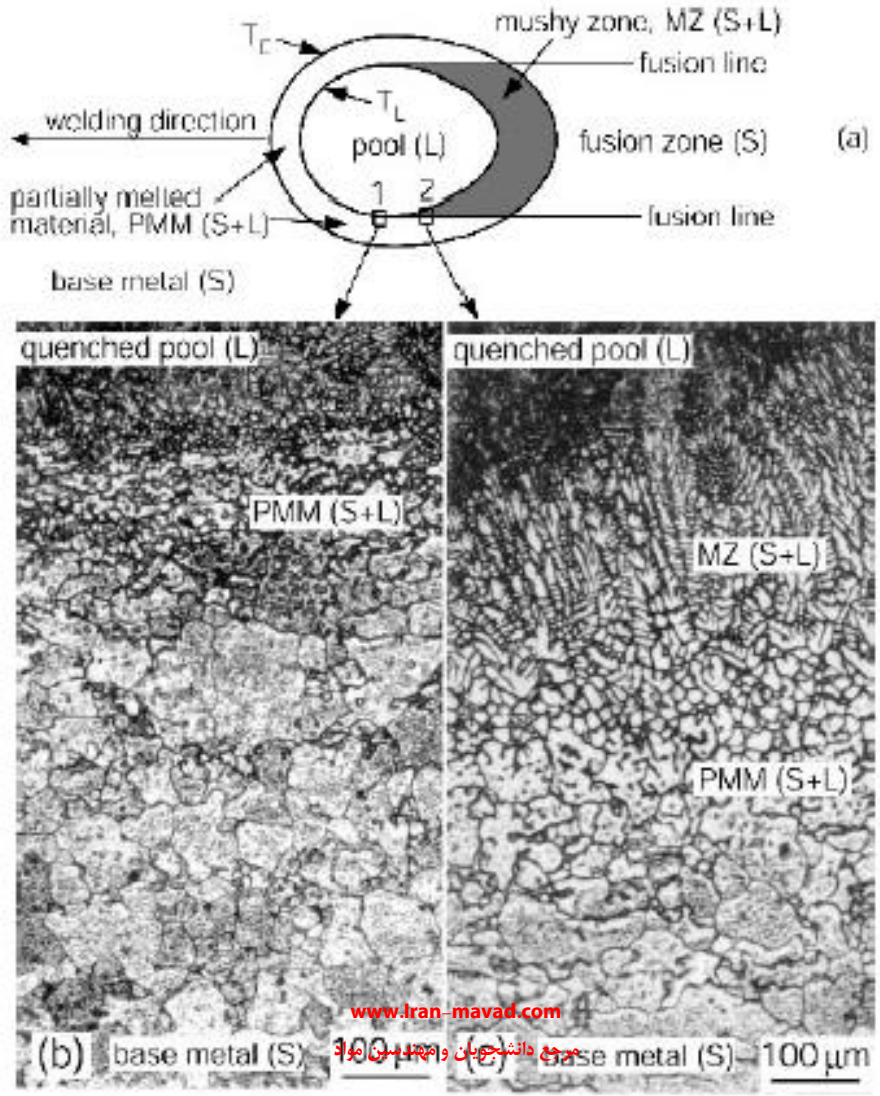
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

ریزساختار در اطراف منطقه مذاب



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

ریزساختار جوش آلیاژ آلومینیوم 2219



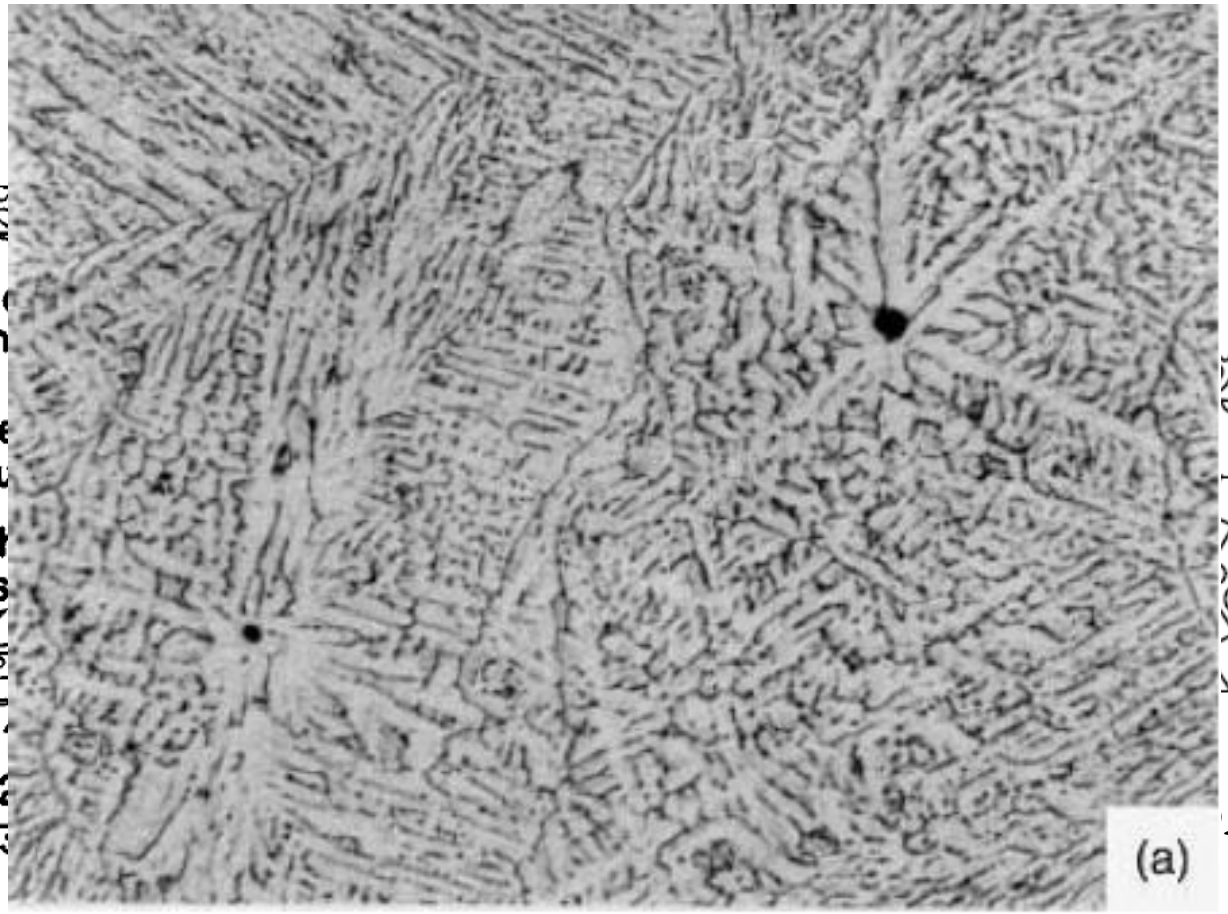
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و متخصصین مواد

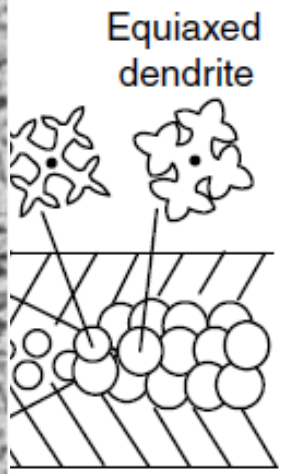
مکانیزم های جوانه زایی در منطقه جوش

- برای جوانه زنی در منطقه ذوب جوش نیاز به جوانه زا وجود دارد. این جوانه زایی به طرق زیر قابل حصول است:
  - شکسته شدن دندریت ها و ورود آنها به حوضچه مذاب
  - جدا شدن دانه و ورود آن به حوضچه مذاب
  - وجود ذرات خارجی در حوضچه مذاب و جوانه زنی غیرهمگن
  - جوانه زنی سطحی

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

مکانیزم های جوانه زنی در حوضچه مذاب

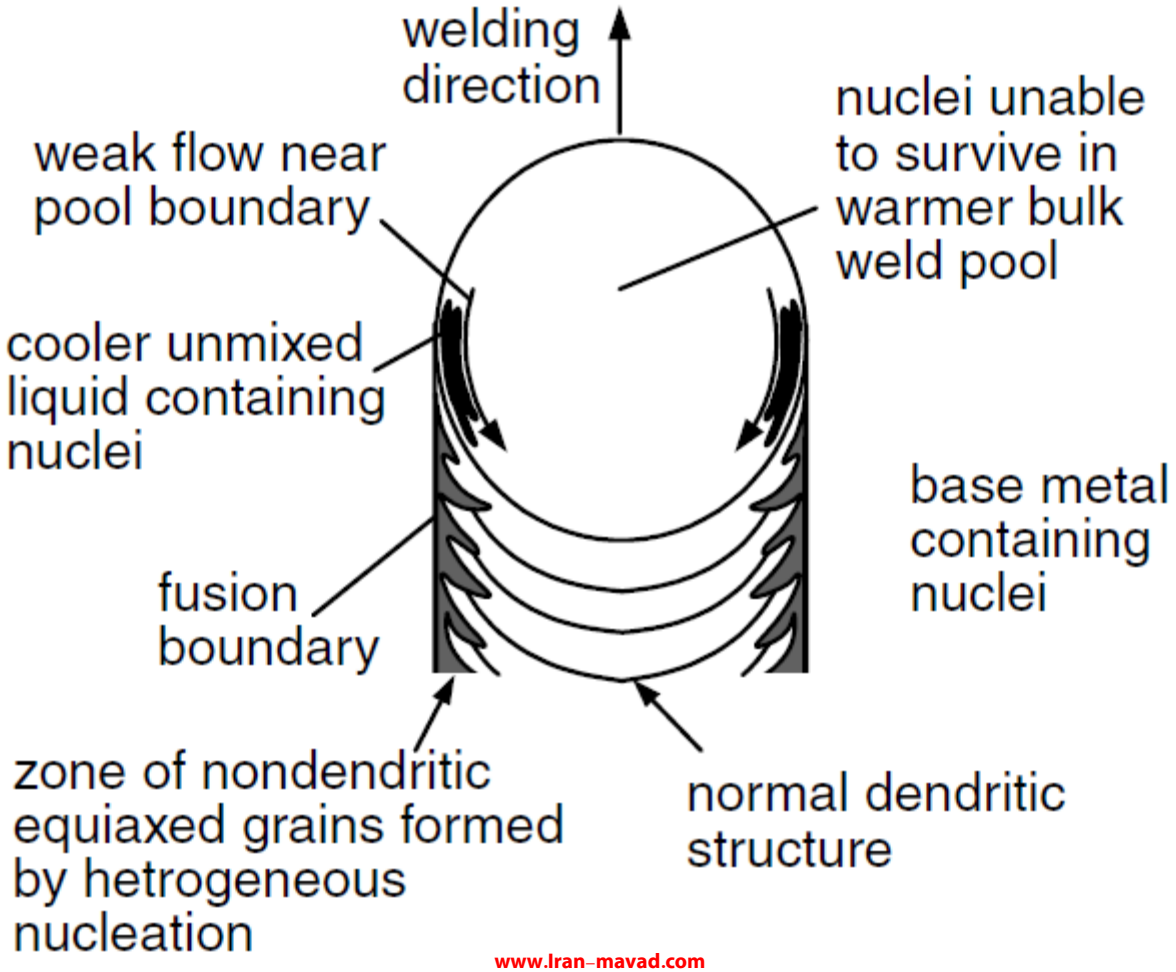




جوانه ز

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

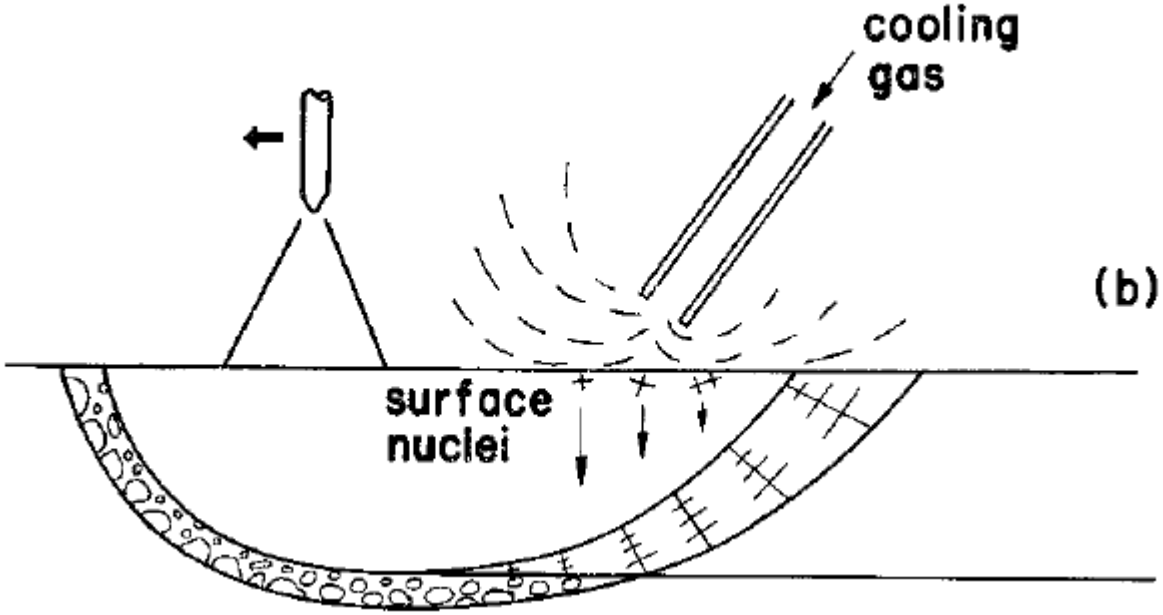
جوانه زنی ناهمگن در نزدیکی مرز جوش



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

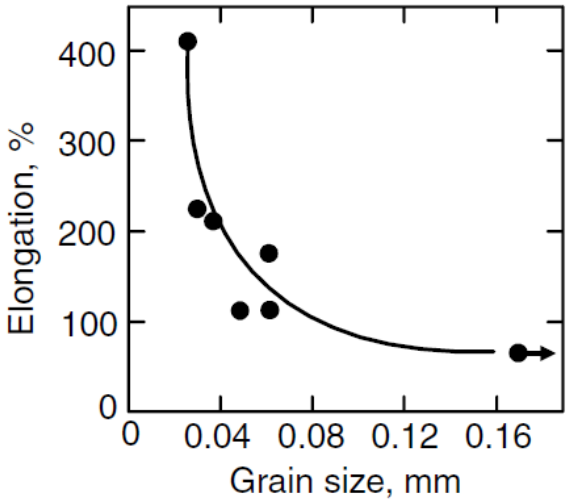
جوانه زنی سطحی

- ذرات جامد اولیه تشکیل شده در سطح بوسیله جریان گاز خنک کننده یا خنک شدن طبیعی به دلیل دانسیته بالاتر به سمت پایین حوضچه مذاب حرکت کرده و جوانه زنی رخ می دهد.



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

روش های کنترل ریزساختار منطقه ذوبی



- استفاده از جوانه زا
- هم زدن منطقه مذاب
- حرکت نوسانی قوس
- استفاده از قوس پالسی

- کنترل ریزساختار منطقه مذاب جوش با هدف کاهش میزان ریزساختار ستونی و افزایش دانه های هم محور به جهت افزایش انعطاف پذیری و استحکام جوش انجام می شود.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

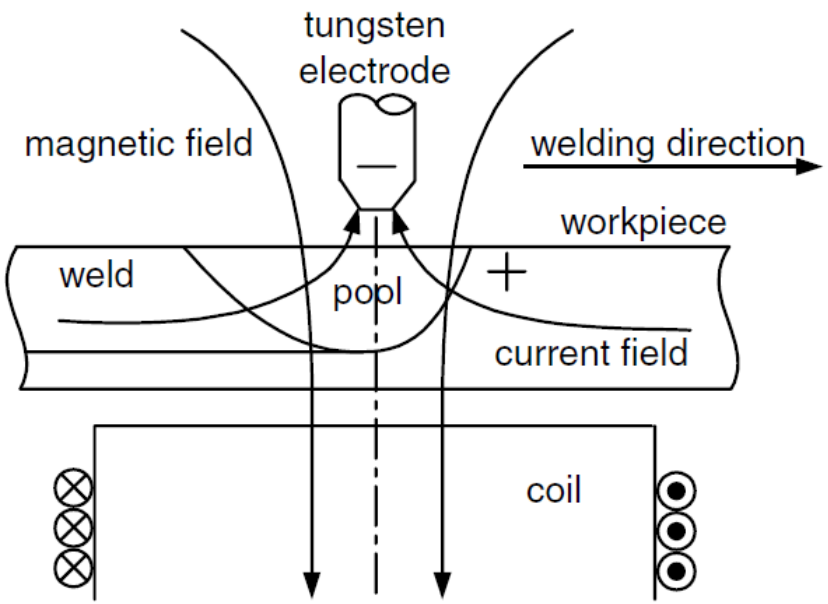
جوانه زا

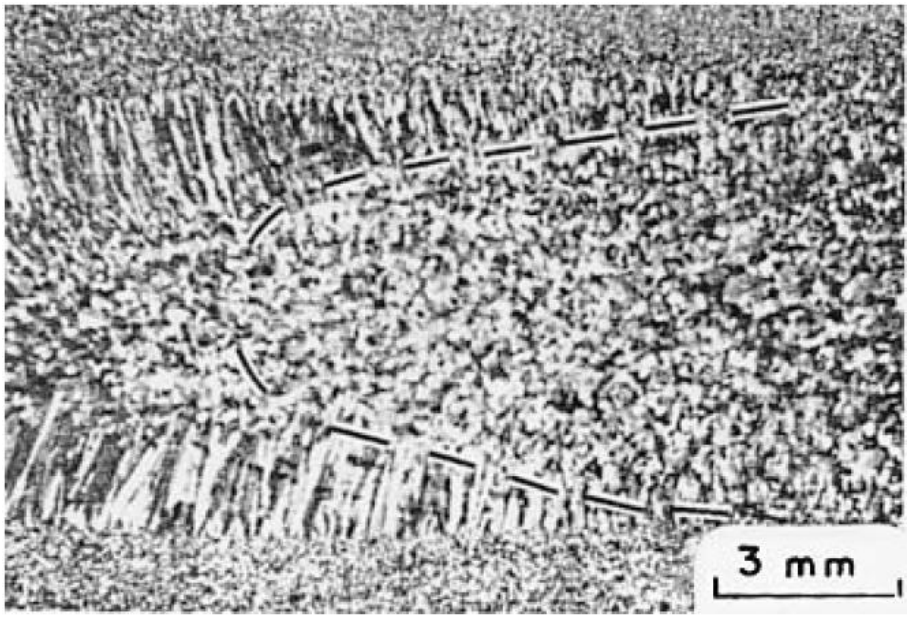
- عملکرد جوانه زاها در جوش مانند ریخته گری است.
- جوانه زاهای رایج:
  - کاربید تیتانیوم / فروتیتانیوم + کاربید تیتانیوم برای جوشکاری زیر پودری فولاد
  - نیترید تیتانیوم برای جوش فولاد زنگ نزن کروم- نیکل
  - تیتانیوم و زیرکونیوم برای جوش آلومینیوم خالص

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

هم زدن حوضچه مذاب با استفاده از میدان مغناطیسی

- سردتر کردن حوضچه مذاب و افزایش اثر جوانه زاها از طریق جریان های گردابی

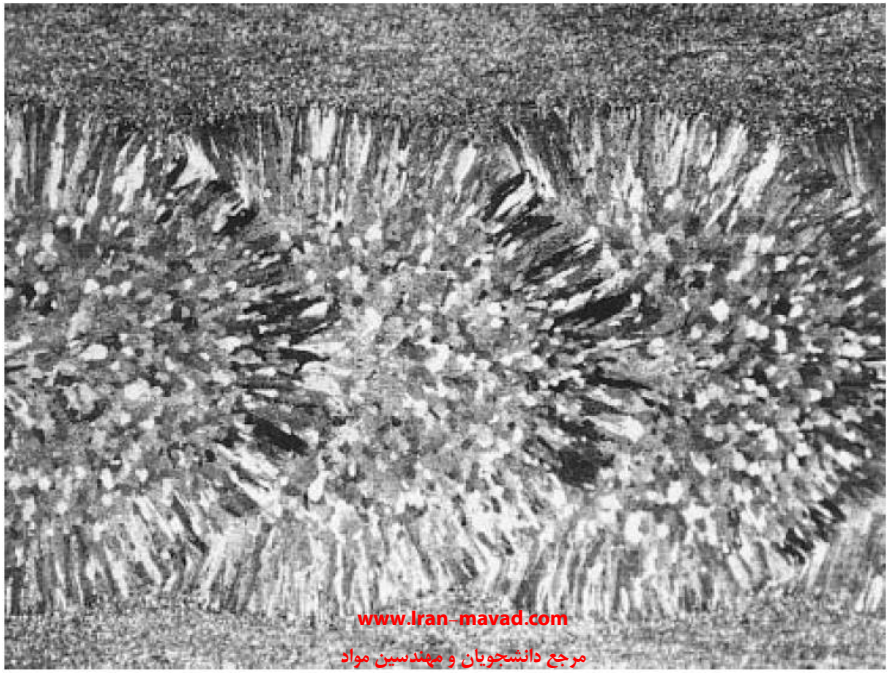




www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

قوس پالسی

- با پالسی کردن قوس در فاصله ای که جریان از قطعه عبور نمی کند با منجمد شدن ذرات سطحی احتمال جوانه زایی سطحی افزایش می یابد از طرف دیگر امکان جوانه زنی غیرهمگن نیز بیشتر می شود.



متالورژی جوشکاری

جلسه چهارم

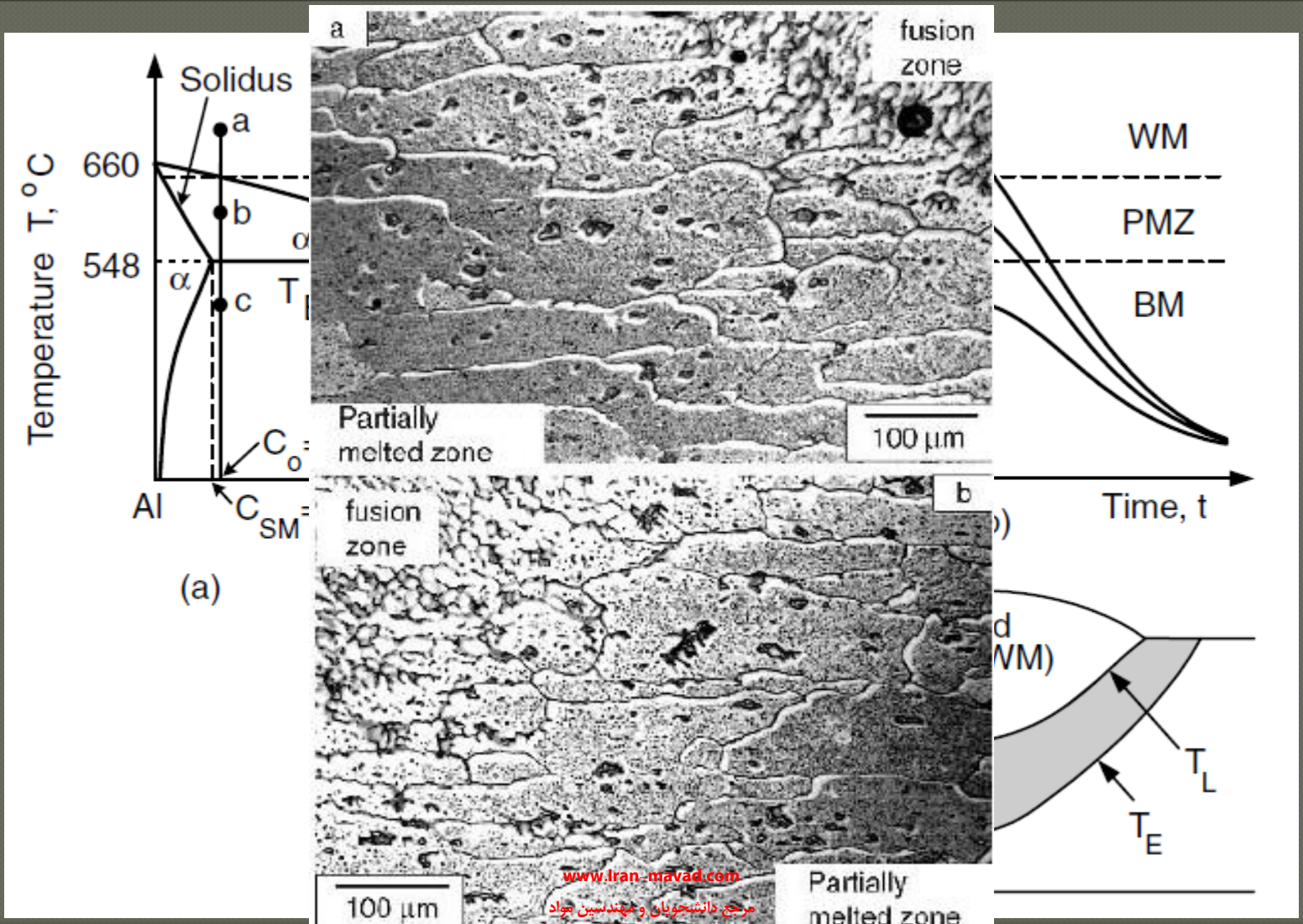
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

منطقه نیمه ذوب (Partially Melted Zone)

- منطقه ایست که در کنار منطقه جوش قرار دارد و در اثر حرارت جوشکاری احتمالا دچار ذوب خواهد شد.
- ذوب هم می تواند در مرزهای دانه اتفاق بیافتد و هم درون دانه ها.
- در آلیاژهای آلومینیوم انجماد مجدد مناطق ذوب شده به تشکیل فازهای یوتکتیکی می انجامد.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

تغییرات دمایی در حین جوشکاری

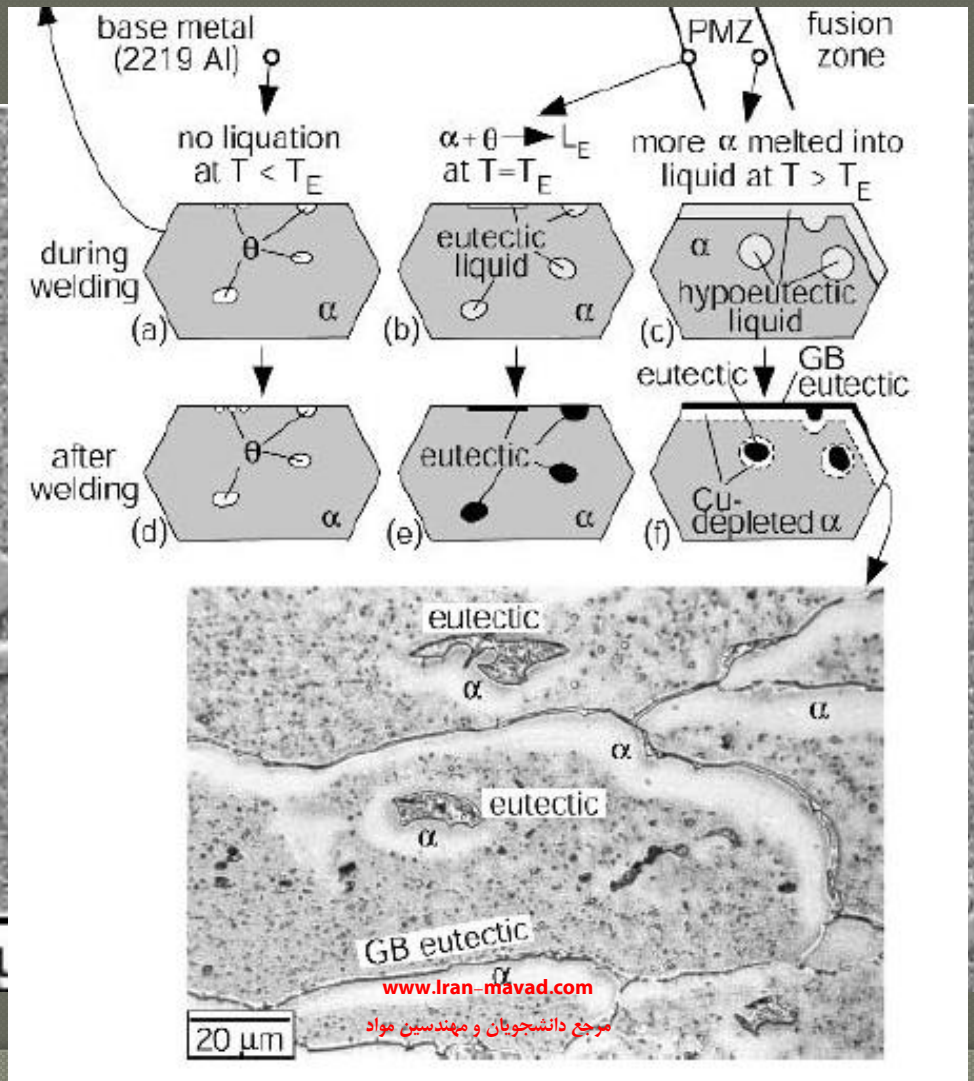


تغییرات فازی در حین جوشکاری در منطقه نیمه ذوبی– واکنش با فاز ثانوی (C1>Csm)

- در جداره بیرونی منطقه نیمه ذوبی تنها ذوب و تشکیل مجدد یوتکتیک اتفاق می افتد بدون تغییر در ترکیب.
- در داخل منطقه نیمه ذوب اما:
  - در بالای دمای Te ذوب شدت می گیرد. فاز θ با فاز α واکنش می دهد.
  - ترکیب مذاب به این ترتیب فقیر از مس می شود.
  - در هنگام سرد شدن در محل های فاز θ یوتکتیک تشکیل شده ولی اطراف آن ها فاز α فقیر از مس تشکیل می گردد.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

تغییرات فازی در حین جوشکاری در منطقه نیمه ذوبی – واکنش با فاز ثانوی (C1>Csm)

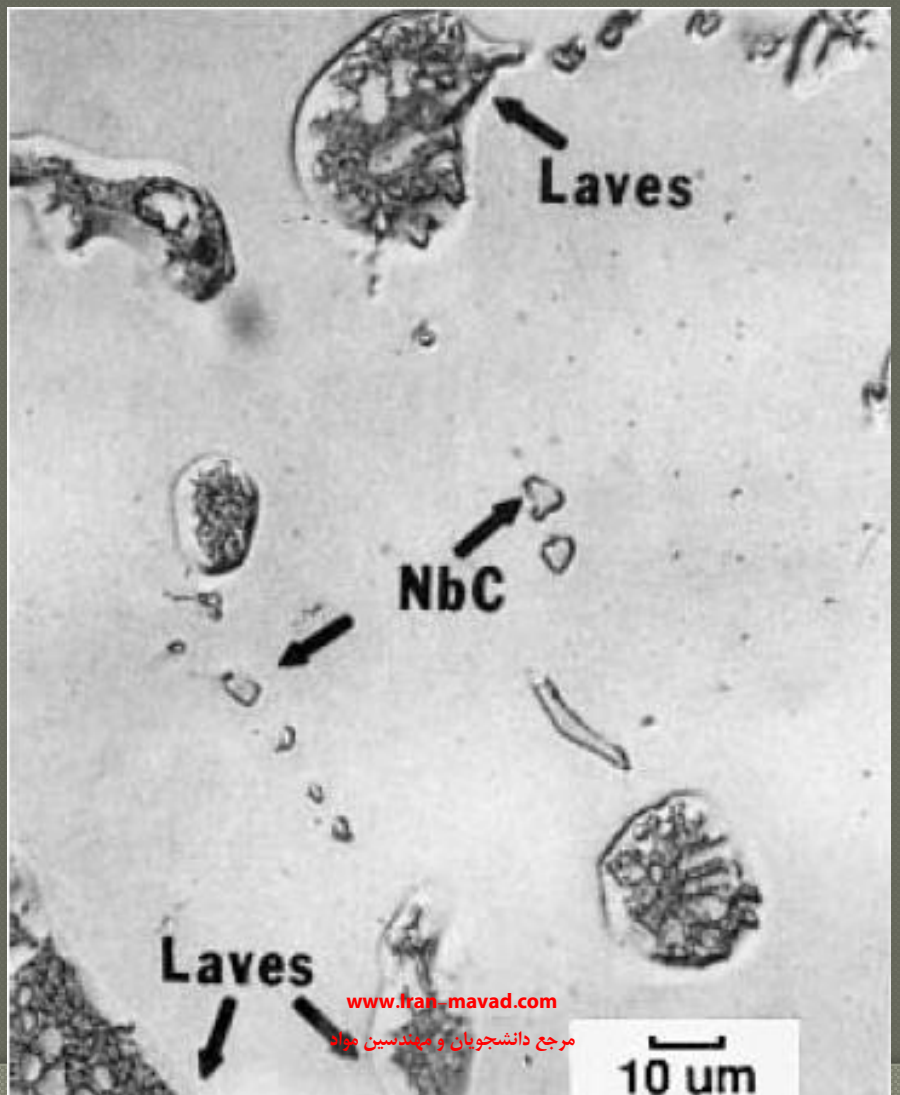


تغییرات فازی در حین جوشکاری در منطقه نیمه ذوبی – واکنش با فاز ثانوی باقیمانده (C1<Csm)

- در حین حالت بدلیل آنکه فلز با سرعت گرم می شود فاز ثانوی فرصت نمی یابد که در بالای **Tv** بطور کامل در فاز زمینه حل شود.
- این فاز باقیمانده با زمینه وارد واکنش شده و مذاب موضعی بوجود می آورد.
- این اتفاق در بسیاری از آلیاژهای آلومینیومی، فولاد marage 18% Ni و سوپر آلیاژ اینکونل ۷۱۸ رخ می دهد.

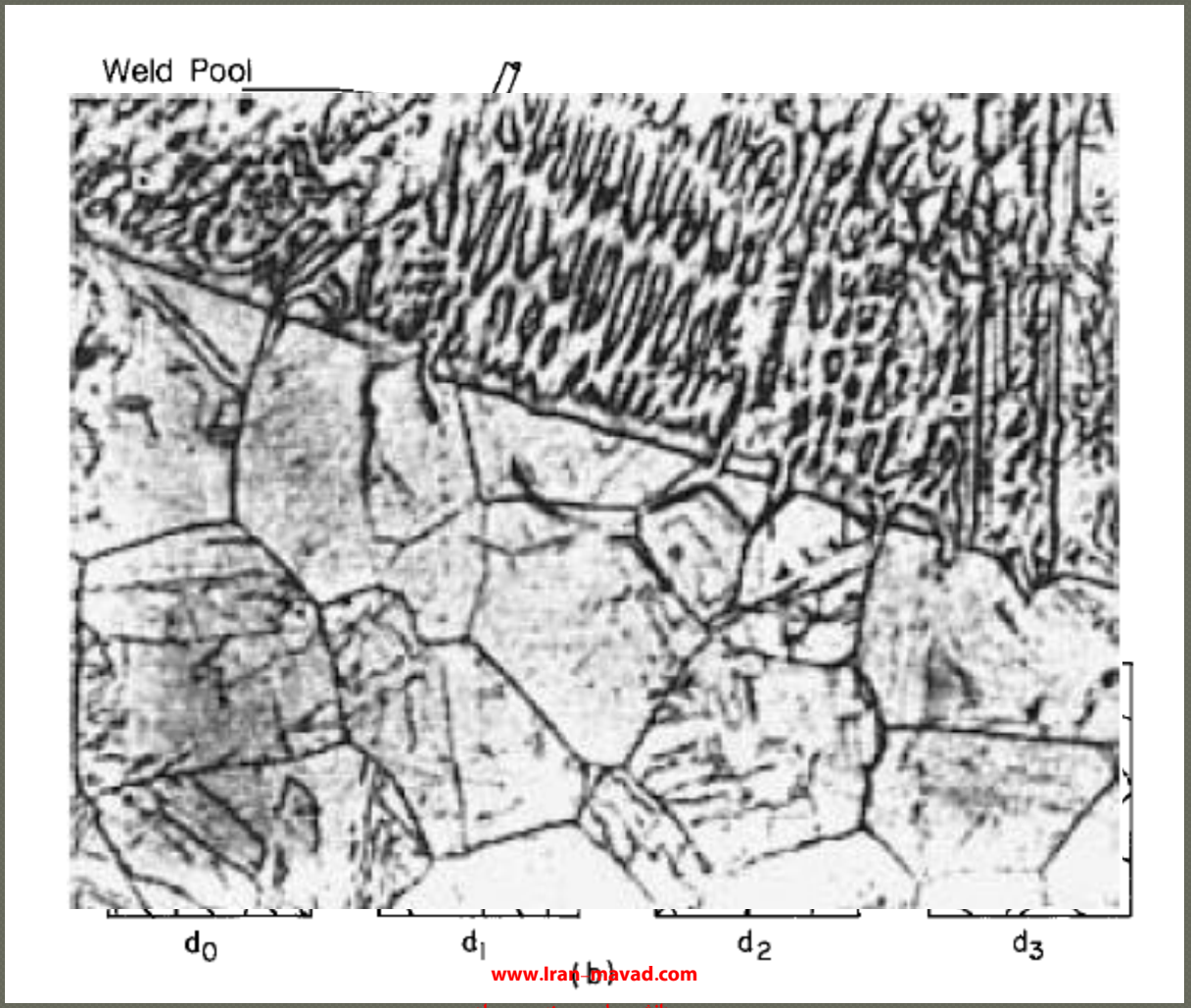
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

تغییرات فازی در حین جوشکاری در منطقه نیمه ذوبی – واکنش با فاز ثانوی باقیمانده (C1<Csm)



www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

رشد دانه و تشکیل مرزهای مجازی



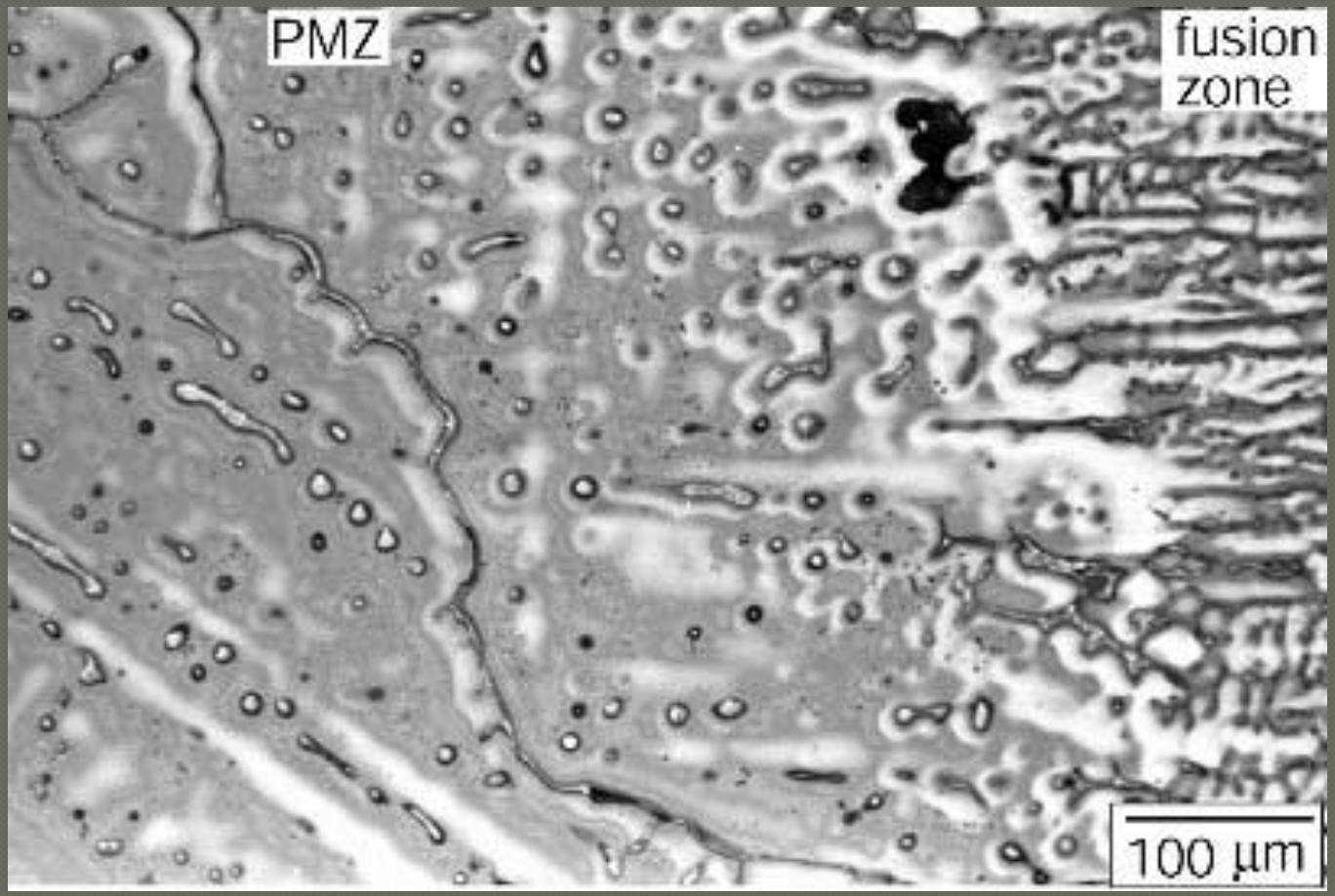
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

تغییرات فازی در حین جوشکاری در منطقه نیمه ذوبی – (C1<Csm) ذوب یوتکتیک باقیمانده

- اغلب در ساختار آلیاژهای آلومینیوم فاز یوتکتیک باقیمانده یافت می شود.
- در اثر حرارت دهی آرام این فاز می تواند از طریق نفوذ حالت جامد حل شود.
- اما در جوشکاری این انحلال اتفاق نمی افتد و فاز یوتکتیک در حین جوشکاری می تواند ذوب شده و منطقه مذاب بوجود آورد.
- در اینجا نیز منطقه مذاب متشکل از فاز یوتکتیک غنی از مس و فاز α فقیر از مس است.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

ذوب یوتکتیک باقیمانده

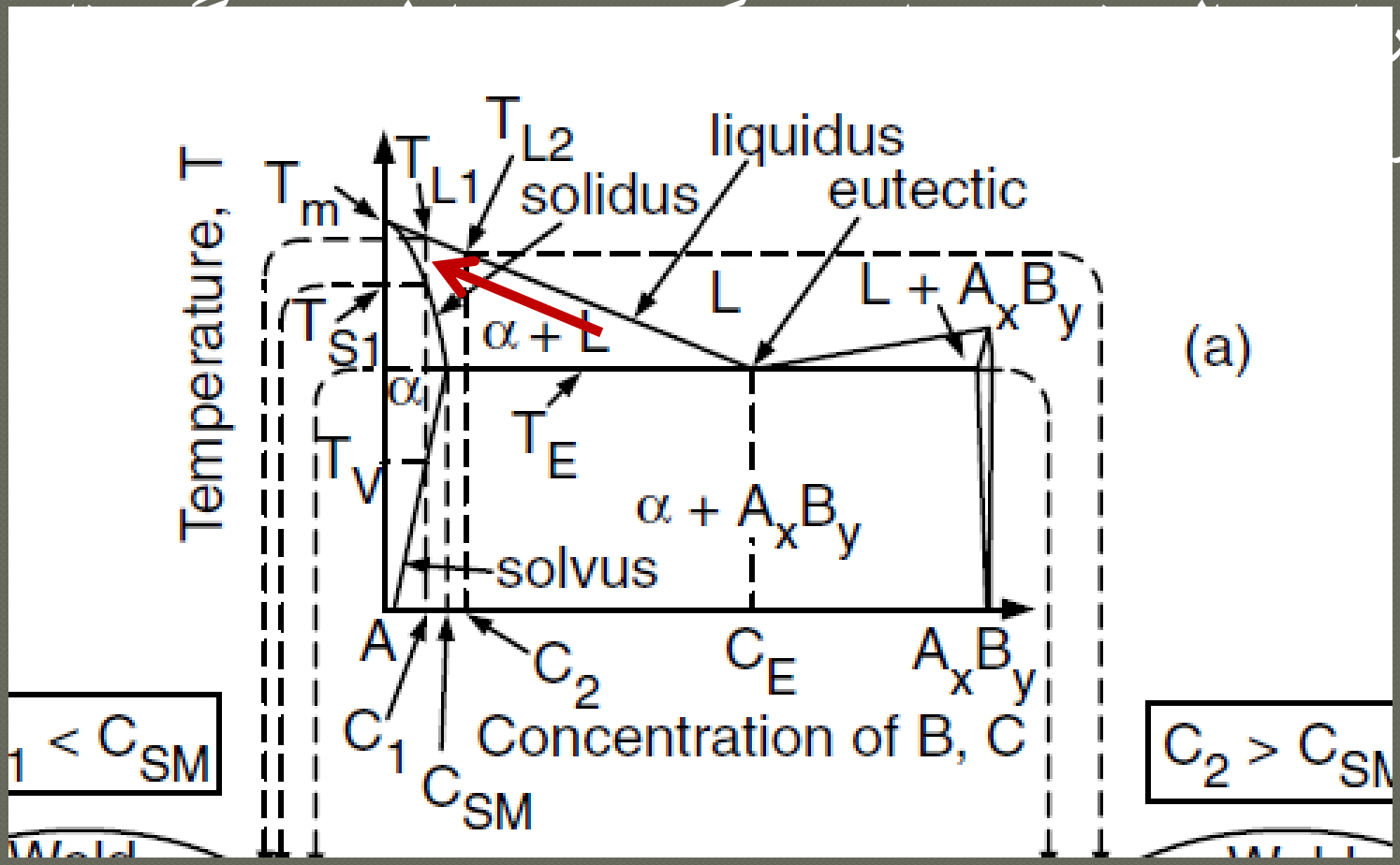


www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

تغییرات فازی در حین جوشکاری در منطقه نیمه ذوبی (C1<Csm) – ذوب ماتریس

- در
- یو
- با
- و

افتد



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

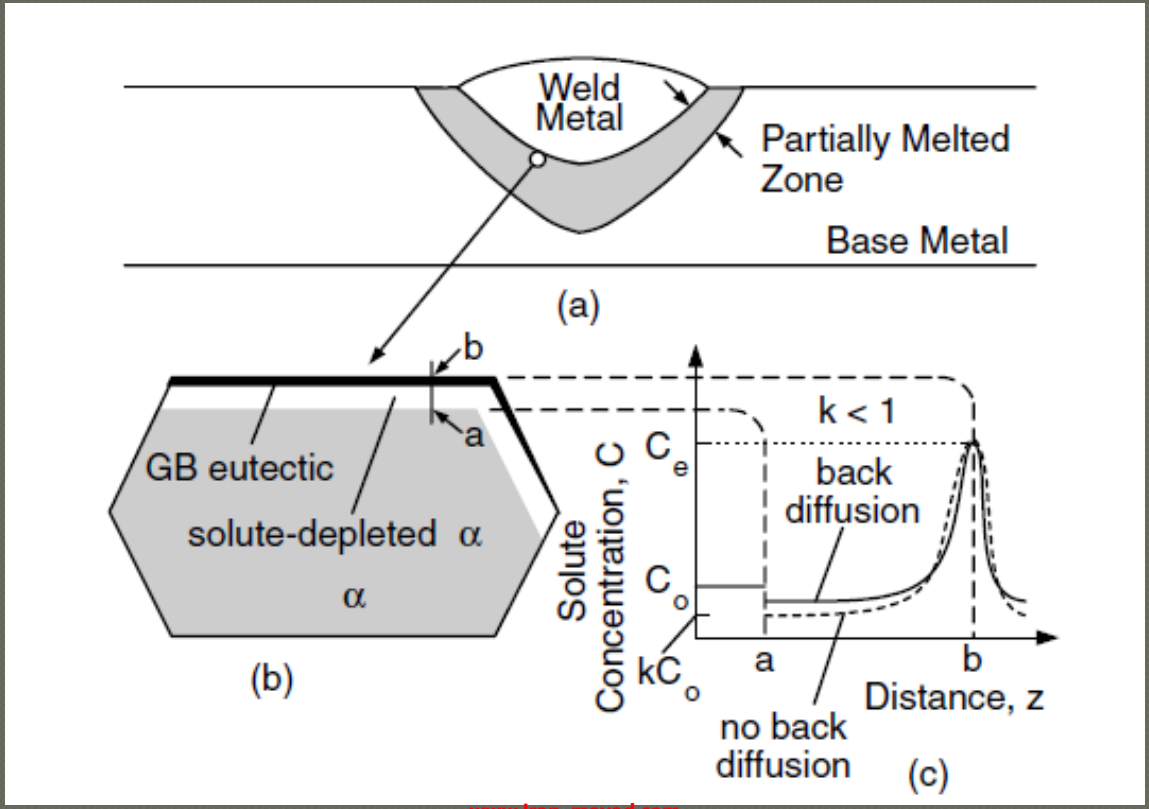
رسوب گذاری در مرز دانه

- این فرایند حاصل نفوذ عناصرثانویه از طریق نفوذ حالت جامد به مرزهای دانه و کاهش دمای ذوب آنهاست.
- بر خلاف فرایندهای قبلی ابتدا رسوب گذاری اتفاق می افتد و سپس ذوب.
- بیشتر در فولادهای آستنیتی و دوپلکس مشاهده شده است.
  - نفوذ اتم ها به مرز دانه
  - جاروب شدن اتم ها توسط مرزهای دانه در حال رشد
  - حرکت اتم ها از مرزهای دانه منطقه مذاب به سمت منطقه نیمه ذوب

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

جدایش در مرزهای دانه منطقه نیمه ذوب

- تشکیل منطقه فقیر از فاز محلول در نزدیکی مرز ذوب و منجمد شده.



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

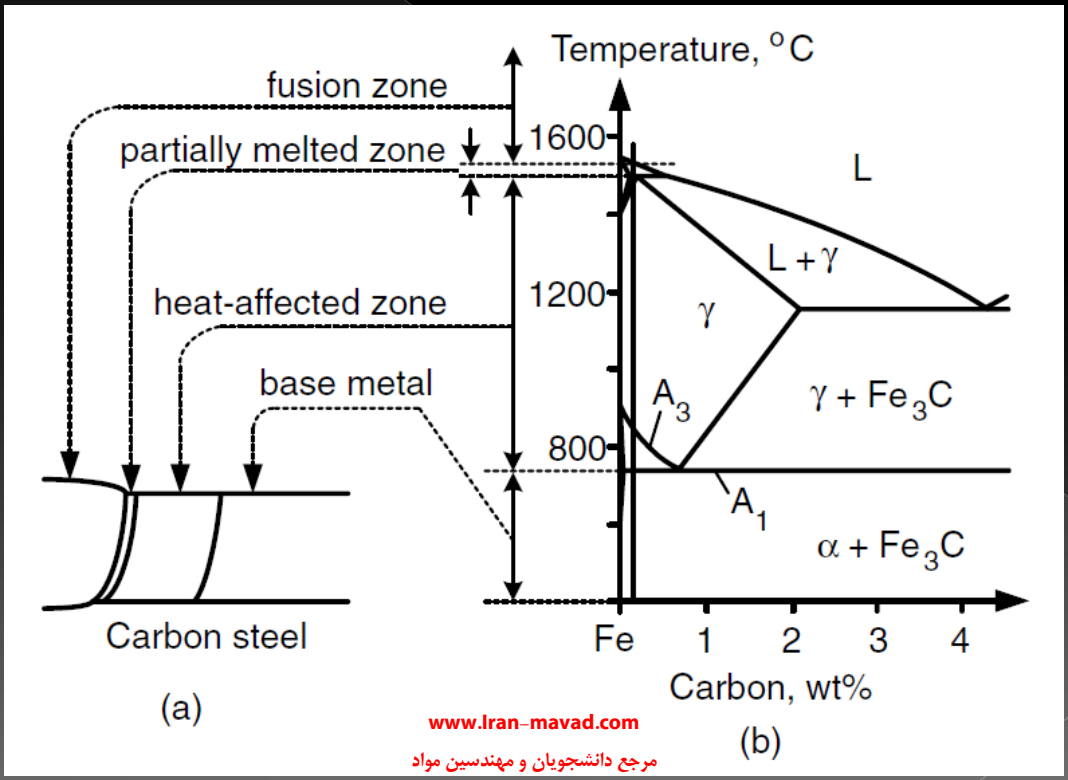
متالورژی جوشکاری

جلسه پنجم

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

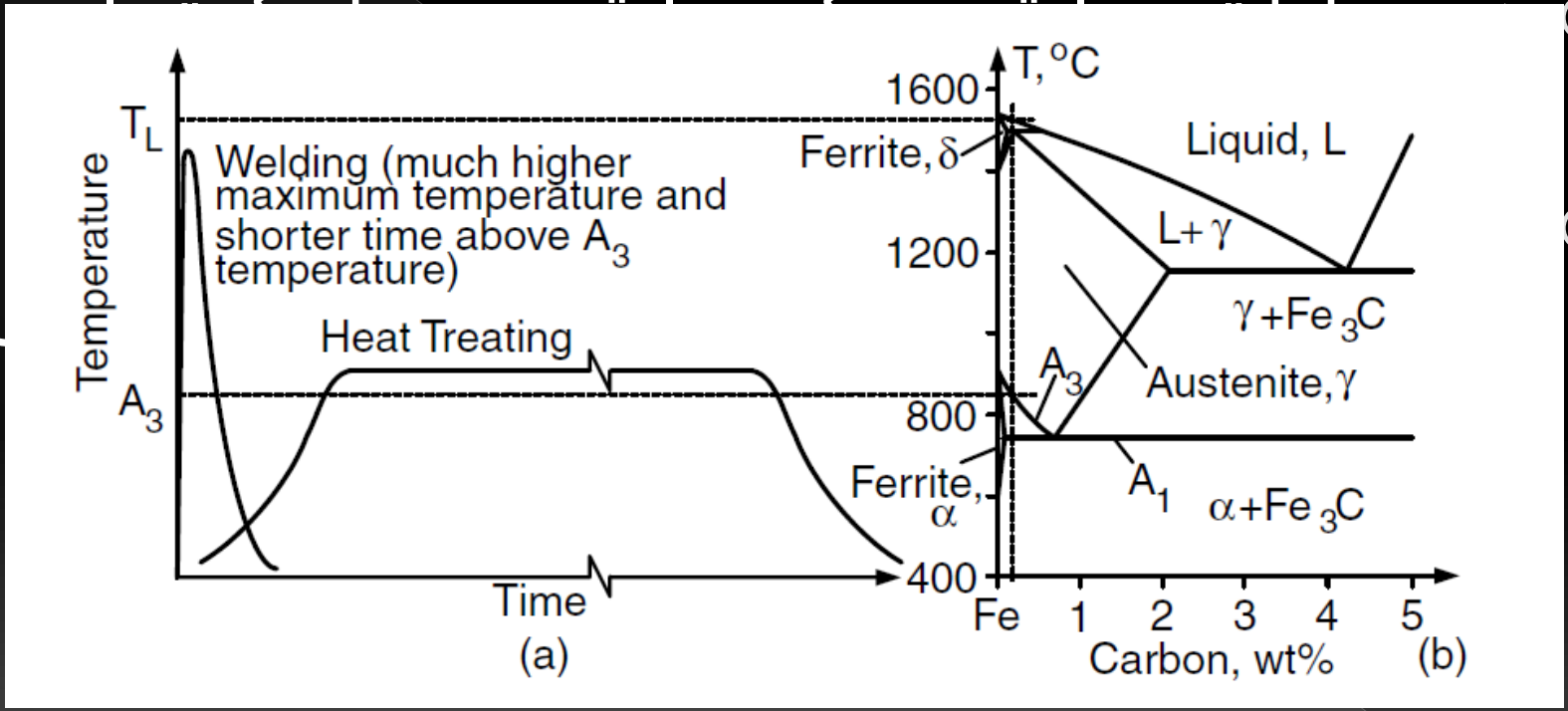
ناحیه تحت تاثیر حرارت در فولادها

- در فولادها منطقه HAZ در منطقه ای بین دمای A1 و دمای پریتکتیک قرار می گیرد.



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

تفاوت میان عملیات حرارتی و جوشکاری



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

مفهوم دمای Ac1 و Ac3

- بدلیل نرخ بالای گرمایش در جوشکاری و ماهیت کند نفوذ واکنش های تغییرات فازی در دمایی بالاتر از دمای تعادلی آنها بوقوع می پیوندند.
- وجود عناصر کاربیدزایی مانند Cr، Mo، W و V به هرچه کند شدن این فرایند کمک بیشتری می کنند.

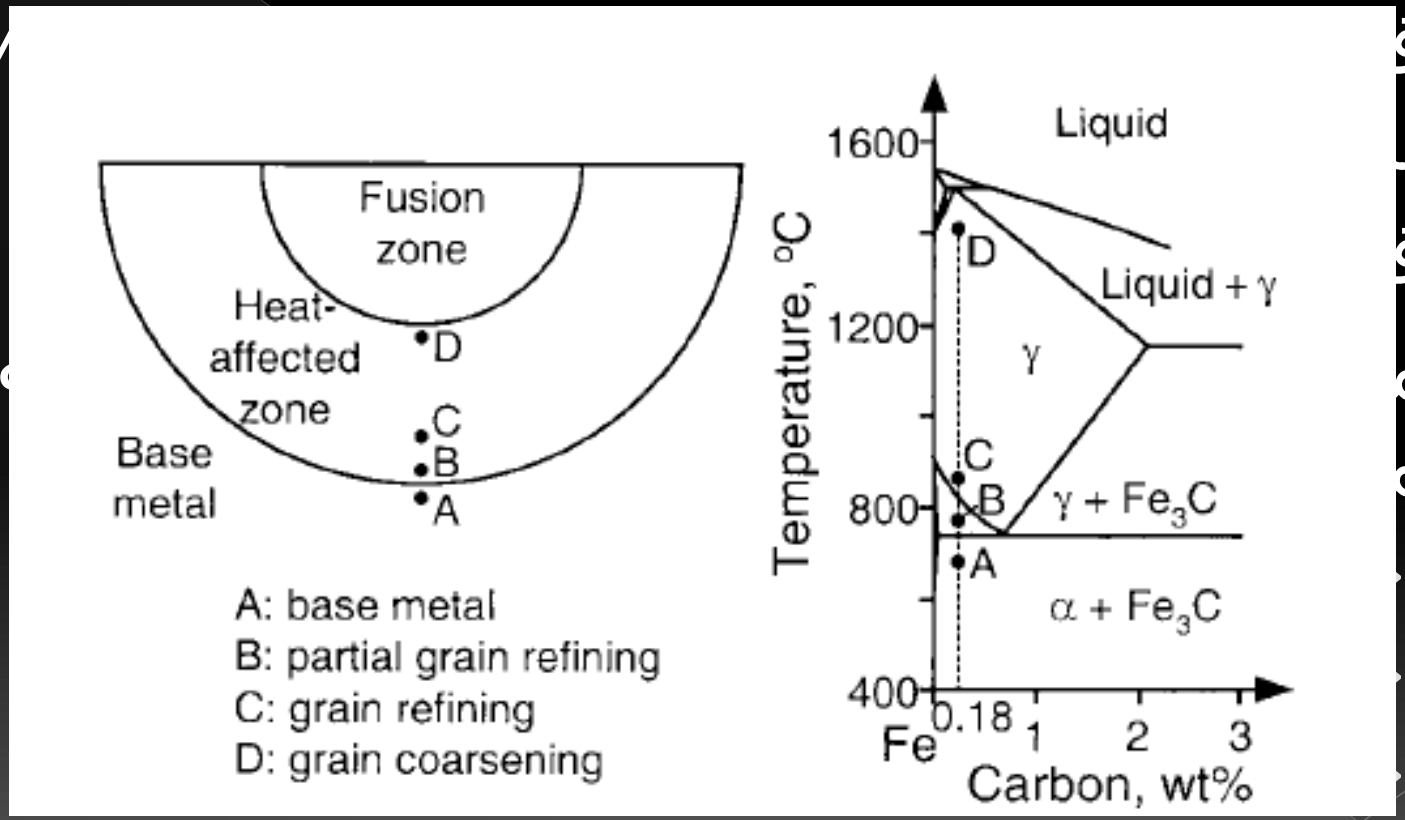
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

رویدادهای منطقه تحت تاثیرحرارت

- ترکیب فاز آستنیت تشکیل شده دارای مقدار یکنواختی کربن نیستو بنابراین در جایی مارتنزیت با کربن بالا و در جایی دیگر فریت با کربن پایین تشکیل میشود.
- در ناحیه تحت تاثیر حرارت رشد دانه روی می دهد.

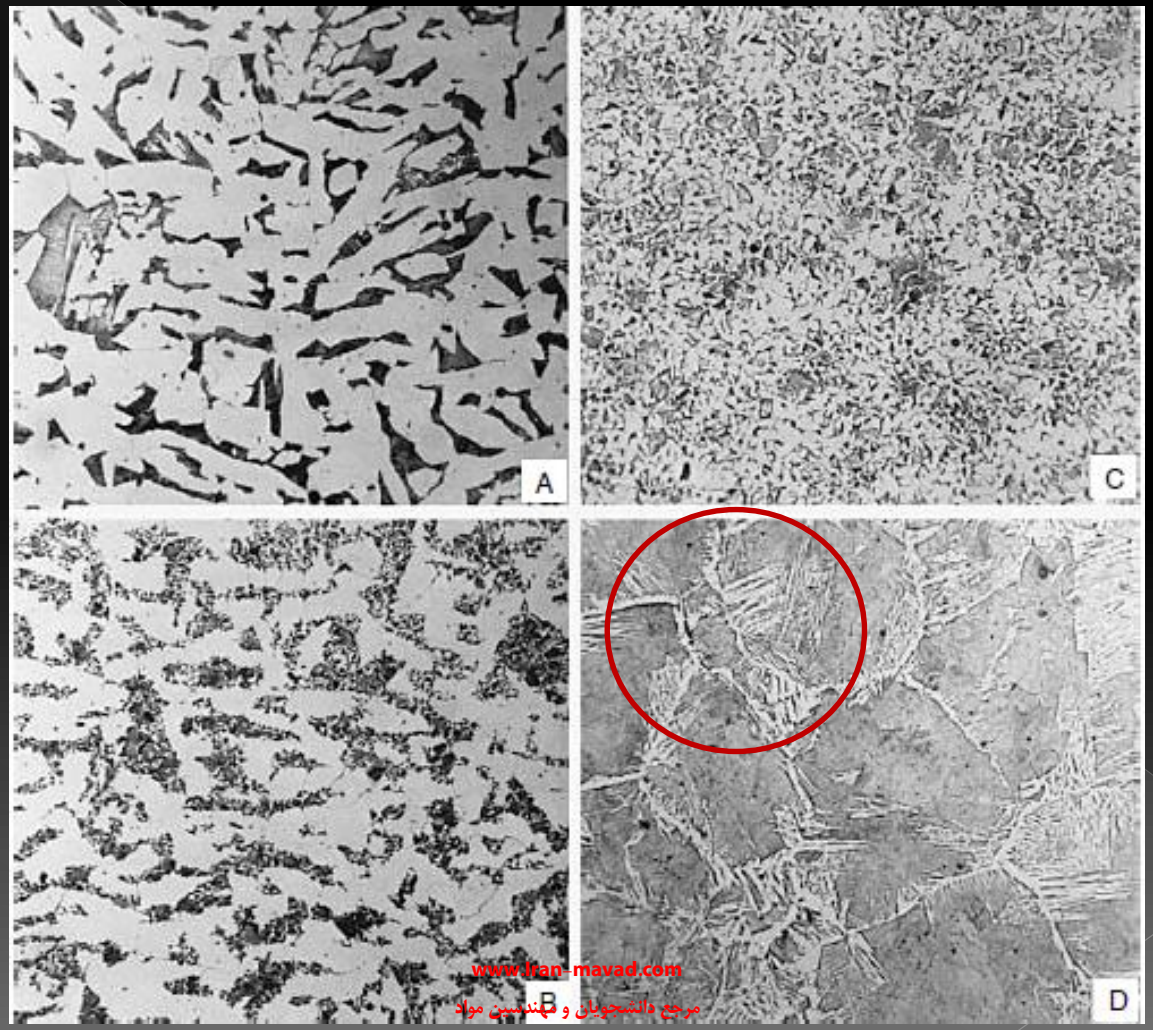
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

فولاد کم کربن

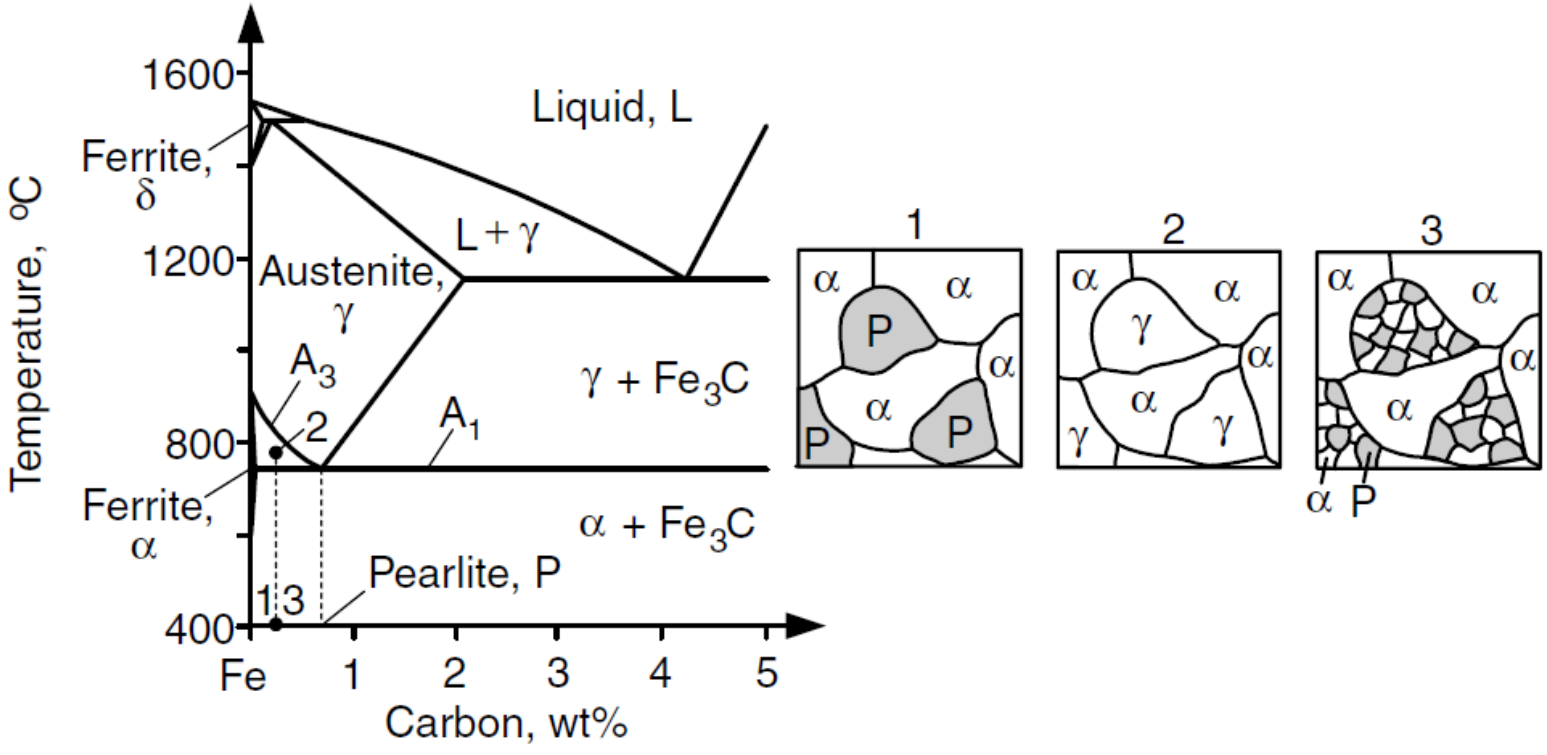


www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

مناطق مختلف تحت تاثیر حرارت

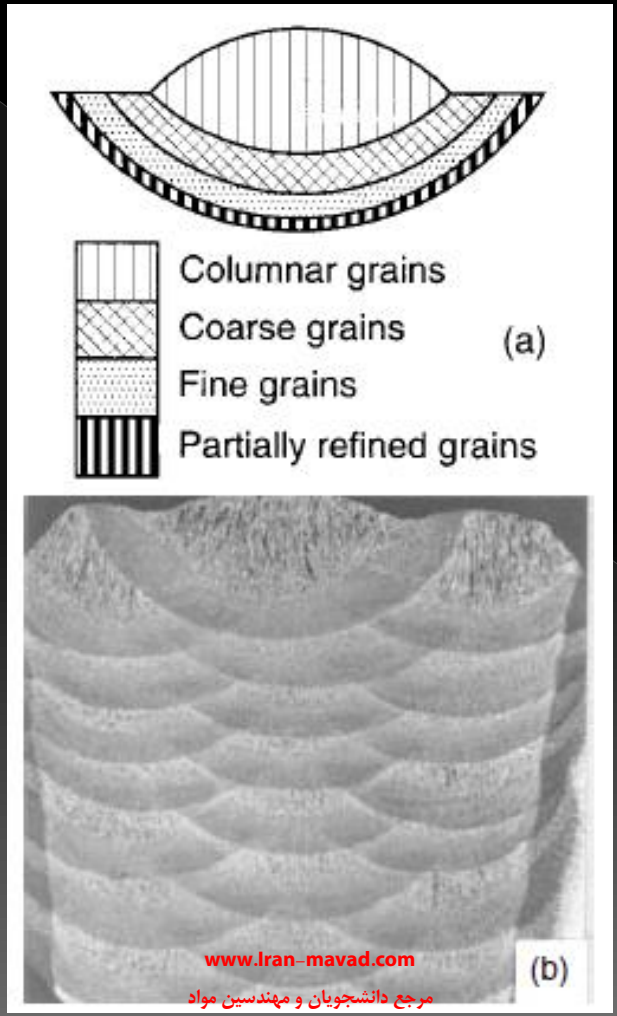


منطقه نسبتا ریزدانه



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

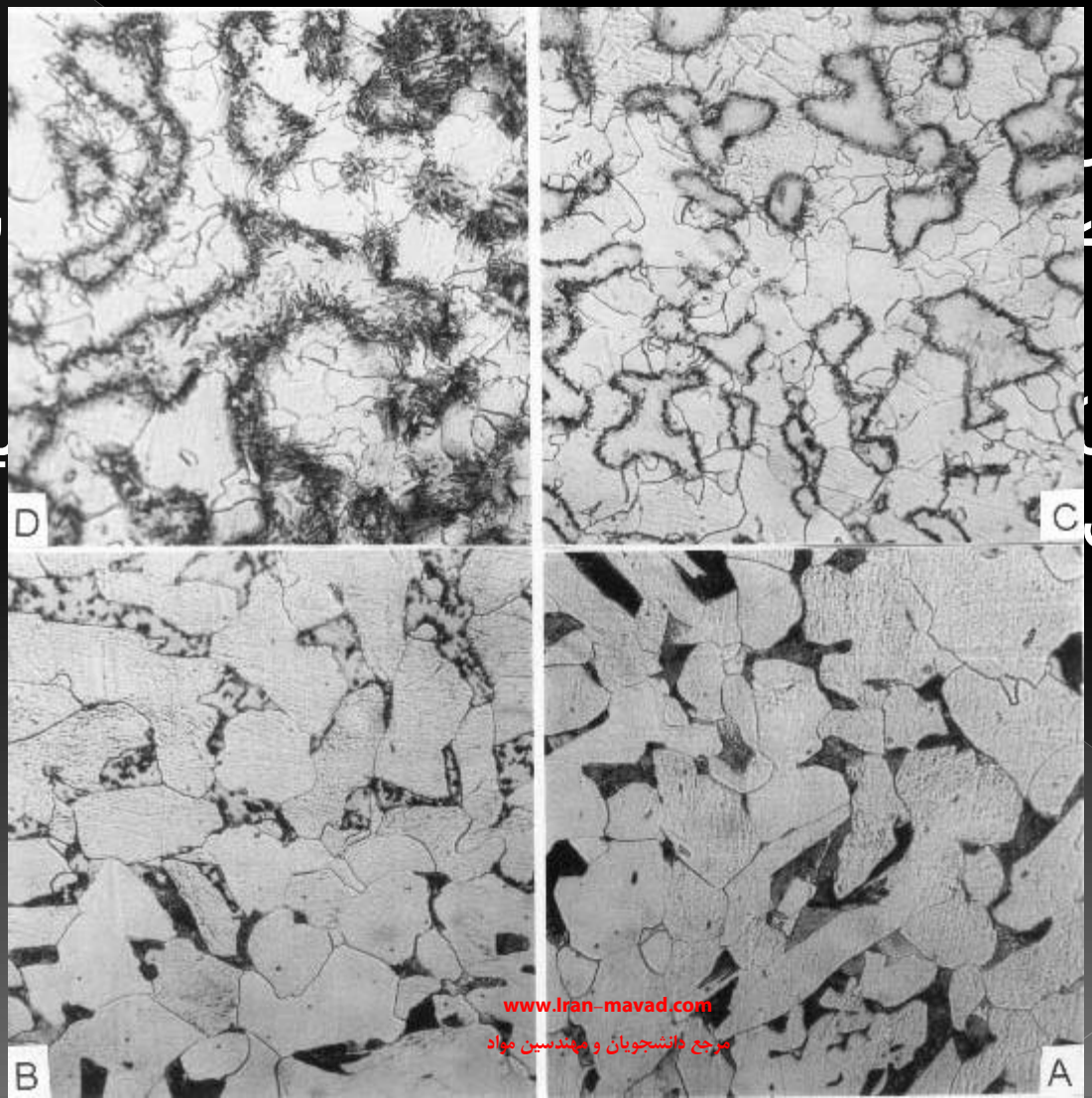
تاثیر پاسهای چندتایی بر ریزدانه تر کردن منطقه تحت تاثیر حرارت



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

مارتنزیت در ساختار HAZ فولاد کم کربن

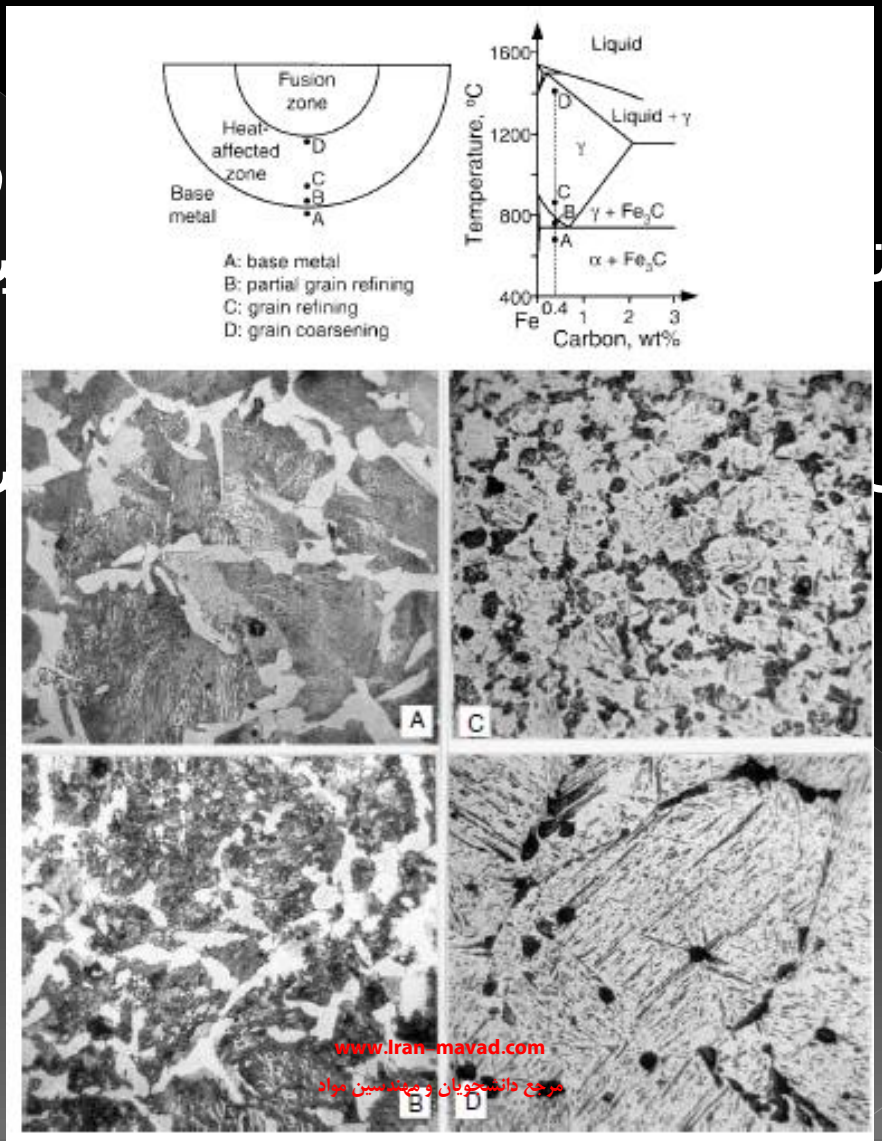
- بدلیل کر
  در
  منطقه ت
  ست
  اما ...
- در جوشـ
  ل
  مارتنزیت



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

منطقه تحت تاثیر حرارت فولادهای پرکربن

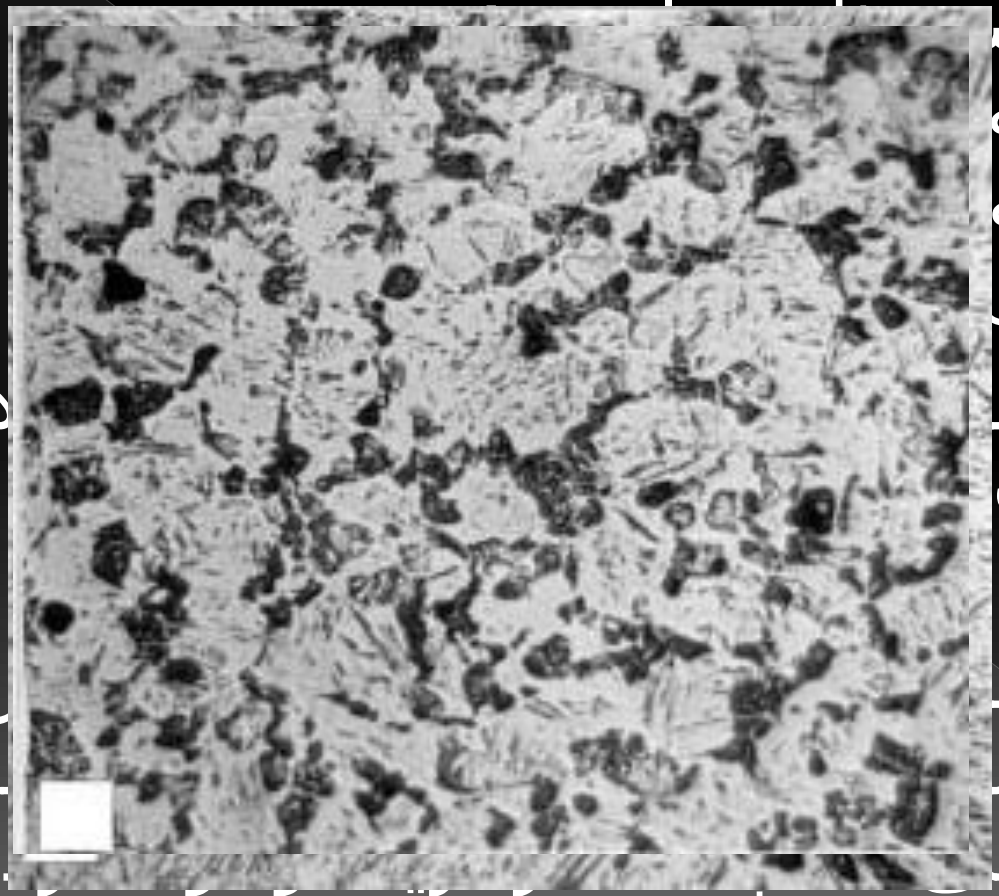
- فولادهای را فولادهای
با کربن متین 1-0.5%
را پر کربن
- جوشکاری سخت تر از
فولادهای



AISI 1040
TIG

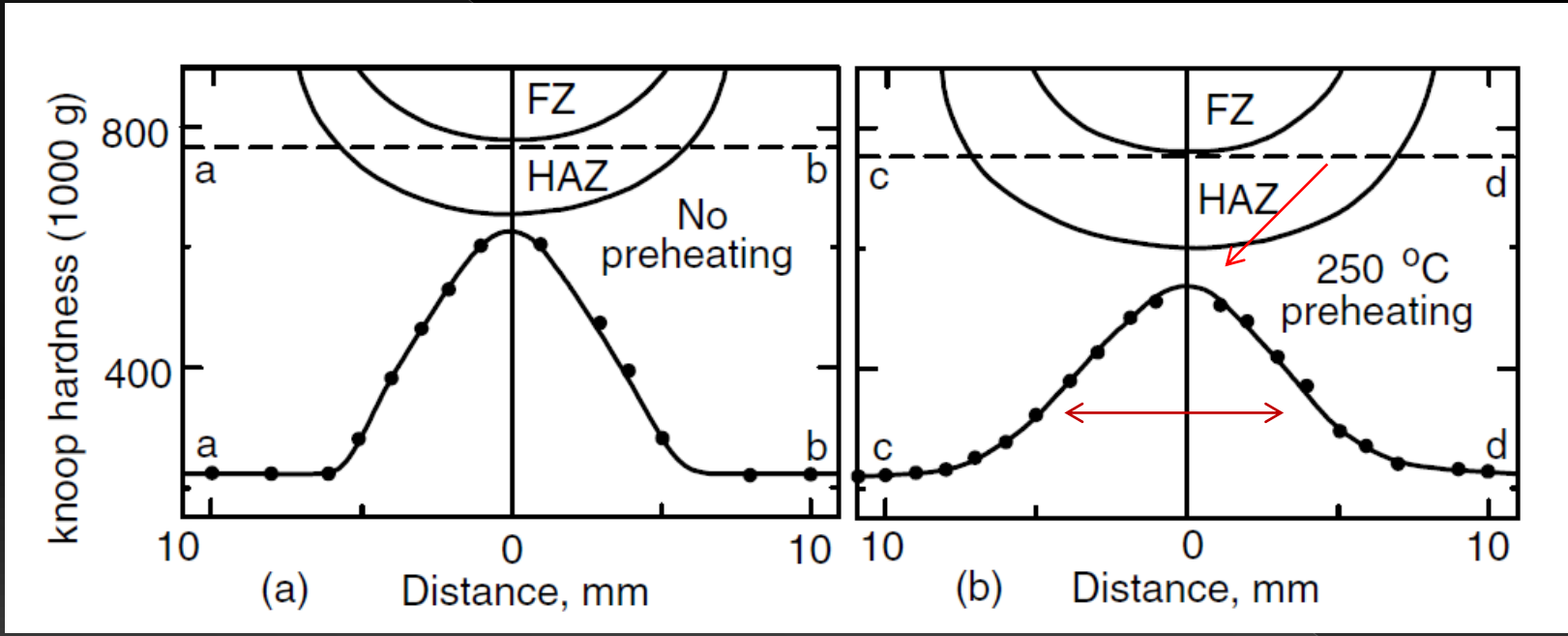
منطقه تحت تاثیر حرارت فولادهای پرکربن

- شامل س
  - منطقه
  - ریزدانه
  - درشت
- در منطق
  آستنیت
  تشکیل
- در منطق
  ریزدانه ب
  است ول



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

جلوگیری از تشکیل مارتنزیت در فولاد پر کربن



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

ناحیه تحت تاثیر حرارت در فولادهای HSLA

- معمولا دارای استحکام تسلیم بالای 550 MPa-220 هستند.
- عناصر کاربید/نیترید ساز مانند نائوبیم، وانادیم، تیتانیوم و ... در حد بسیار کم به آنها به دو جهت اضافه می شود:
  - ریزدانه کردن و به این ترتیب افزایش استحکام
  - رسوب گذاری و افزایش استحکام

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

تاثیر وجود نیتریدها و کاربیدها

- کاربیدها و نیتریدها بعنوان مانعی برای رشد مرزهای دانه در منطقه تحت تاثیر حرارت عمل می کنند.
- درصورت افزایش دما احتمال تجزیه این کاربیدها/نیتریدها وجود دارد در این میان نیترید تیتانیم پایدارترین ذره می باشد.
- به پیشگرم زیادی برای جوشکاری نیاز ندارند.
- میزان پیشگرم با ضخامت، مقدار آلیاژ و میزان کربن تغییر میکند. چرا؟

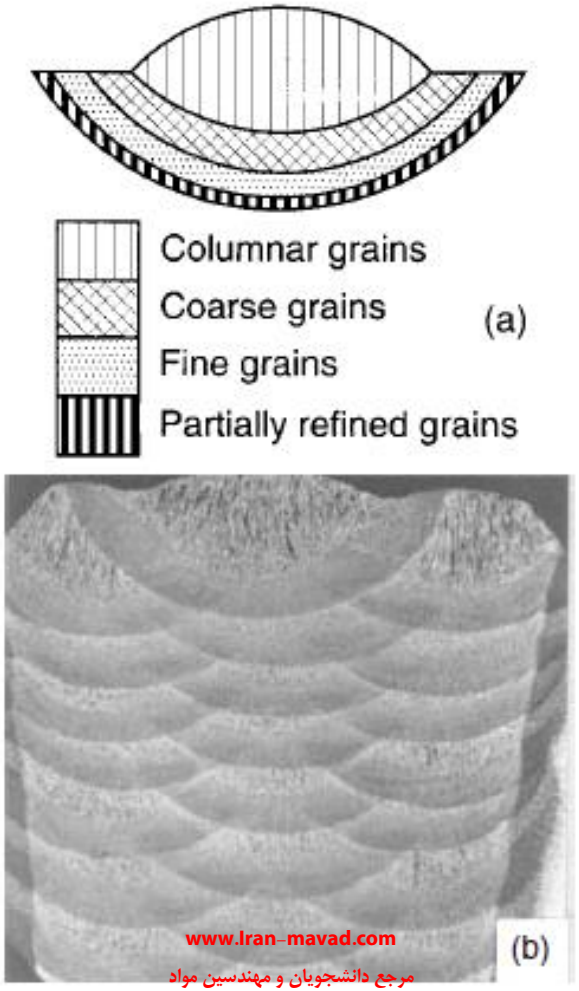
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

متالورژی جوشکاری

جلسه ششم

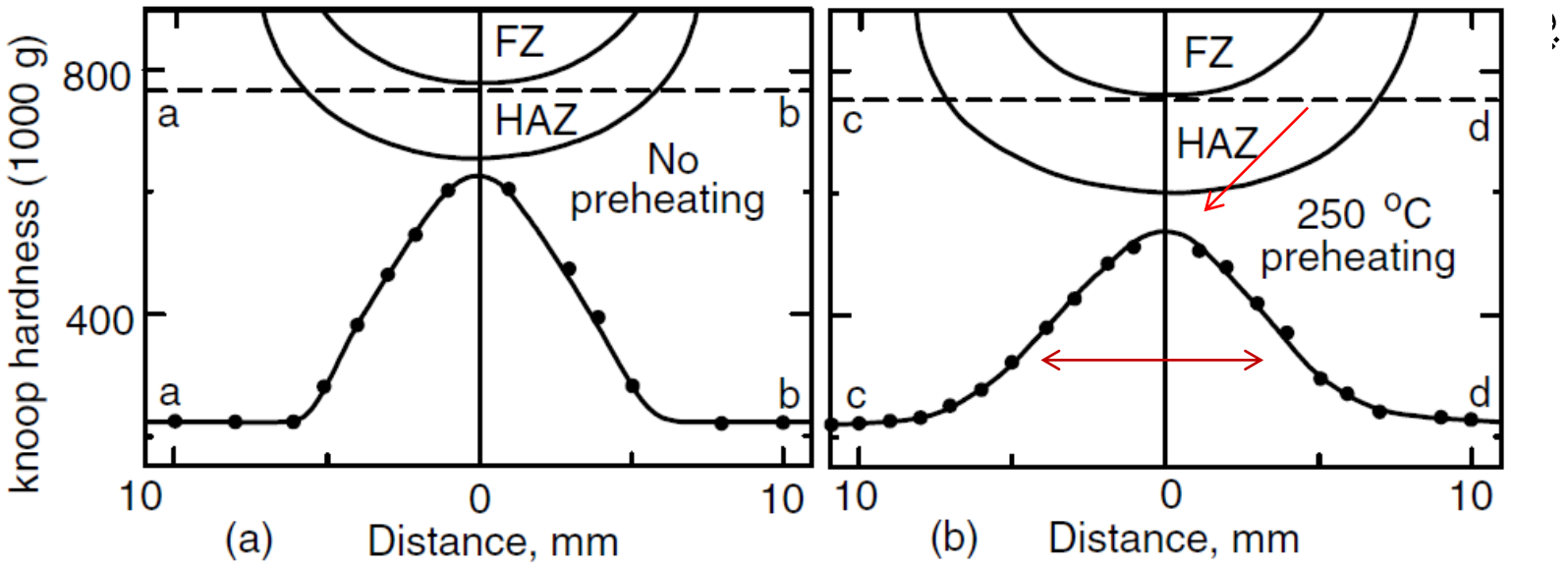
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

تاثیر پاسهای چندتایی بر ریزدانه تر کردن منطقه تحت تاثیر حرارت



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

جلوگیری از تشکیل مارتنزیت در فولاد پر کربن



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

ناحیه تحت تاثیر حرارت در فولادهای HSLA

- معمولا دارای استحکام تسلیم بالای ۲۲۰-۵۵۰ MPa هستند.
- عناصر کاربید/نیترید ساز مانند نائوبیم، وانادیم، تیتانیوم و ... در حد بسیار کم به آنها به دو جهت اضافه می شود:
  - ریزدانه کردن و به این ترتیب افزایش استحکام
  - رسوب گذاری و افزایش استحکام

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

تاثیر وجود نیتریدها و کاربیدها

- کاربیدها و نیتریدها بعنوان مانعی برای رشد مرزهای دانه در منطقه تحت تاثیر حرارت عمل می کنند.
- درصورت افزایش دما احتمال تجزیه این کاربیدها/نیتریدها وجود دارد در این میان نیترید تیتانیم پایدارترین ذره می باشد.
- به پیشگرم زیادی برای جوشکاری نیاز ندارند.
- میزان پیشگرم با ضخامت، مقدار آلیاژ و میزان کربن تغییر میکند. چرا؟

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

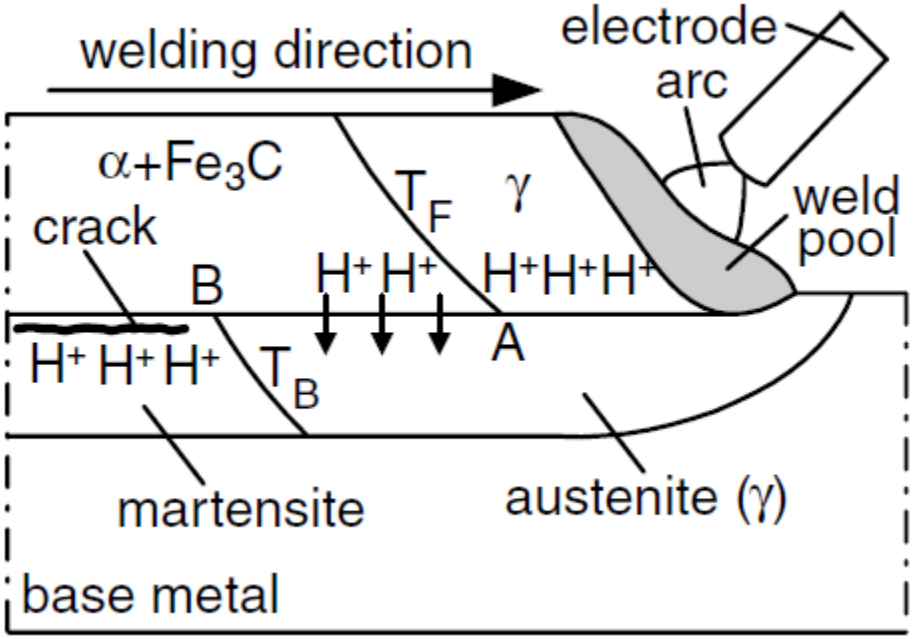
عیوب جوش در منطقه HAZ

- ترک هیدروژنی
- ترک گرم کردن مجدد
- ترک های صفحه ای

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

ترک هیدروژنی

- ترک هیدرژنی به چهار شرط نیازمند است:
  - وجود هیدروژن در فلز جوش
  - دمای نسبتا
  - ساختارحساس
  - وجود تنش ز
- با توجه که دم
  سرد نام برده ه
  عنوان "ترک ت



عنوان ترک
ه است با

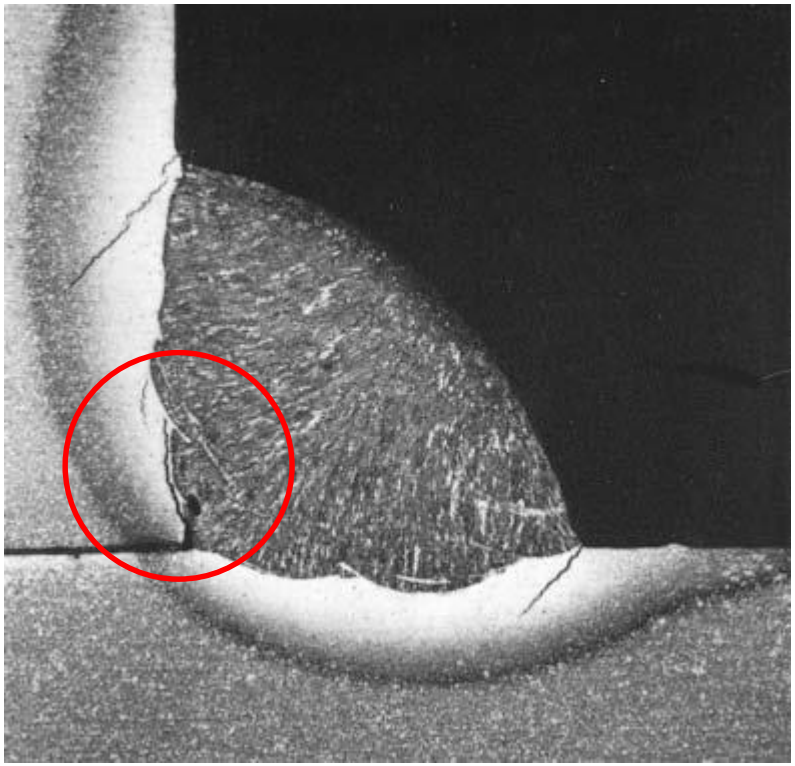
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

مکانیزم ترک هیدروژنی

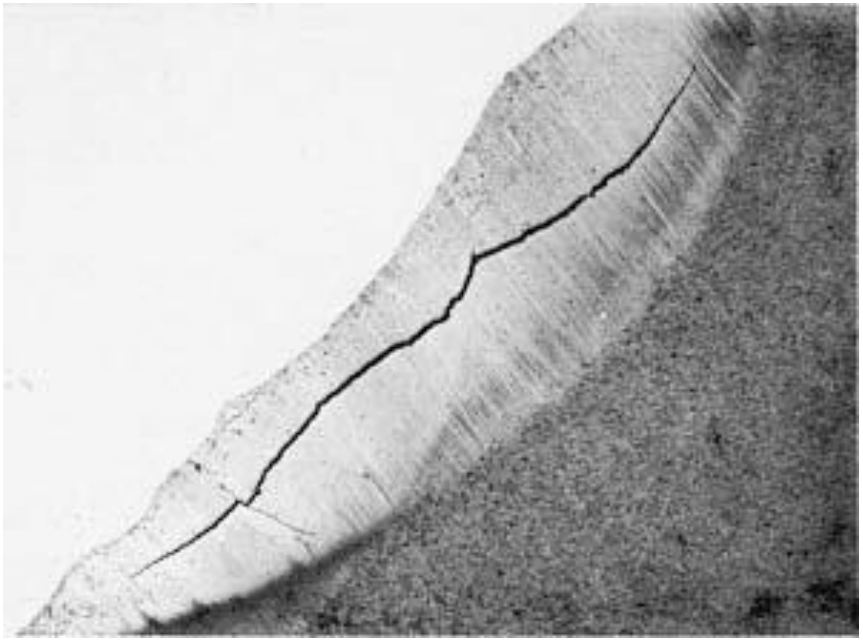
- هیدروژن در فاز آستنیت به مقدار زیادی حل می شود.
- اما با تشکیل فریت و پرلیت در ناحیه پشتی جوش و درصد انحلال کمتر آنها، هیدروژن به داخل آستنیت پس زده می شود. سرعت نفوذ هیدروژن در آستنیت کند و زمانبر است.
- در این حین با توجه به درصد کربن پایین تر فلز جوش این فلز با سرعت بیشتری به فاز فریت-پرلیت تبدیل می شود و به این ترتیب فلز پایه در منطقه HAZ شانس بیشتری برای تبدیل شدن به مارتنزیت دارد.
- قرارگیری همزمان مارتنزیت و هیدروژن به تشکیل ترک می انجامد.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

ترک هیدروژنی



فولاد ساده کربنی 1040

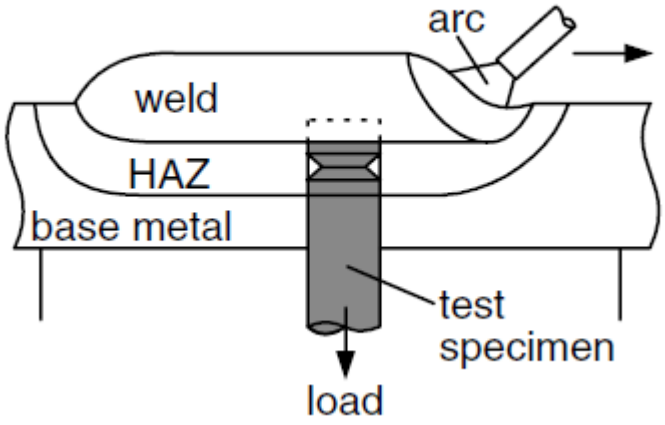


فولاد کم آلیاژ

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

تشخیص حساسیت به ترک هیدروژنی

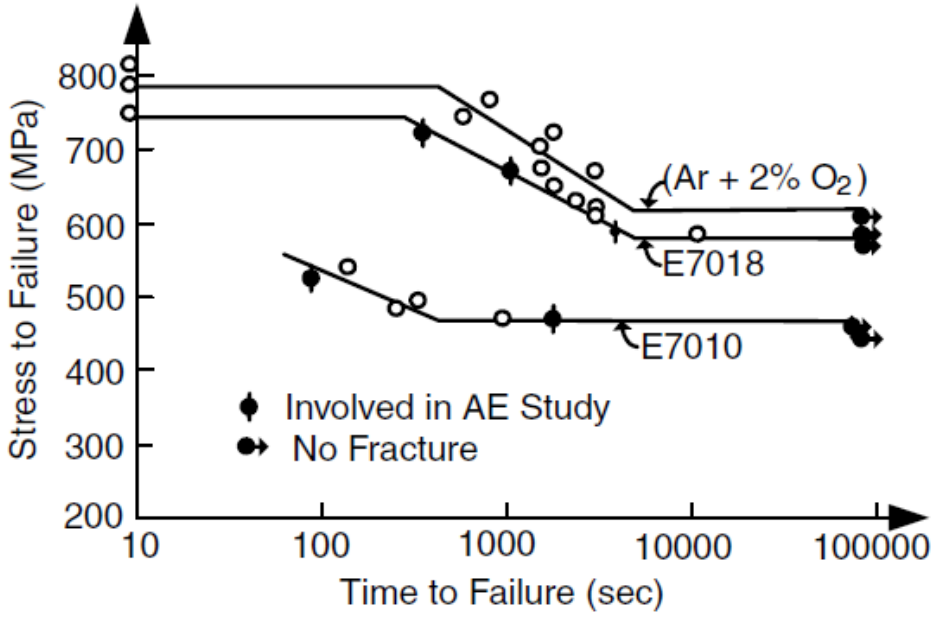
- روش ایمپلنت
- نمونه ای ترکدار از جنس فلز پایه درون حفره به گونه ای قرار می گیرد که سر آن در منطقه ذوب و منطقه ترک در منطقه HAZ باشد و پس از جوشکاری پیش از سرد شدن کامل نمونه تحت کشش قرار می گیرد.



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

تشخیص حساسیت به ترک هیدروژنی

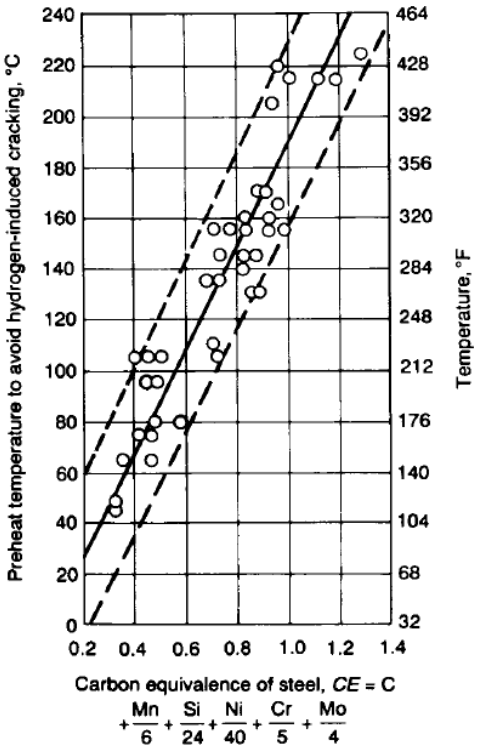
- در این تصویر که برای فولاد HSLA خط لوله نشان داده شده:
  - بهترین خواص در جوشکاری MIG مشاهده می شود.
  - الکترود با غلاف قلیایی (کم هیدروژن) رفتار مناسبی دارد.
  - الکترود سلولزی بدتریت رفتار را نشان می دهد.



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

راه حل های جلوگیری از ترک هیدروژنی

- انتخاب دمای پیشگرم و بین پاس مناسب
  - دمای پیشگرم مناسب بسیار تحت تاثیر کربن و عناصر آلیاژی است بصورتیکه هر چه درصد کربن معادل بیشتر باشد، دمای پیشگرم نیز بیشتر است.
- عملیات حرارتی پس از جوش
  - کاهش تنش پسماند ناشی از جوشکاری
  - کمک به خروج هیدروژن از ریزساختار
  - معمولا دمای انتخابی چیزی حدود ۶۰۰ درجه است (برای فولادها).



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

راه حل های جلوگیری از ترک هیدروژنی

- استفاده از روشهایی مانند MIG/MAG و یا TIG بجای جوشکاری دستی
- استفاده از الکترود با غلاف قلیایی (کم هیدروژن) بجای سلولزی
- درصورتیکه محفظه حمل الکترودها آب بندی نبوده پیش از مصرف حتما پخت شوند (دمای ۳۰۰ تا ۴۰۰) تا آب آنها تبخیر گردد.
- استفاده از فیلرهایی که استحکام کمتری نسبت به زمینه دارند و یا ضریب نفوذ هیدروژن در آنها پایین است (فیلر متالهای فولاد زنگ نزن آستنیتی).

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

ترک های گرم کردن مجدد

- بیشتر در فولادهای کم آلیاژ فریتی رخ می دهد.
- چون این آلیاژها بیشتر در دمای بالا کاربرد دارند و مقاومت به خزش خوبی دارند برای حذف تنش و جلوگیری از شکست هیدروژنی عملیات حرارتی پس از جوشکاری روی آنها انجام می شود که در حین این عملیات دچار ترک می شوند.
- این آلیاژها معمولا دارای عناصری چون Cr، Mo، V و Nb هستند.
- این ترک ها در HAZ و در نزدیکی منطقه PMZ روی میدهند و معمولا بین دانه ای هستند.
-

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

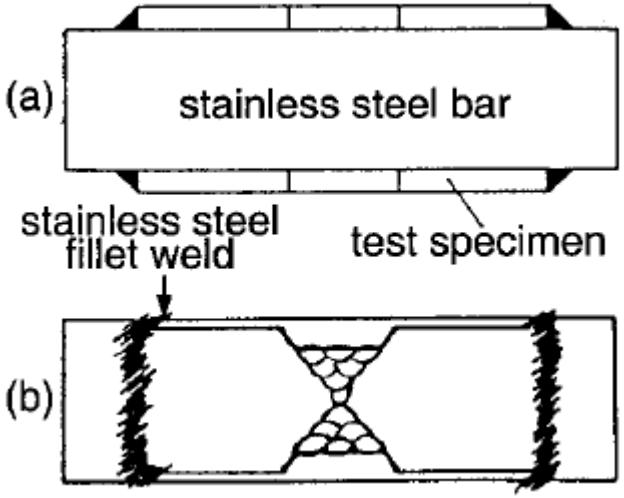
علت ایجاد ترک های گرم کردن مجدد

- در این نوع آلیاژها عناصر کاربیدساز وجود دارند که کاربیدهای بسیار ریزی را ایجاد کرده اند.
- این کاربیدها در دمای بالای جوشکاری در زیزساختار حل شده ولی در سرد کردن فرصت تشکیل کاربید را نمی یابد ولی زمینه مارتنزیتی و یا شبیه آن است.
- در عملیات حرارتی پس از جوشکاری این کاربیدها فرصت پیدا کرده و در منطقه درون دانه های آستنیت سابق بوجود می آیند و آن مناطق را سخت می کنند درحالیکه هنوز تنش از ساختار بیرون نرفته همین امر منجر به رشد ترک میشود.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

روش تشخیص حساسیت به ترک خوردگیگرم کردن مجدد

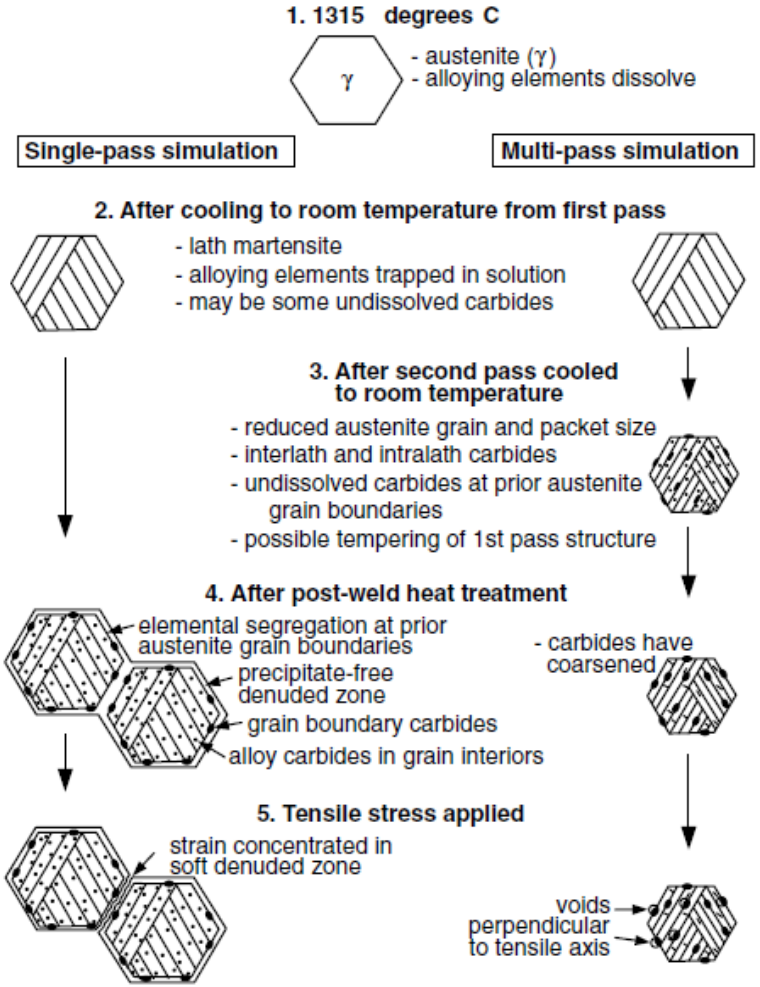
- ساخت نمونه ای مانند آزمون ضربه چارپی با شکافی V شکل و قرار دادن نمونه در دمای حساسیت (۶۰۰) و اعمال تنش.
- استفاده از آزمون Vinckier
  - اعمال تنش در این آزمون از طریق اختلاف ضریب انبساط فولاد زنگ نزن (زیاد) و فلز در عملیات گرم کردن مجدد است.



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

راه های جلوگیری از بروز ترک های گرم کردن مجدد

- استفاده از چند پاس به جای یک پاس
- کاهش تنش



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

متالورژی جوشکاری

جلسه هفتم و هشتم

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

ترک های گرم کردن مجدد

- بیشتر در فولادهای کم آلیاژ فریتی رخ می دهد.
- چون این آلیاژها بیشتر در دمای بالا کاربرد دارند و مقاومت به خزش خوبی دارند برای حذف تنش و جلوگیری از شکست هیدروژنی عملیات حرارتی پس از جوشکاری روی آنها انجام می شود که در حین این عملیات دچار ترک می شوند.
- این آلیاژها معمولا دارای عناصری چون Cr، Mo، V و Nb هستند.
- این ترک ها در HAZ و در نزدیکی منطقه PMZ روی میدهند و معمولا بین دانه ای هستند.
-

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

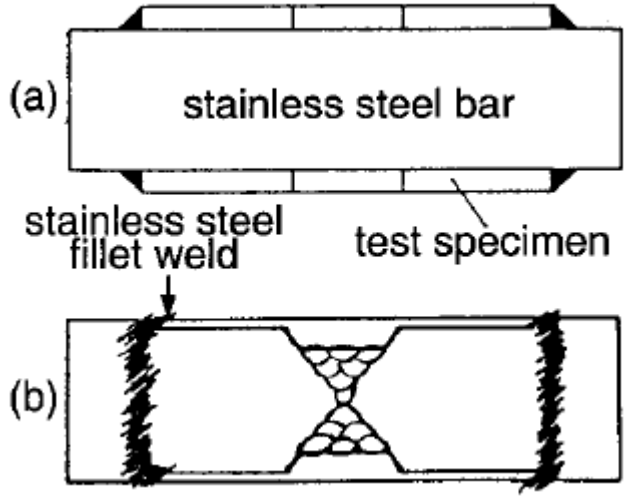
علت ایجاد ترک های گرم کردن مجدد

- در این نوع آلیاژها عناصر کاربیدساز وجود دارند که کاربیدهای بسیار ریزی را ایجاد کرده اند.
- این کاربیدها در دمای بالای جوشکاری در زیزساختار حل شده ولی در سرد کردن فرصت تشکیل کاربید را نمی یابد ولی زمینه مارتنزیتی و یا شبیه آن است.
- در عملیات حرارتی پس از جوشکاری این کاربیدها فرصت پیدا کرده و در منطقه درون دانه های آستنیت سابق بوجود می آیند و آن مناطق را سخت می کنند درحالیکه هنوز تنش از ساختار بیرون نرفته همین امر منجر به رشد ترک میشود.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

روش تشخیص حساسیت به ترک خوردگیگرم کردن مجدد

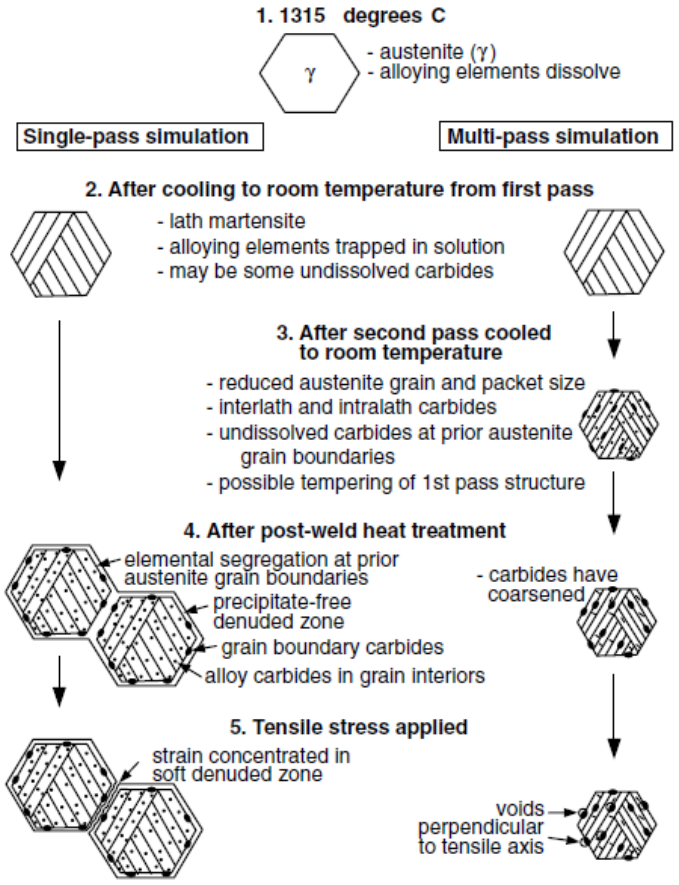
- ساخت نمونه ای مانند آزمون ضربه چارپی با شکافی V شکل و قرار دادن نمونه در دمای حساسیت (۶۰۰) و اعمال تنش.
- استفاده از آزمون Vinckier
  - اعمال تنش در این آزمون از طریق اختلاف ضریب انبساط فولاد زنگ نزن (زیاد) و فلز در عملیات گرم کردن مجدد است.

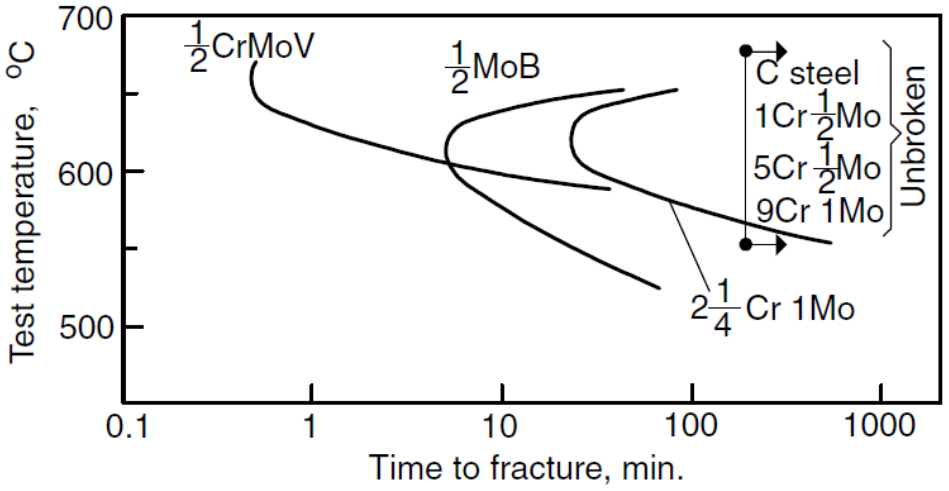


www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

راه های جلوگیری از بروز ترک های گرم کردن مجدد

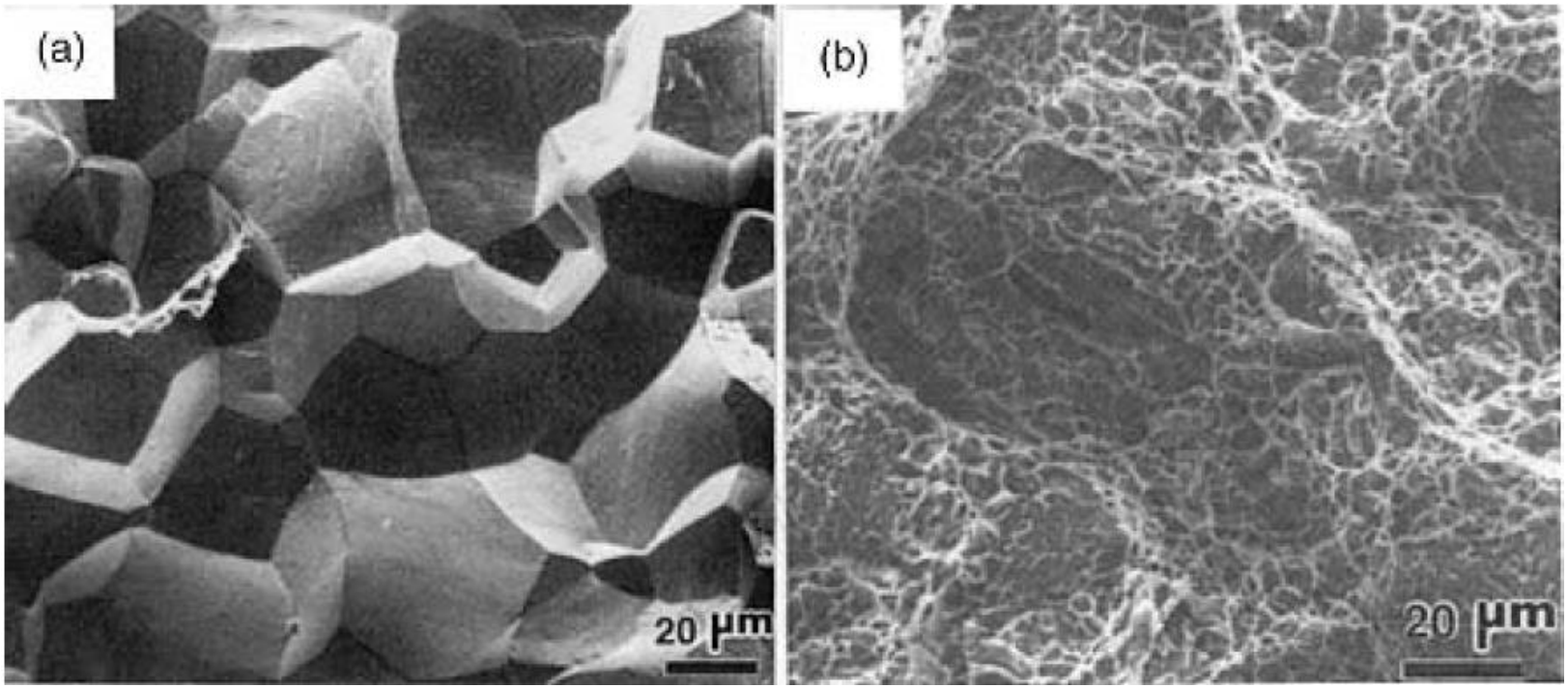
- استفاده از چند پاس به جای یک پاس
- کاهش تنش از طریق کاهش قیود جوشکاری





www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

تفاوت سطح شکست در جوش چند پاس با جوش تک پاس



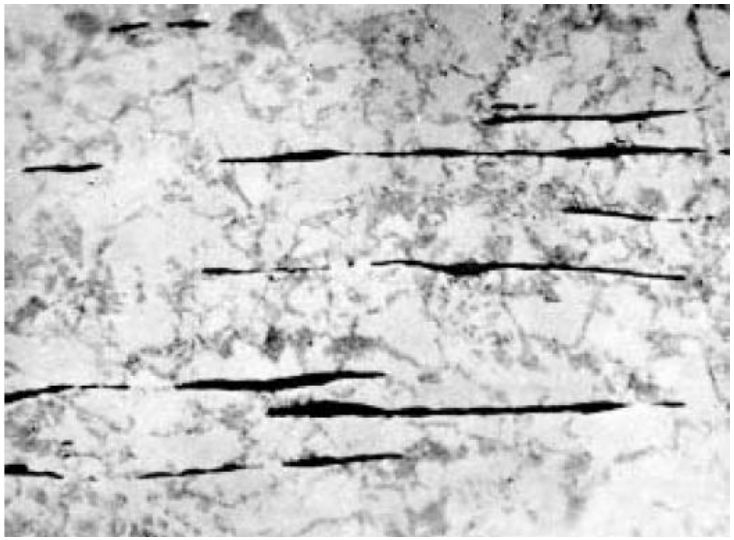
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

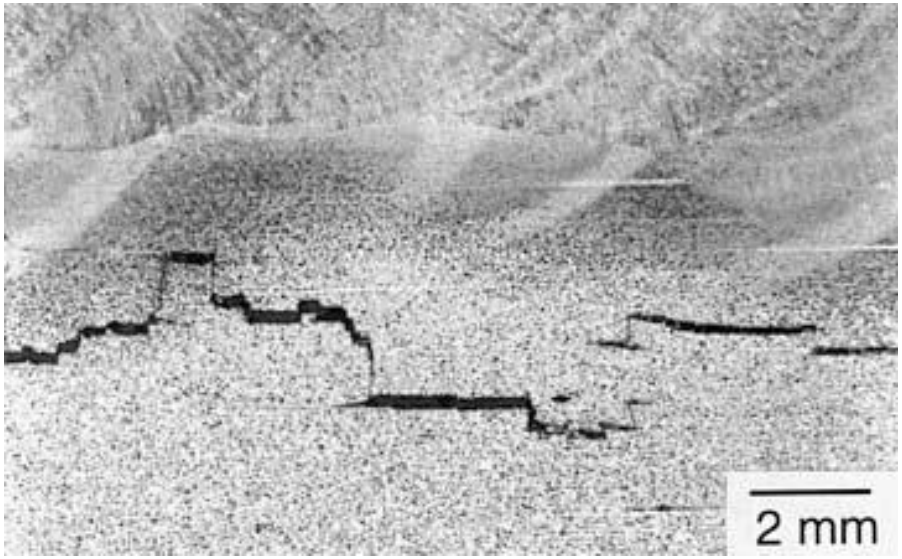
پارگی ورقه ای

- محل قرارگیری این نوع از عیوب در بیرون منطقه تحت تاثیر حرارت و بر روی فلز پایه است.
- علت بروز این پدیده گسستگی است که در محل آخال های غیر فلزی (مانند سولفیدها) با زمینه رخ می دهد.
- این نوع آخال ها معمولا در جهت نورد کشیده می شوند بنابراین این ترک ها نیز در جهت نورد کشیده شده اند.
- وجود هیدروژن می تواند به تشدید شرایط برای تشکیل ترک منجر شود. بنابراین استفاده از الکترودهای سلولزی برای مثال برای اینکار توصیه نمی گردد (E7010).
- استفاده از الکترودهای دارای رفتار نرم تر می تواند تنش را کنترل کرده و مانع از ایجاد این ترک در ریز ساختار گردد.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

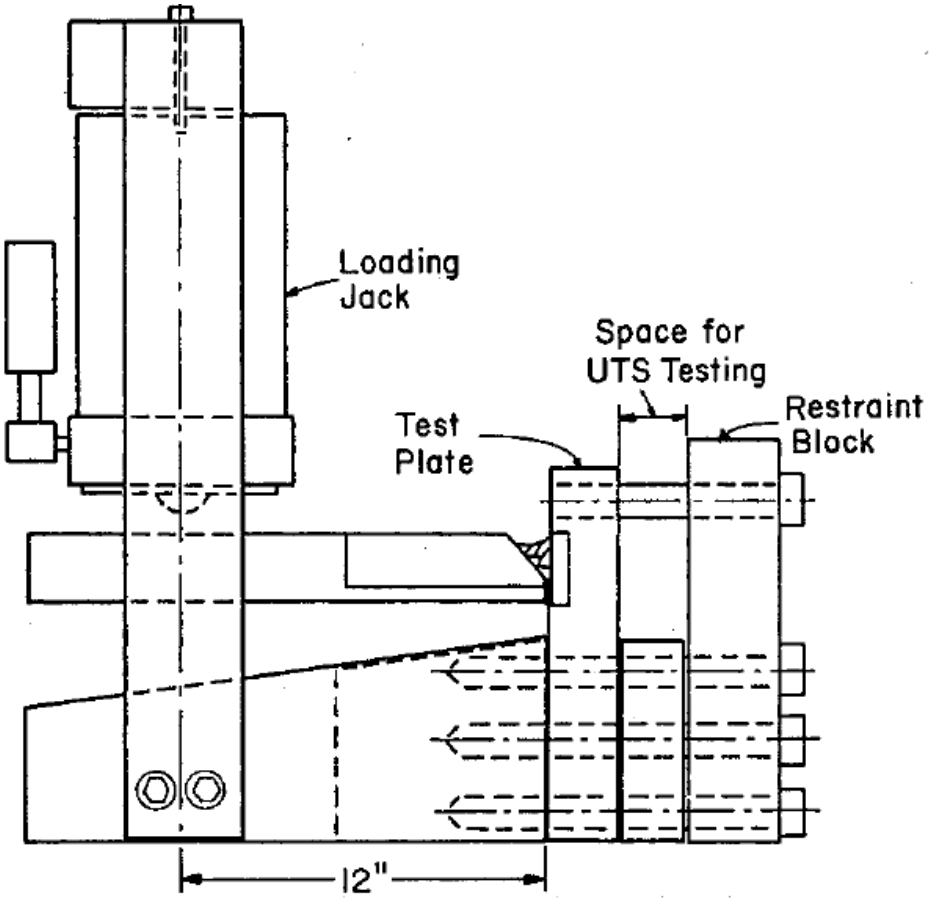
تصاویر پارگی ورقه ای





www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

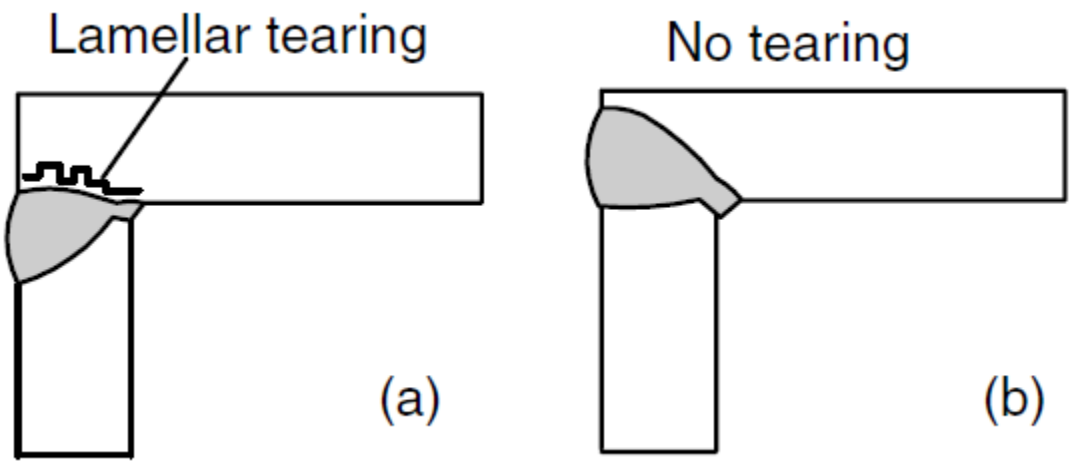
آزمون حساسیت به پارگی لایه ای



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

راه حل جلوگیری از پارگی لایه ای

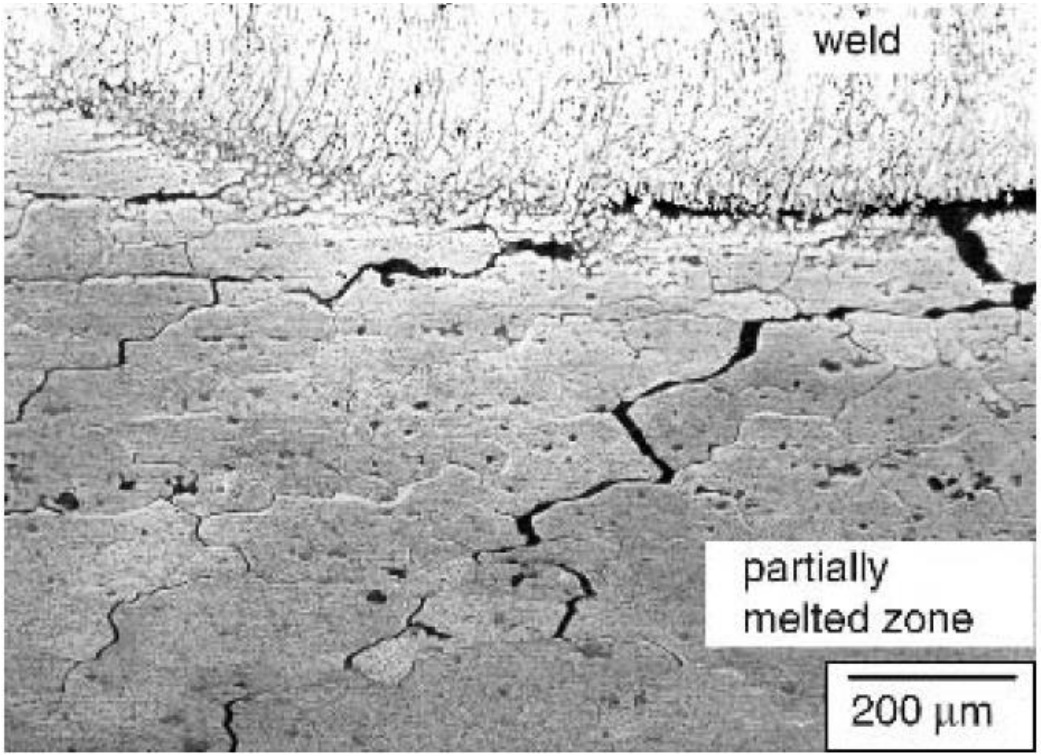
- با اصلاح طراحی بصورتی که تنش های کششی ناشی از جوش بیشتر در جهت طولی نورد قرار گیرد تا جهت عمود بر آن می تواند به کاهش احتمال ترک گردد.



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

ترک داغ

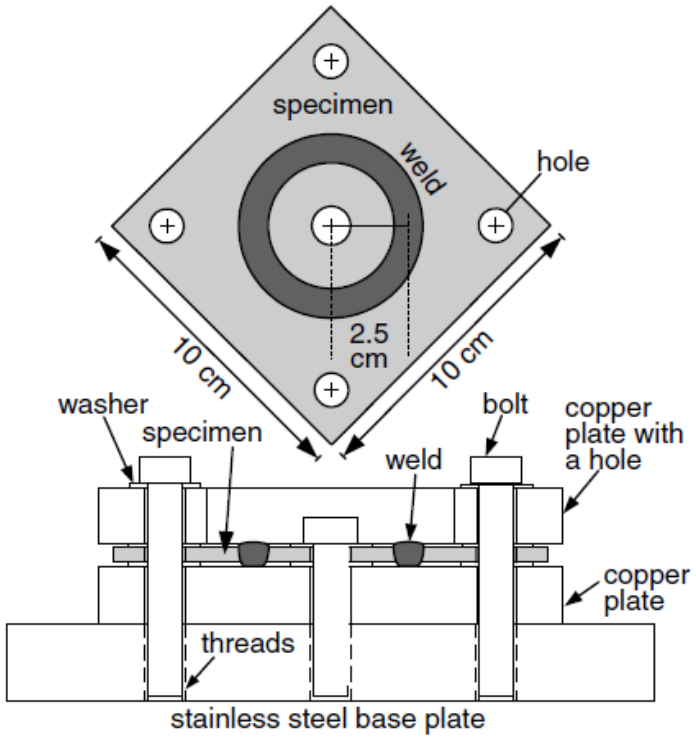
- این ترک در منطقه نیمه ذوبی و در اثر ذوب مرزهای دانه اتفاق می افتد.
- این اتفاق در مورد آلیاژهای آلومینیوم بسیار شدیدتر است.



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

روش بررسی حساسیت به خوردگی داغ

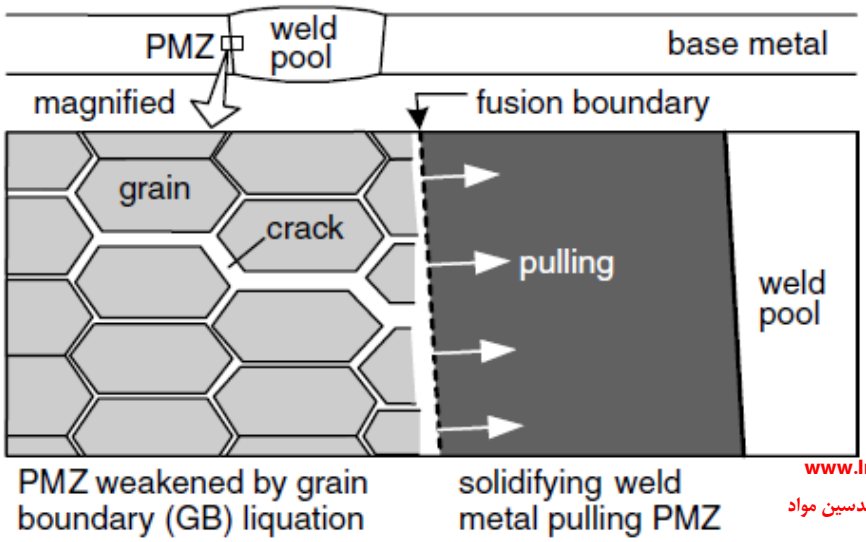
- ترک ها در منطقه خارجی دایره اتفاق می افتد و نه در منطقه داخلی. چرا؟

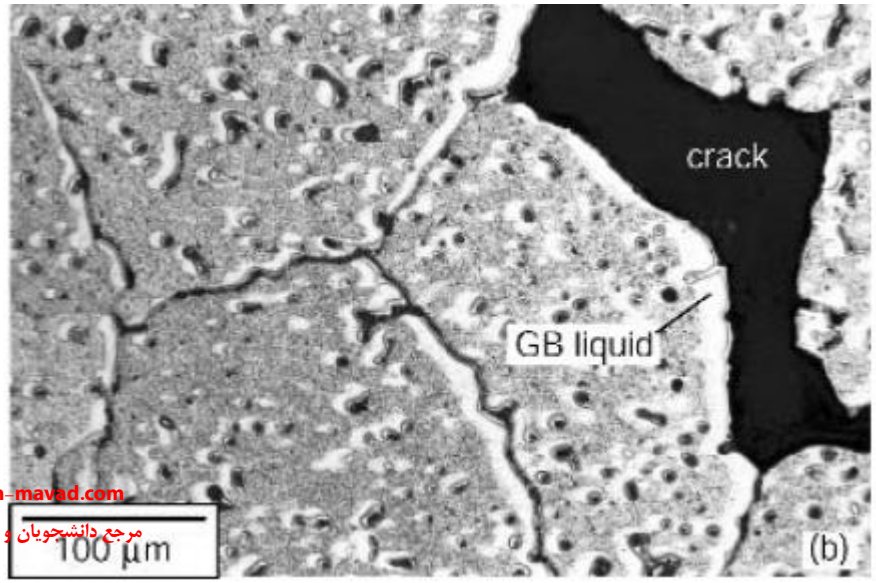


www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

مکانیزم ترک خوردگی داغ

- در اثر انجماد فاز مذاب و انقباض پدید آمده در آن به منطقه نیمه ذوب تنش وارد میشود و به این ترتیب دانه ها دچار گسست می شوند.
- آلومینیوم بدلیل ضریب انبساط حرارتی زیاد، انقباض حرارتی بالا و انتقال حرارت بالا احتمال ترک خوردگی داغ افزایش می یابد.
- امیزان انقباض ناشی از انجماد برای آلومینیوم حدود ۶.۶٪ است و انتقال حرارت آن حدود دو برابر آهن است.

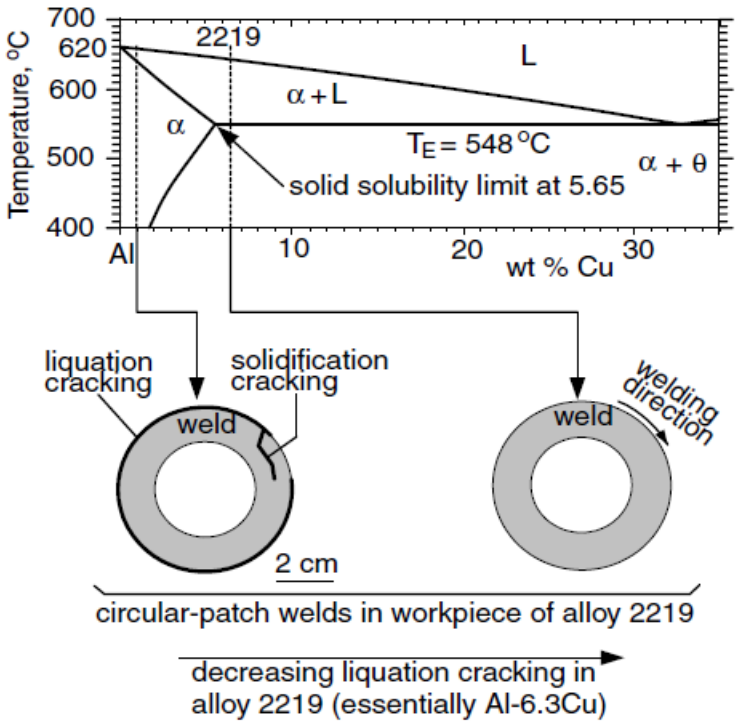




www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

تاثیر ترکیب فلز جوشکاری بر ترک داغ

- در صورت تفاوت غلظت عنصر ثانوی احتمال ترک افزایش می یابد.
- مثال:
- در تصویر سمت چپ میزان فاز جامد در حوضچه بیشتر است بدین ترتیب استحکام بیشتری نیز دارد.



$$f_L = \left(\frac{(-m_L)C_o}{T_m - T} \right)^{1/1-k}$$

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

تنش های پسماند

- تنش هایی هستند که حتی پس از برداشتن نیروهای خارجی در ماده باقی می مانند بهمین دلیل با نام تنش های داخلی نیز شناخته می شوند.
- تنش های پسماند در اثر گرم و یا سرد کردن ناگهانی در قطعه ذخیره می گردند.
- میزان این تنش های پسماند گاهی به بیش از مقدار تنش تسلیم ماده می رسد که می تواند به تغییر پلاستیک ماده بیانجامد.
- وجود تنش های پسماند می تواند به وقوع ترک هیدروژنی و خوردگی تنشی منجر شود.
- انجام عملیات حرارتی پس از جوشکاری برای کاهش این نوع از تنش هاست.
- استفاده از ساچمه پاشی، پیشگرم می تواند به کاهش این تنش ها کمک کند.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

مثالی برای نحوه شکل گیری تنش داخلی

- در هنگام سرد کردن تنش پسماند در میله های کناری کششی و معادل نصف تنش فشاری موجود در میله میانی است.

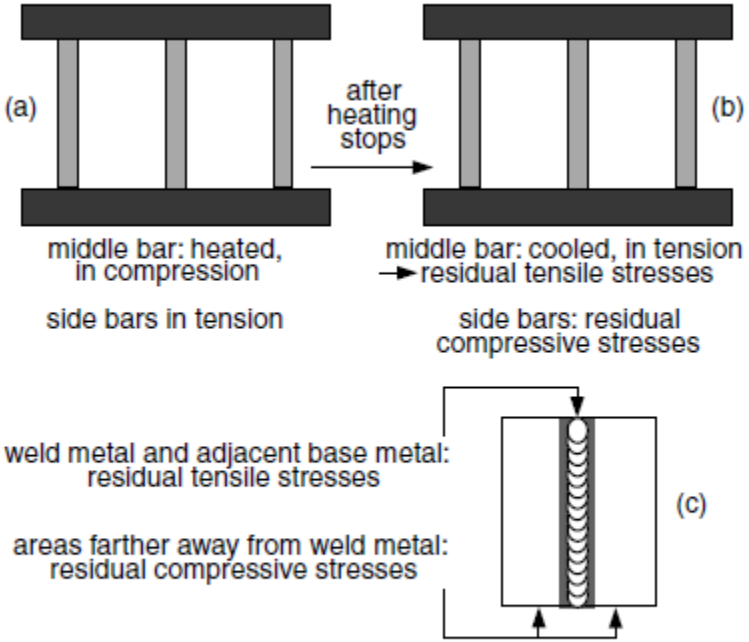
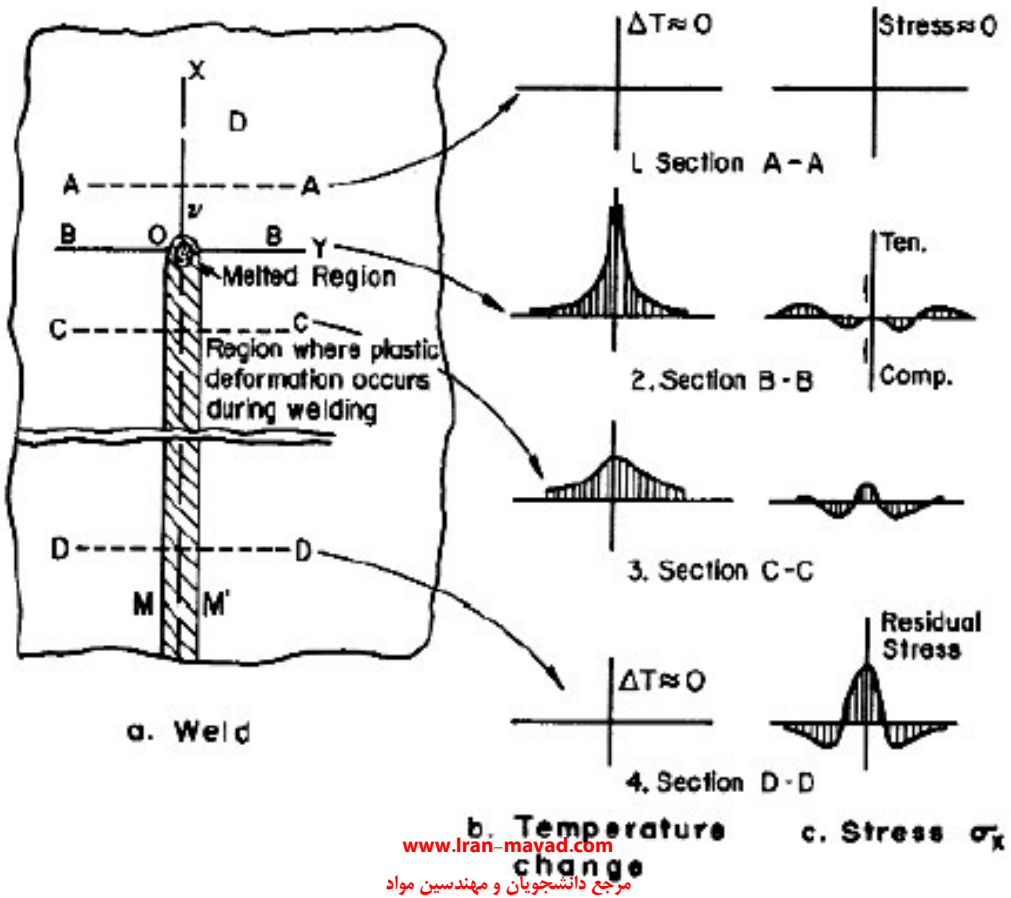


Figure 5.1 Thermally induced stresses: (*a*) during heating; (*b*) during cooling; (*c*) residual stresses in weld.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

نحوه توزیع تنش در جوشکاری

- در مقطع (A-A) چون در جلوی منطقه جوشکاری است تغییرات دمایی زیاد نیستند و به این ترتیب تنش ایجاد نمی گردد
- در مقـ حوضچه تنش فشار
- در ناحـ می گیرد.
- در نهـ ید.



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

تاثیر زمان تنش زدایی

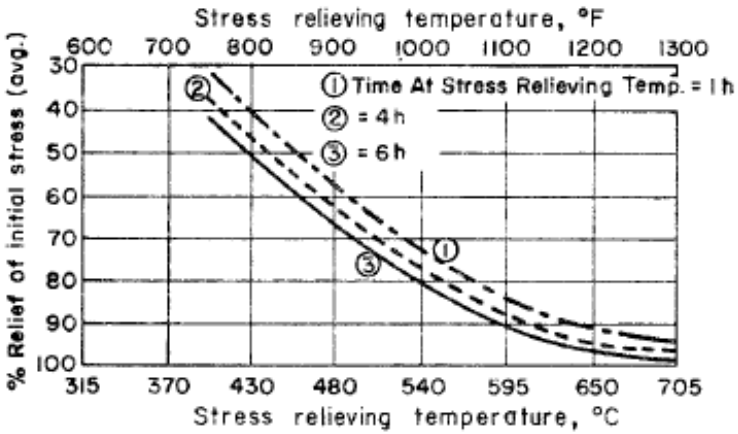


TABLE 5.1 Typical Thermal Treatments for Stress Relieving Weldments

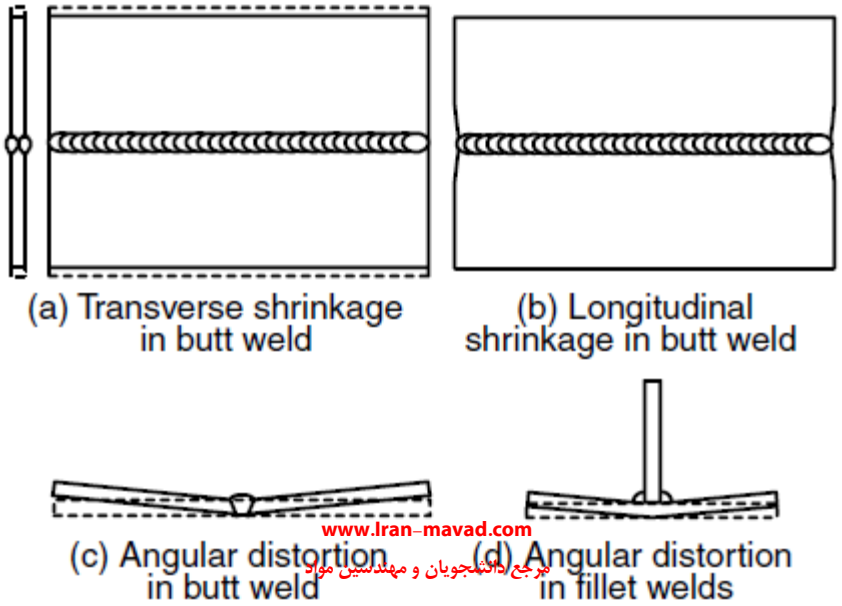
Material	Soaking Temperature (°C)
Carbon steel	595–680
Carbon–½% Mo steel	595–720
½% Cr–½% Mo steel	595–720
1% Cr–½% Mo steel	620–730
1¼% Cr–½% Mo steel	705–760
2% Cr–½% Mo steel	705–760
2¼% Cr–1% Mo steel	705–770
5% Cr–½% Mo (Type 502) steel	705–770
7% Cr–½% Mo steel	705–760
9% Cr–1% Mo steel	705–760
12% Cr (Type 410) steel	760–815
16% Cr (Type 430) steel	760–815
1¼% Mn–½% Mo steel	605–680
Low-alloy Cr–Ni–Mo steels	595–680
2–5% Ni steels	595–650
9% Ni steels	550–585
Quenched and tempered steels	540–550

Source: *Welding Handbook* (2).

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

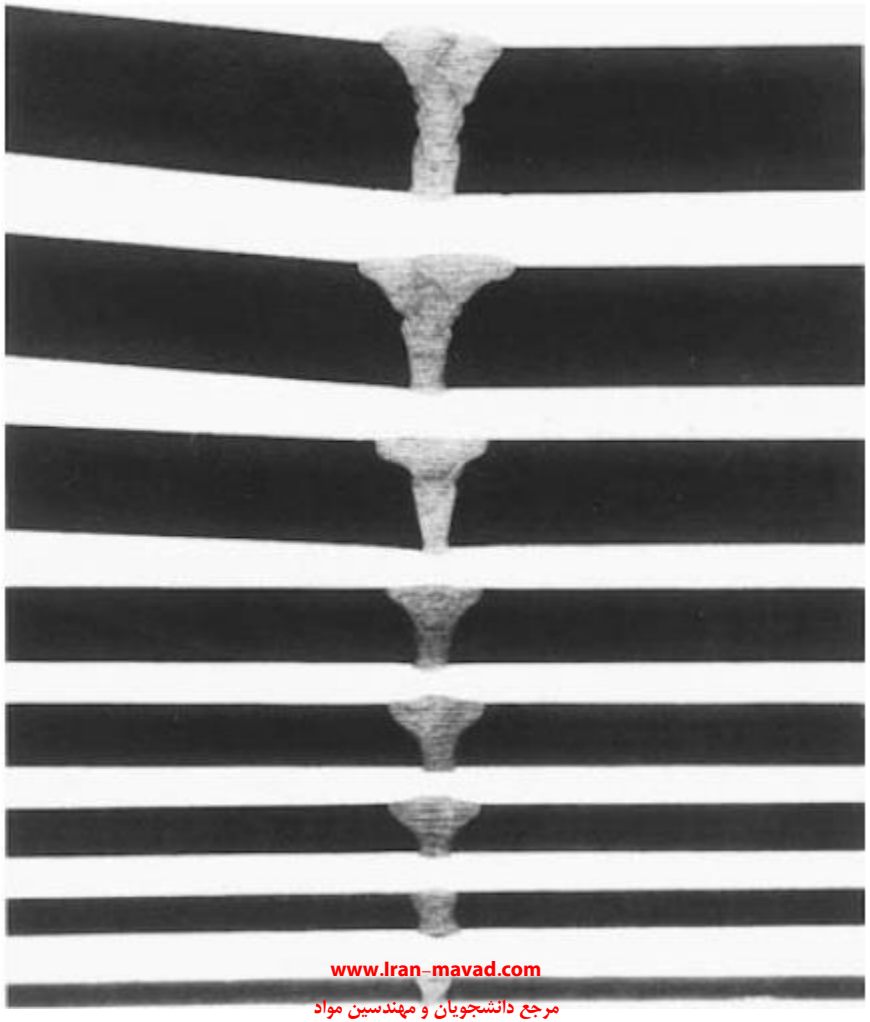
وقوع پدیده تابیدگی

- بدلیل انقباض ناشی از انجماد و همچنین انقباض فلز پایه در اثر سرد شدن این اتفاق رخ می دهد.
- تابیدگی به سمت بالا زمانی بوجود می آید که جوشکاری لب به لب تنها در سمت بالای ورق انجام شده باشد.
- با افزایش ضخامت میزان پدیده تابیدگی افزایش می یابد.



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

تاثیر ضخامت بر تابیدگی



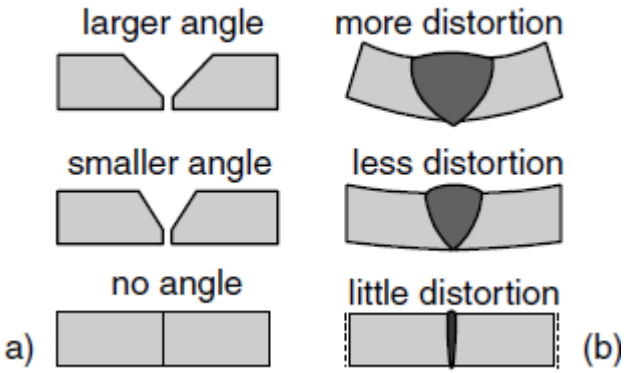
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

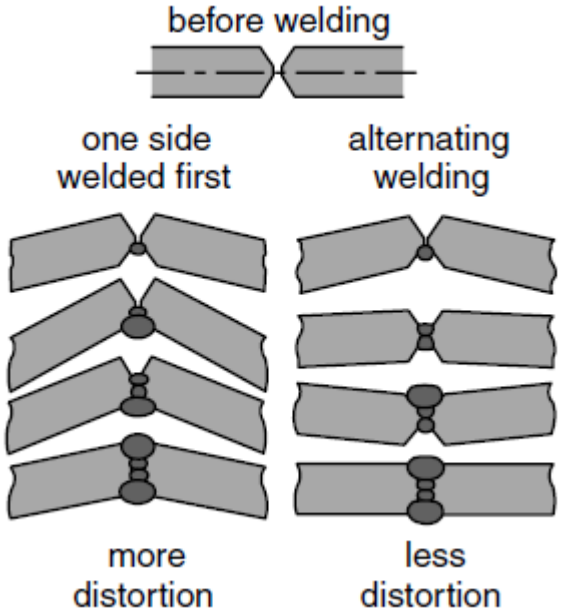
راه های کاهش تابیدگی

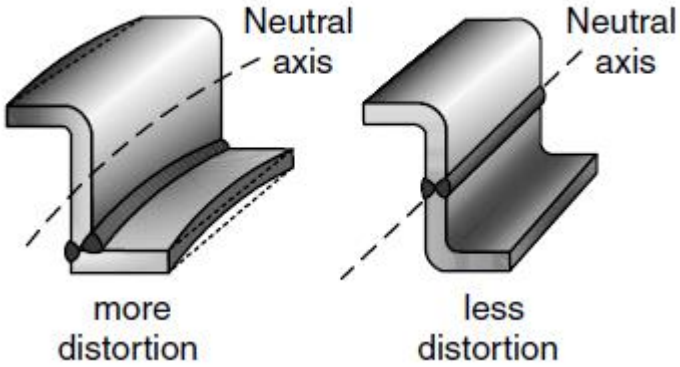
- میزلن زاویه شکاف داده شده برای جوشکاری می تواند به کاهش حجم جوش و در نهایت به کاهش میزان تابیدگی منجر شود.
- استفاده از شکاف های د طرفه V شکل و جوشکاری متناوب در دو طرف آن باعث کاهش تابیدگی خواهد شد.
- جوشکاری در محور خنثی قطعات باعث کم شدن تابیدگی در قطعه می گردد.
- پیش بینی میزان تابیدگی و قرار دادن قطعه بصورتیکه این تنش خنثی گردد از راه های جلوگیری از تابیدگی است.
- استفاده از نگهدارنده قطعه نیز یکی دیگر از این راهکارهاست.

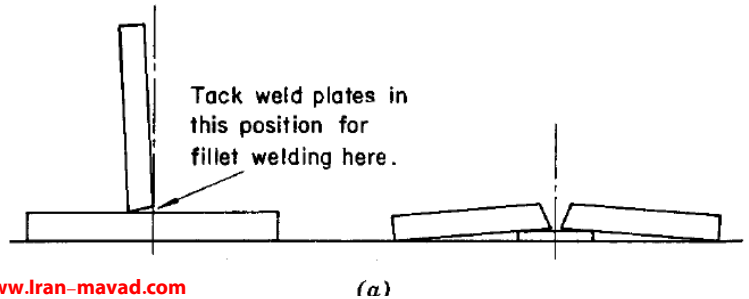
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

شماتیک راه های جلوگیری از تابیدگی









www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد