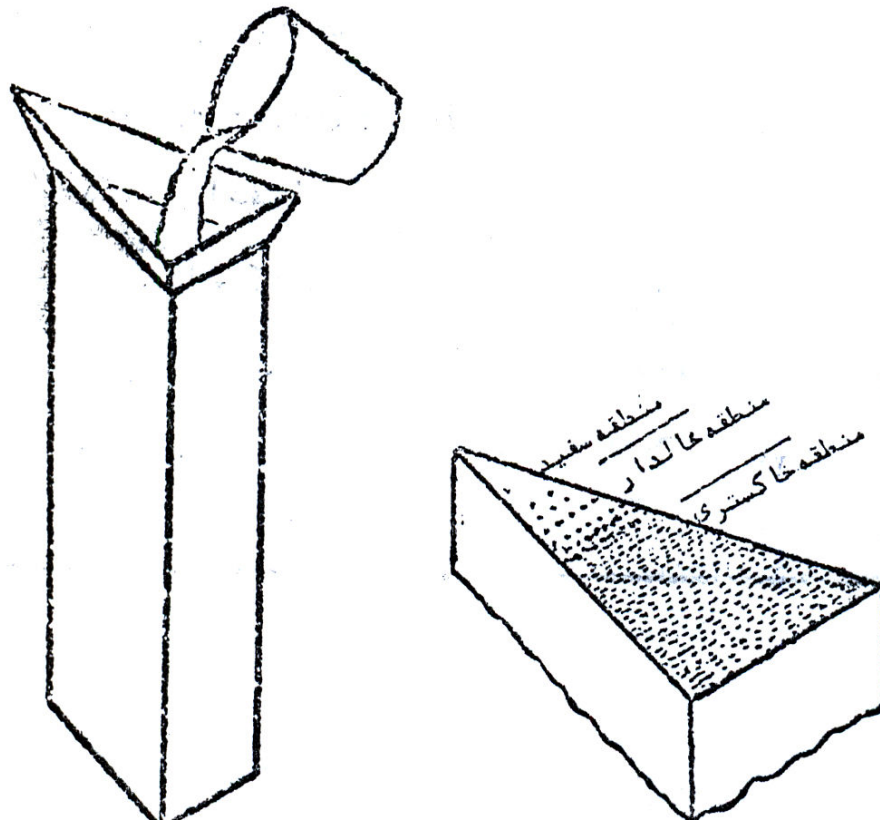


بسمه الله الرحمن الرحيم

استادقنبري دانشگاه آزاد اسلامي  
واحد كرج



آزمایش گوه و کاربرد آن در چدن ریزی  
پیشگفتار:

برای تخمین تمایل چدن خاکستری به سفید شدن آزمایش گوه می تواند نقش مهمی داشته باشد و بیش از سایر آزمایشهای ساده در کنترل کیفیت چدن ریزی بکار رود. این آزمایش ساده که قبل از ریختن مذاب انجام می گیرد دارای نتایجی است که می تواند برای ریخته گران - آموزش دیده و یا بدون آموزش - پر معنی و مفید باشد.

مقصود این مقاله کوتاه معرفی "آزمایش گوه" به کسانی است که تاکنون از آن استفاده نکرده اند و بعلاوه تشریح رابطه میان سفید شدن و مشخصات ریخته گری و خواص متالورژیکی چدن در این مقاله گنجانیده شده است. از طرفی امید می رود آزمایش گوه بتواند بعنوان یک روش ساده و کمکی در کنار سایر آزمایشهای علمی و ریخته گری مورد استفاده قرار گیرد.

نکته مهم که باید تأکید گردد سرعت انجام این آزمایش است، بطوریکه در طول زمانی که مذاب قبل از ریختن وجود دارد می توان با انجام این آزمایش فلز خارج از مشخصات مناسب را تشخیص داد و قبل از ریختن آنرا تصحیح نموده یا غیر قابل استفاده دانست.

سفید شدن چدن:

حالت کربن در چدن تحت تأثیر ترکیب شیمیائی، چگونگی جوانه زدن، و سرعت سرد شدن می باشد. در چدن خاکستری معمولی کربن به حالت آزاد و به شکل ورقه های گرافیت یافت می شود. سطح مقطع تازه شکسته این چدن خاکستری است و چدن نسبتاً نرم و قابل ماشینکاری می باشد.

سرد شدن سریع که در مقاطع نازک اتفاق می افتد و یا توسط مبردها ایجاد می گردد سبب می شود که کربن در حالت ترکیبی و بصورت کاربید (یا سمانتیت) باشد، در این صورت چدن بسیار سخت بوده و سطح شکست آن نقره ای است. در اصطلاح ریخته گری به این پدیده "سفید شدن"<sup>1</sup> می گویند و تمایل مذاب چدن به سفید شدن همواره می بایست با مشخصات قطعه مورد نظر و خواصی که از آن انتظار می رود متناسب باشد.

---

<sup>1</sup> - Chilling

### اساس آزمایش گوه :

هدف از آزمایش اندازه گیری میزان سفید شدن چدن است که با ریختن یک نمونه آزمایشی گوه ای شکل انجام می گیرد. انجماد در گوشه نازک نمونه تقریباً فوری است و با افزایش ضخامت گوه طولانی تر می شود. هنگامی که نمونه پس از سرد شدن شکسته می شود ناحیه سریع سرد شده چدن سفید است و این ناحیه از نوک گوه تا منطقه ای که سرعت سرد شدن مناسب تشکیل گرافیت بوده امتداد دارد. شکل (۲) مقطع شکسته شده نمونه ای را نشان می دهد که در آن نوک (که چدن سفید است) و قاعده (که چدن خاکستری شده) به توسط یک منطقه خالدار<sup>۱</sup> از هم جدا شده اند. شکل (۷) نحوه اندازه گیری پهنای گوه را در مرز بین سفید و خاکستری ترسیم می نماید. این پهنای بر حسب میلیمتر بیان می شود و " عدد گوه ای مذاب" را مشخص می کند.

### روش انجام آزمایش گوه

#### اندازه گوه :

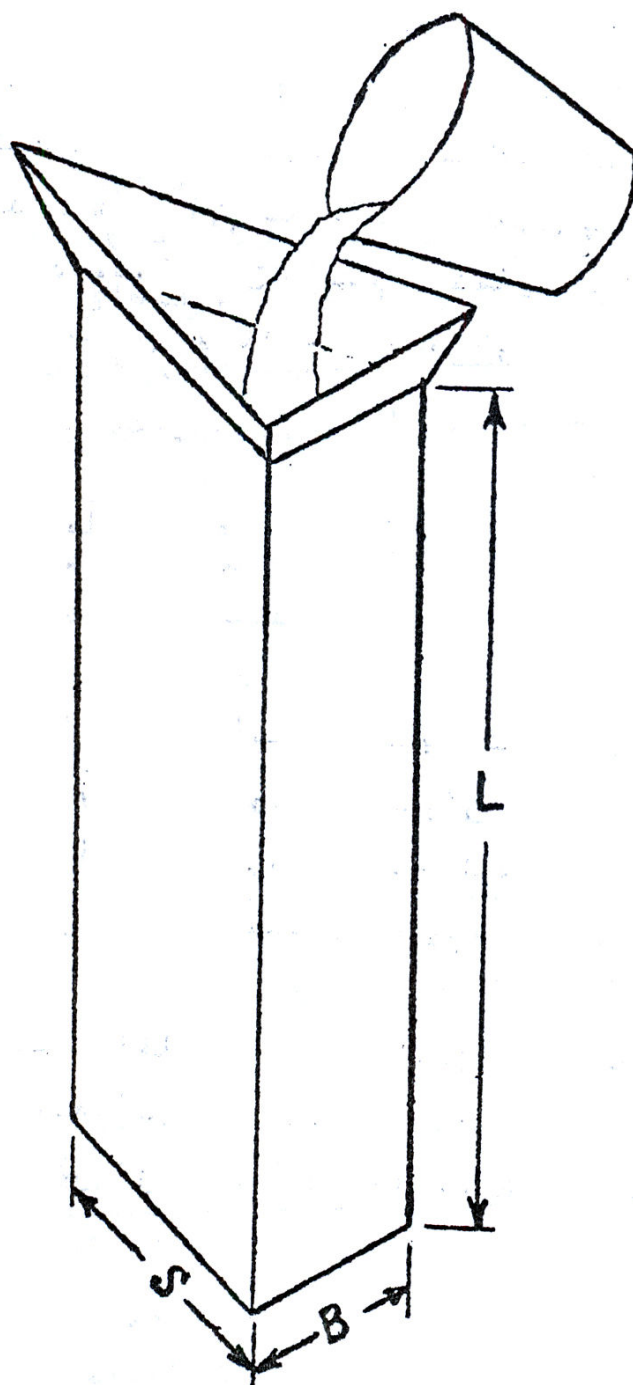
جدول شماره (۱) ابعاد چندین نمونه آزمایشی را نشان می دهد، با این نمونه ها می توان تمایل سفید شدن چدن خاکستری را با هر ترکیبی - به استثنای چدنهای نرم با خیلی بیشتر از ۲/۵٪ سیلیسیم و ۳/۵٪ کربن - اندازه گرفت.

برای به حداقل رساندن زمان آزمایش می توان کوچکترین نمونه را در نظر گرفت، در این حال " عدد گوه" می بایست کوچکتر از نصف طول قاعده (B) باشد.

#### ساختن مدل گوه :

مدلهای فلزی غالباً برای این کار مناسبترند.

<sup>۱</sup> - Mottled Zone



شکل (۱) ریخته گری نمونه در آزمایش گوه

جدول (۱): ابعاد نمونه های آزمایش گوه

مدت آزمایش	طول (L) میلیمتر	زاویه رأس درجه	ارتفاع (H) میلیمتر	ضلع (S) میلیمتر	قاعده (B) میلیمتر
۳۰	۸۰	۱۱/۵	۲۴/۹	۲۵	۵
ثانیه	۸۰	۱۴/۴	۲۷/۸	۲۸	۷
۳۵	۱۰۰	۱۹/۲	۲۹/۶	۳۰	۱۰
ثانیه	۱۰۰	۲۳/۱	۳۴/۳	۳۵	۱۴
۴۰	۱۲۰	۲۹/۰	۳۸/۷	۴۰	۲۰
ثانیه	۱۵۰	۳۴/۹	۴۷/۷	۵۰	۳۰
۵۰	۱۸۰	۳۴/۹	۷۱/۵	۷۵	۴۵
ثانیه	۲۰۰	۳۴/۹	۹۵/۴	۱۰۰	۶۰
۸۰					
ثانیه					
۲ دقیقه					
۸ دقیقه					
۱۲ دقیقه					

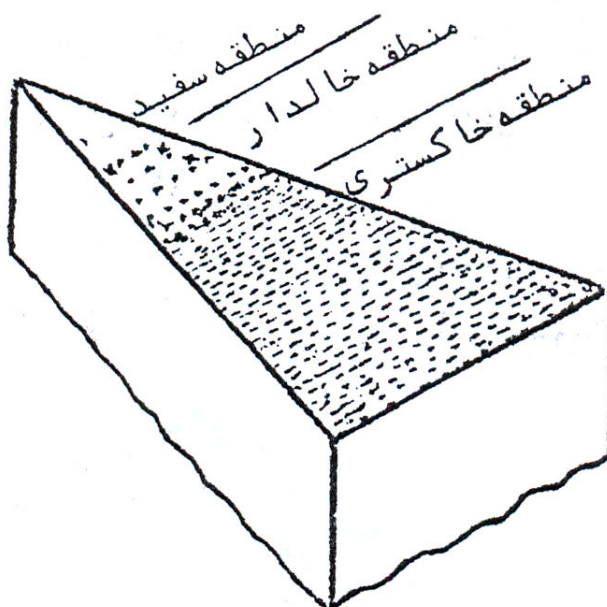
رأس (نوک) گوه را می توان بصورت گرد و به شعاع تا ۰/۵ میلیمتر درست کرد. مدل در ماسه با دانه بندی ریز که با روغن یا رزین مخلوط شده قالبگیری و سپس کاملاً خشک می گردد. نمونه بهتر است بطور عمودی ریخته شود، بعبارت دیگر طول نمونه (L) همانطوریکه در شکل (۱) نشان داده شده در موقعیت قائم قرار گیرد. بالای محفظه قالب گشادتر طرح می شود تا ریختن مذاب تمیز و یکنواخت باشد. دیواره مدل را می توان اندکی شیب دار ساخت تا خارج نمودن آن از ماسه هموار گردد اما باید دقت نمود که زاویه رأس تغییر نکند. گاهی برای سادگی، نمونه های بزرگتر را می توان بصورت افقی قالب گیری نمود و بصورت روباز ریخته گری نمود، شکل (۳).

ریختن نمونه آزمایش:

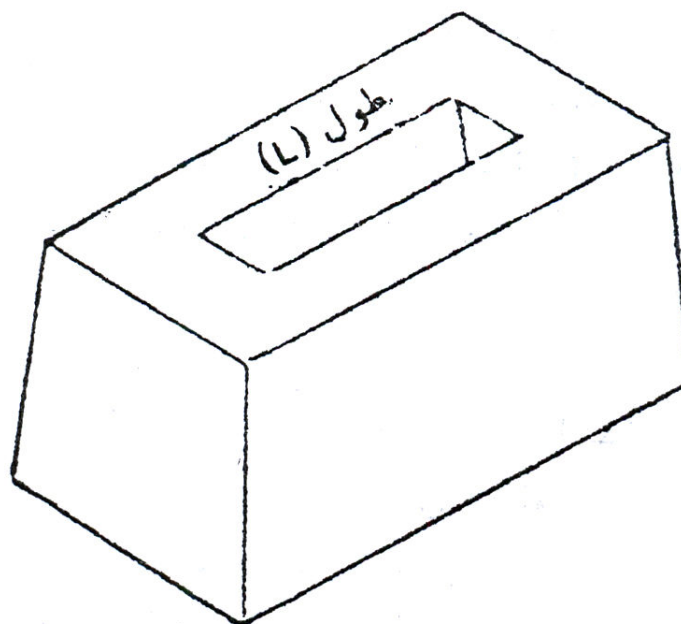
یک پاتیل سه کیلوئی باید تمیز و عاری از فلز سفید شده تهیه شود و سطح داخلی آن با لایه ای از مواد دیرگداز خنثی و یا رنگ پوشیده گردد.

برای آنکه نمونه ریخته شده نمایانگر واقعی خواص چدن بوده و درجه حرارت آن کافی باشد پاتیل را یکبار از مذاب پر و خالی کرده مجدداً پر کنید و درون قالب بریزید. در صورتیکه نتیجه کار مورد تردید باشد می توان از دو اندازه مختلف گوه استفاده نمود.

سرد شدن نمونه می بایست بطور طبیعی صورت گیرد به طوریکه کربن یا به شکل گرافیت درآید و یا بحالت کاربید باقی بماند. با ضربه می توان قطعه جامد شده را از ماسه بیرون آورد.



شکل (۲) مقطع شکسته شده نمونه در آزمایش گوه



شکل (۳) ریختن نمونه گوه بصورت افقی (رو باز) سپس با انبر آنرا نگهداشته ابتدا قاعده را در آب سرد فرو کنید و پس از آنکه به اندازه کافی سرد شد درجه حرارتش چنان باشد که سطح خیس را بتواند خشک نماید از آب خارج نمائید. به قدری تجربه خواهید دید که زمان آزمایش مطابق جدول (۱) تکمیل خواهد بود.

#### اندازه گیری عدد گوه<sup>۱</sup>:

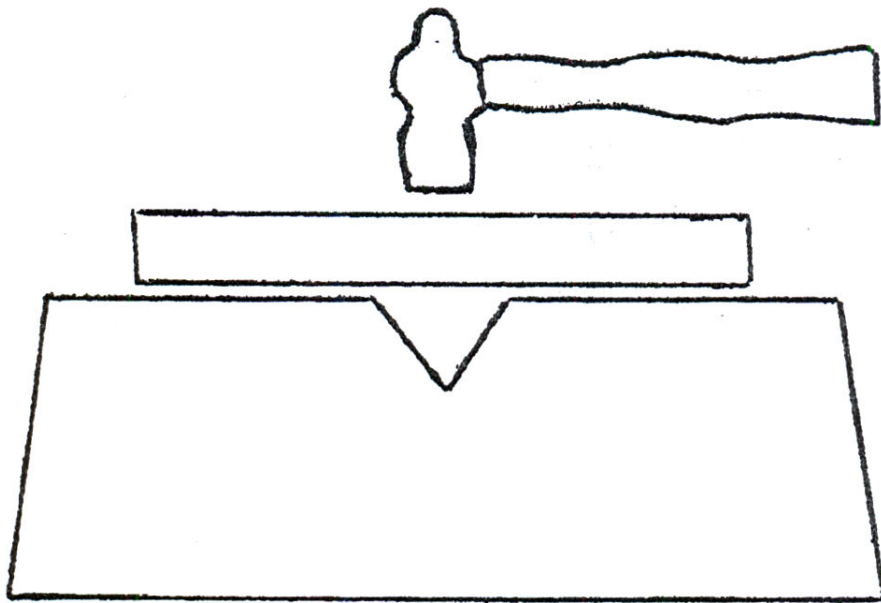
نمونه آزمایش با ضربه یک چکش شکسته می شود و همانطوری که در شکل (۴) مشخص گردیده شکست باید بطور مستقیم و در میانه طول نمونه صورت گیرد. بنابر شکل (۲) قسمت سفید شده شامل دو ناحیه می باشد، نخست منطقه نزدیک رأس گوه که عاری از هر نقطه خاکستری بوده و "سفید روشن" است.

ناحیه دوم که بعد از این قسمت قرار گرفته ناحیه "خالداری" می باشد و تا نقطه ای که ذرات کاربید یا چدن

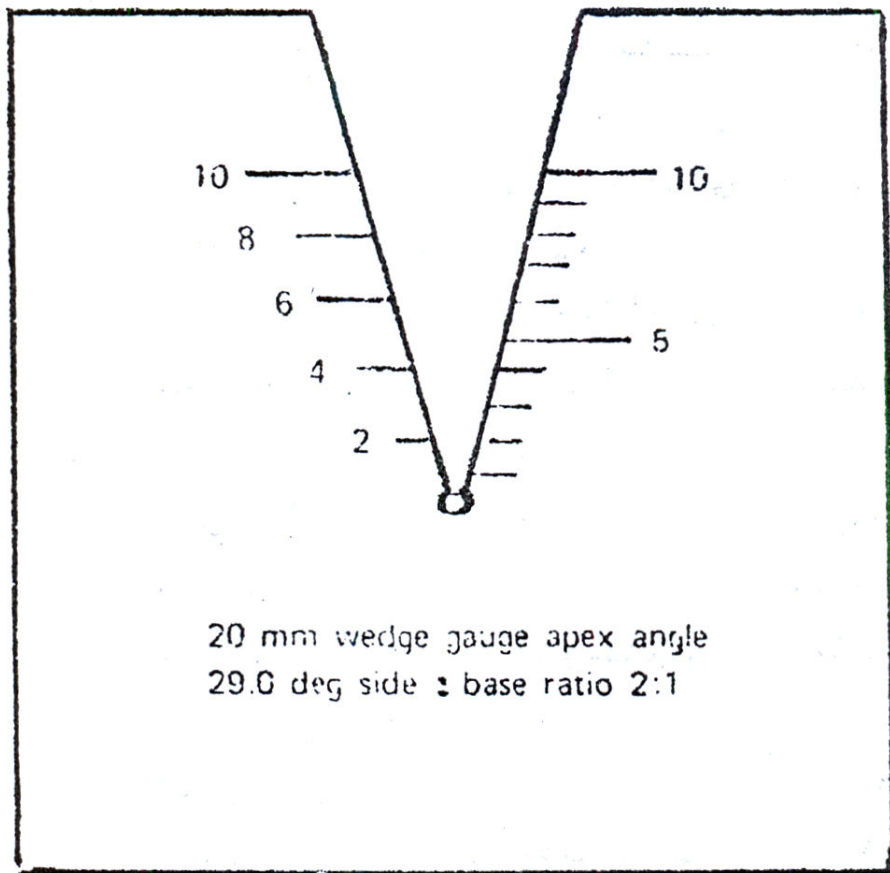
<sup>۱</sup> - Wedge Value

سفید وجود دارد امتداد می یابد. سطح ناحیه خالدار ممکن است بسیار کوچک و یا مساوی (و حتی گاهی بزرگتر از) منطقه سفید باشد. اگر اندازه گوه در محل اتصال ناحیه خاکستری و شروع ناحیه چدن سفید شده انجام گیرد اصطلاح «سفید کامل» بکار می رود.

در بسیاری حالات آنچه متداول است اندازه گیری در اواسط ناحیه خالدار می باشد و این نقطه ای است که نیمی از ساختمان چدن خاکستری و نیمی دیگر سفید است. پهنای قطعه در این نقطه که بر حسب میلیمتر بیان می شود به "عدد گوه" معروف است. شکل (۷).



شکل (۴) شکستن نمونه گوه



شکل (۵) شکاف مدرج جهت تعیین اندازه گوه برای دقت در اندازه گیری و آسانی کار می توان از یک شکاف مدرج V شکل استفاده نمود، شکل (۵). برای مدرج نمودن چنین وسیله ای می توان از جدول (۱) استفاده نموده روابط بین طول قاعده و اضلاع را تعیین نمود.

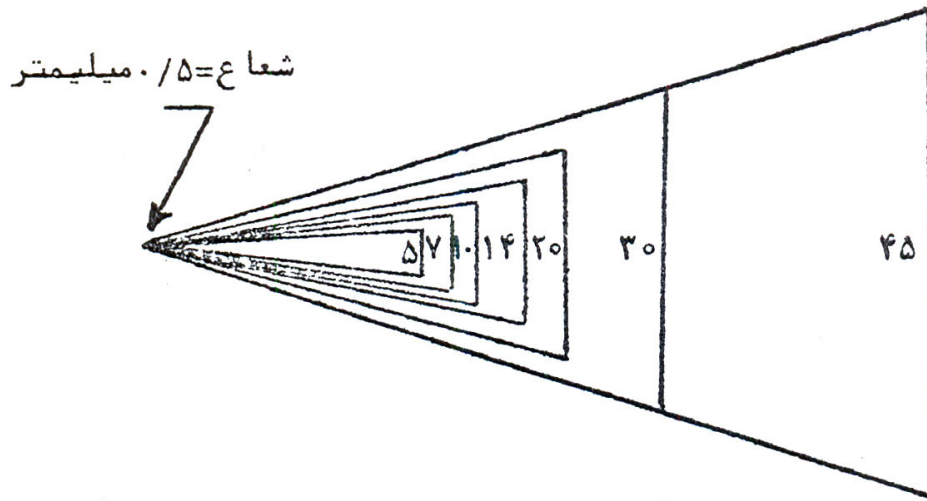
## کاربرد آزمایش گوه

### کنترل مناطق سخت:

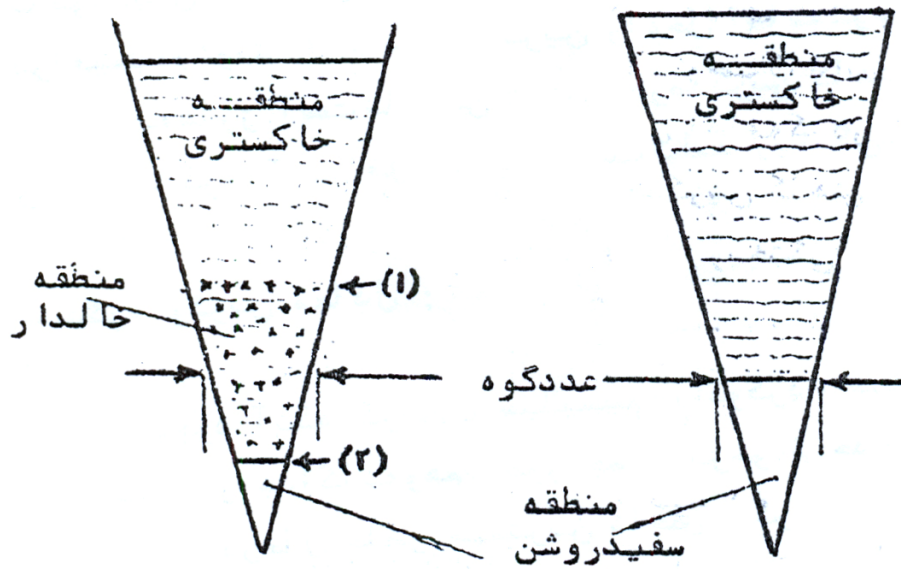
اولین و مهمترین مقصود از انجام این آزمایش جلوگیری از تشکیل نقاط سخت می باشد. بدیهی است هر قسمت از یک قطعه ریختگی که نازکتر از قسمت سفید آزمایش گوه باشد سخت و شکننده خواهد بود و قابلیت ماشینکاری ندارد. در عمل برای ماشینکاری بهتر "عدد گوه" نباید از  $\frac{1}{3}$  حداقل ضخامتی که قرار است ماشین شود تجاوز نماید. (به عبارت دیگر سطوحی که می بایست ماشینکاری شوند باید بیش از سه برابر "عدد گوه" ضخامت داشته باشند).

راه حل فوری برای مواقعی که "عدد گوه" بزرگ است اضافه نمودن مواد جوانه زا یا گرافیت زا به مذاب می باشد. برای مثال می توان تا حدود ۰/۵٪ فروسیلیس اضافه کرده و مجدداً با آزمایش گوه نتیجه را بررسی نمود.

راه حل کلی برای این مشکل و جلوگیری از سخت شدن چدن، تنظیم ترکیب بار می باشد و نیز در مواقعی که لازم است تصحیح ذوب باید صورت گیرد بگونه ای که کربن معادل چدن افزایش یابد.



شکل (۶) سطح مقطع نمونه گوه (در اندازه های مختلف).



شکل (۷) مناطق خاکستری، خالدار، سفید و تعیین عدد گوه.

### عدد گوه و تخلخل:

قسمتهای ضخیم و یا مناطق داغ در قطعات ریختگی تمایل به تشکیل ساختمانی با دانه های درشت دارند بخصوص اگر فلز خیلی نرم باشد. کوچک بودن "عدد گوه" همراه با ناحیه خاکستری تیره و بدون ناحیه خالدار نشان دهنده چدنی با مقدار کربن خیلی زیاد (هایپریوتکتیک) است، در این حال تمایل به تشکیل رشته های آزاد و درشت گرافیت وجود دارد که در نتیجه نواحی اسفنجی و ضعیف حاصل تحمل نیروهای فشاری را نخواهند داشت.

تصحیح این وضعیت و افزایش "عدد گوه" با افزودن مواد تثبیت کننده از قبیل مس، قلع، نیکل، کرم و یا مولیبدن امکان پذیر است (این مواد موجب کندی تشکیل گرافیت می شوند). مناسب ترین راه حل اضافه کردن فولاد قراضه به شارژ است تا بدین ترتیب درصد کربن کاهش یافته و "عدد گوه" حداقل به  $\frac{1}{8}$  ضخامت قطعه ریختگی برسد.

### عدد گوه و کربن معادل:

با وجود آنکه کربن، سیلیسیم، گوگرد، فسفر، و منگنز هر یک بطور جداگانه و هم بطور جمعی بر خواص چدن تأثیر می گذارند در حال حاضر مهمترین شاخص "کربن معادل"<sup>1</sup> است. این شاخص همچنانکه از نامش پیداست تأثیر جمعی عناصر شیمیائی را بر حسب مقدار کربن نشان می دهد، بگونه ای که می توان فرض کرد چدن تنها از آهن و کربن (بدون سایر عناصر) ساخته شده و مقدار کربن این چدن فرضی برابر با کربن معادل است.

در چدن های ساده با فسفر کم رابطه زیر برقرار است:

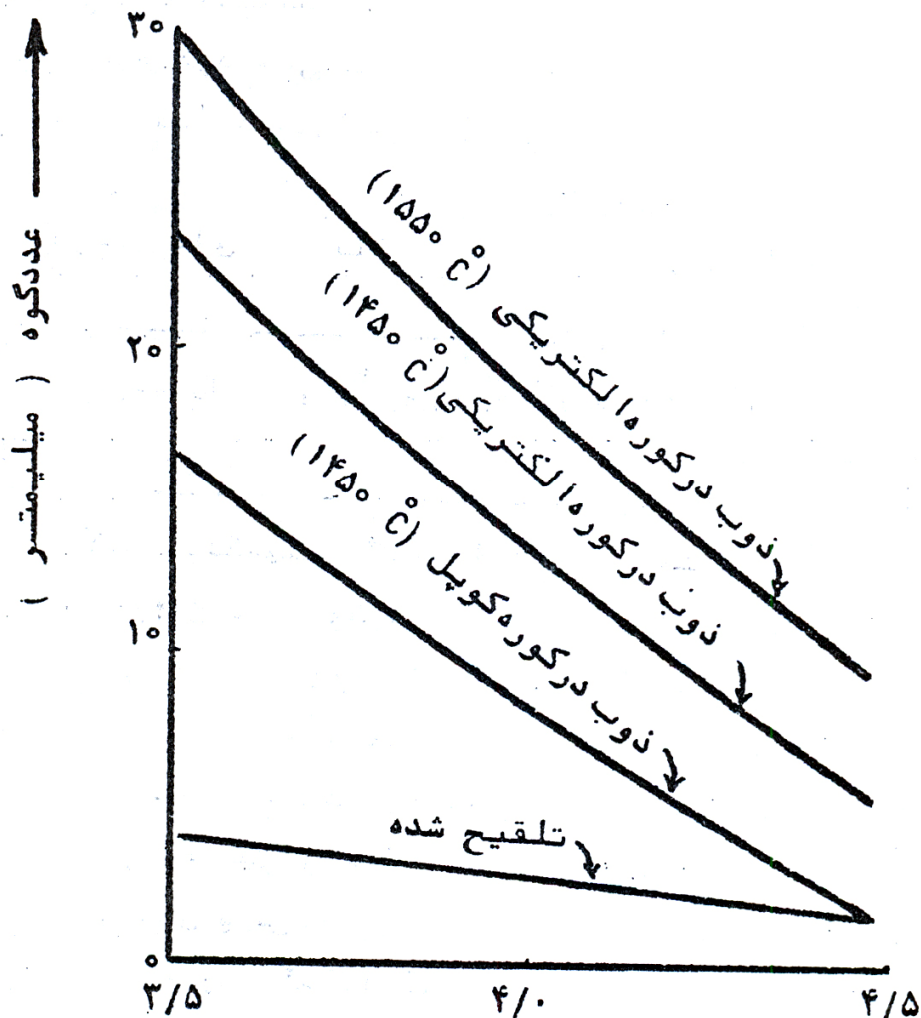
---

<sup>1</sup> - Carbon Equivalent (C.E=C%+1/3Si%)

$$\text{(درصد سیلیسیم)} + \frac{1}{3} \text{(درصد کربن)} = \text{(C.E) کربن معادل}$$

ترکیب یوتکتیک هنگامی اتفاق می افتد که کربن معادل برابر با  $\frac{4}{3}\%$  باشد و کربن معادل در چدنهای خاکستری معمولاً بین  $\frac{3}{5}$  تا  $\frac{4}{5}\%$  است. هر چند کربن معادل (C.E) بیشتر باشد چدن نرمتر بوده و "عدد گوه" پائینتر است. باید توجه داشت که این رابطه ساده گاهی با تغییرات وضعیت حرارت، میزان جوانه زنی و بخصوص وجود تثبیت کننده های کاربردی پیش بینی نشده دگرگون می شود. برای یک ترکیب معین، چدن کوره الکتریکی سخت تر از چدن ذوب شده در کوره کوپل بوده و "عدد گوه" ای آن تغییرات زیادتری خواهد داشت، زیرا درجه حرارت بالای کوره الکتریکی هسته های جوانه زنی گرافیت را از بین می برند (به شکل ۸ مراجعه شود). تلقیح<sup>۱</sup> مذاب جوانه زنی را تسریع نموده و "عدد گوه" را به میزان زیادی کاهش می دهد، این در حالی است که کربن معادل امکان دارد تغییرات چندانی نداشته باشد.

<sup>۱</sup>-Inoculation



شکل (۸) تأثیر میزان جوانه زائی بر عدد گوه با وجود آنکه "عدد گوه" متأثر از ترکیب شیمیائی آزمایش مربوطه خود ارتباطی به آنالیز شیمیائی ندارد. "کربن معادل سنج"<sup>۱</sup> که انجماد مذاب و درجه حرارت یوتکتیک را ثبت می کند اندازه گیری دقیق کربن معادل و نیز مقادیر جداگانه C و Si را میسر می سازد. جالب اینکه با وجودیکه دستگاه فوق برای کنترل ترکیب فلز

<sup>۱</sup> - Carbon Equivalent Meter

ساخته شده، آزمایش گوه می تواند مکمل آن باشد تا موارد غیر عادی را هنگام تمایل به سفید شدن مشخص نماید.

### آزمایش گوه و کنترل انقباض:

انقباض مذاب از یک طرف به "عدد گوه" مربوط است و از طرف دیگر با مقدار کربن نسبت عکس دارد. این بدان معنی است که وقتی درصد کربن زیاد است، و «عدد گوه» کم، رسوب آن به شکل ورقه های گرافیت صورت می گیرد و حفره ای -بوجود نمی آید. از طرف دیگر «عدد گوه» بزرگ که به معنی باقی ماندن کربن بصورت کاربید است در حین انجماد و - انقباض سبب ایجاد حفره می شود مگر اینکه تغذیه کافی وجود داشته باشد.

انقباض هنگام پائین بودن درصد کربن تشدید می شود. تجربه نشان داده است که در اینجالت ناحیه خاکستری نمونه شکست شده دارای دانه های ریزتر بوده قدری نقره ای رنگ است و همچنین ناحیه خالدار مساحت بیشتری دارد.

تنها راه حل برای رفع کمبود مقدار کربن، ترکیب بار است که می بایست به روش مناسب ذوب تصحیح شود.

راه چاره فوری در مواقعی که تمایل به انقباض اندک است تلقیح سیلیسیم یا گرافیت به مذاب می باشد، همچنین اضافه کردن ۰/۱٪ قلع می تواند مشکل را نسبتاً حل کند.

اما به هر حال آزمایش گوه نمی تواند مسئله قالبگیری نامناسب یا تغذیه غیر کافی را جبران نماید.

### آزمایش گوه و استحکام کششی:

استحکام کششی چدن خاکستری به اندازه ، توزیع و تعداد ورقه های گرافیت بستگی زیادی دارد زیرا گرافیت خود استحکام چندانی ندارد. بسیاری از مشخصات برجسته چدنها مانند قابلیت جذب ارتعاش و قابلیت ماشینکاری ، با زیاد بودن مقدار کربن، وجود گرافیت های درشت و استحکام کششی پائین همراه است، بعلاوه اینکه اشتباه است که چدن با استحکام کششی پائین را ماده ای نامرغوب قلمداد کنیم.

هنگامیکه به ضرورت یک طرح مهندسی استحکام بیشتری مورد نیاز است مقدار گرافیت باید کاهش یافته و ذرات گرافیت می بایست ریزتر شوند. کربن معادل را می توان با اضافه کردن فولاد در شارژ و یا اصلاح روش ذوب کاهش داد، و در این موقع «عدد گوه» در حالت بدون تلقیح می باید کاملاً بالا باشد. افزودن یک جوانه زای مناسب (معمولاً نوعی مخصوص از فروسیلیس) به مذاب اندکی قبل از ریختن آن - تعداد زیادی جوانه را برای ورقه های ریز گرافیت فراهم می آورد و «عدد گوه» کاهش می یابد هر چه «عدد گوه» قبل از تلقیح بزرگتر بوده و بعد از آن کاهش بیشتری یافته باشد استحکام کششی بالاتر خواهد بود.

برای آنکه استحکام چدن را با استفاده از گوه کنترل کنیم باید دو آزمایش را قبل و بعد از عمل تلقیح انجام داد. جدول (۲) مقادیر «عدد گوه» را برای چدن غیر آلیاژی که می بایست مشخصات تا «Grade 17» را داشته باشد

نشان می دهد: (این مشخصات استحکام  $260 \text{ MPa}^1$  در یک میله ۳۰ میلیمتری است).

همانطوری که مقدار کربن می بایست پائین باشد گوه شکسته شده قبل از تلقیح نیز می باید دارای مقدار کافی زمينه خالدار بوده و ناحیه خاکستری آن کم رنگ و شامل دانه های ریز باشد (شکل ۷-a). اگر مقطع شکست گوه نظیر شکل (b-۷) باشد، یعنی ناحیه خاکستری تیره بوده و با تغییر ناگهانی از منطقه سفید جدا شده باشد، مذاب دارای سیلیسیم کم و کربن زیاد است و در این حال افزایش استحکام تنها به مقدار کمی امکان پذیر است. شکل (۹) حالات «سفید روشن» و «سفید کامل» را قبل از تلقیح بر حسب استحکام کششی ترسیم نموده است.

جدول (۲) : نتایج آزمایش گوه در چدن ها ( میله های آزمایشی ۳۰ میلیمتری)

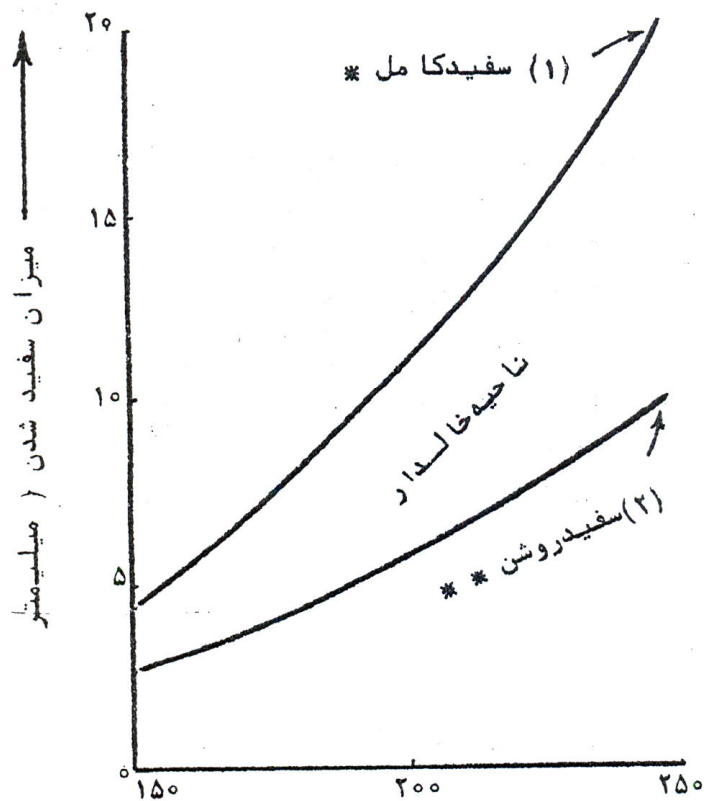
گريد چدن	درصد فولاد در شارژ کوپل	درصد کربن بدون تلقیح	عدد گوه بدون تلقیح	عدد گوه با تلقیح	% کاهش عدد گوه
۱۰	۰ تا ۱۰	۳/۵	۲	۲	-
۱۲	۱۰ تا ۲۰	۳/۴	۴	۴	-
۱۴	۲۰ تا ۳۰	۳/۲۵	۶	۵	۳۰
۱۵/۵	۲۵ تا ۳۵	۳/۱۰	۸	۵	۵۰
۱۷	۳۰ تا ۴۰	۳/۰	۱۲	۶	۶۰

مقادیر فولاد موجود در شارژ کوره کوپل و مقادیر کربن بعضی چدنهای استاندارد که عموماً مورد استفاده قرار می گیرند در جدول (۲) آورده شده است. این جدول گرچه

<sup>1</sup> .  $\text{MPa} = 10^6 \text{ Pa}$  (پاسکال)

کامال نیست و تنها بعنوان نمونه ذکر شده اما می تواند بعنوان راهنما جهت اصلاح نتایج برخی آزمایشها مورد استفاده قرار گیرد همچنان که در شیوه ذوب و ضخامت ریختگی ممکن است موثر واقع شود.

از آنجائیکه بدون تلقیح ، حداقل «عدد گوه» اهمیت دارد پس از تلقیح دارد «عدد گوه» می بایست حداکثر نتیجه را در برداشته باشد، بعبارت دیگر نشان دهد که تلقیح در بدست آوردن گرافیت ریز و استحکام مورد نظر موثر بوده است.



شکل (۹) استحکام نسبت به مقدار سفید شده (بدون تلقیح).

- عدد گوه در نقطه (۱) اندازه گیری شده (شکل ۷)

- عدد گوه در نقطه (۲) اندازه گیری شده (شکل ۷).

«عدد گوه» بعد از تلقیح اگر به ضخامت ریختگی نسبت داده شود نمایانگر تمایل سفید شدن چدن با توجه به ضخامت قطعه و سرعت سرد شدن است. تاثیر مواد جوانه زا ممکن است از یک ذوب به ذوب دیگر متغیر باشد و راندمان آنها نیز تحت تاثیر درجه حرارت مذاب و نوع ریخته گری است و آزمایش گوه این تغییرات را نیز می تواند در بر گرفته نتیجه کلی را مشخص نماید.

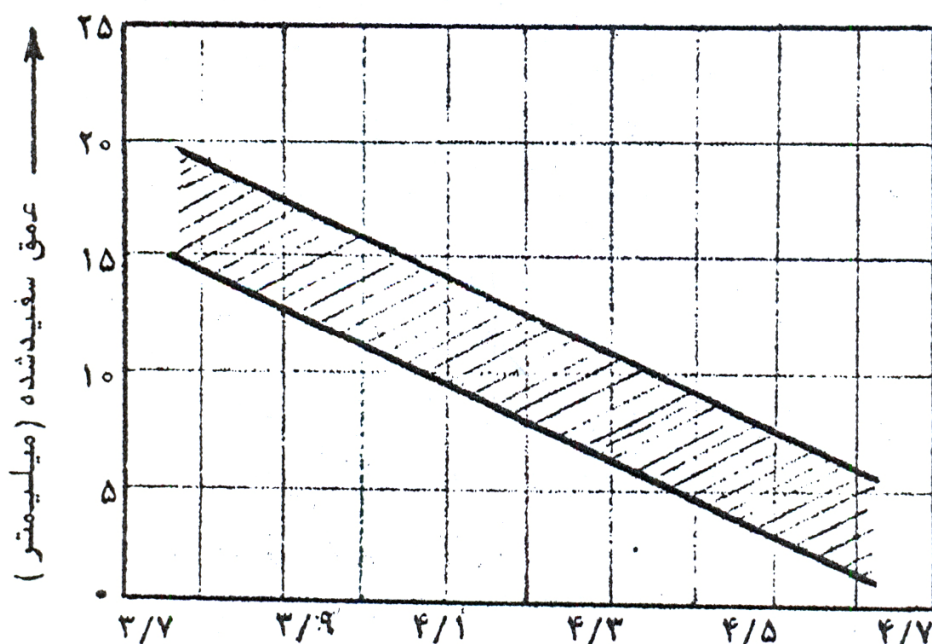
در حالیکه برای چدنهای مخصوص روشهای پیچیده ای بکار می رود، در مورد چدنهای با استحکام متوسط آزمایش گوه می تواند تا اندازه ای مفید و قابل کنترل باشد.

#### **توضیح:**

در اصطلاح ریخته گری، آزمایش گوه گاهی تحت عنوان «نمونه طبری» معرفی می شود.

ترکیب شیمیائی و میزان سفید شدن :

عناصر مهم که مقدار آنها در سفید شدن چدن موثر است شامل کربن و سیلیسیم می باشد که تاثیر مجموع آنها بر چدن تحت عنوان «کربن معادل» در نظر گرفته می شود. در هر کارگاه می توان رابطه بین اندازه سفید شدن و کربن معادل را با توجه به شرایط کار ترسیم نموده برای استفاده های بعدی آماده نمود شکل (۱۰) یک نمونه از این روابط را نشان می دهد.



شکل (۱۰) رابطه بین کربن معادل و عمق سفید شدن چدن فوق در کوره کوپل با شرایط خاصی ذوب شده و نتایج به دست آمده بین دو خط (بالائی و پائینی) واقع است.

**نتیجه:**

آزمایش گوه تمایل سفید شدن چدن را مشخص کرده و آنرا بصورت یک کمیت بیان می کند، بنابراین هنگام تماسهای عمومی چه در صحبت کردن و چه در نوشتن امکان پذیر است. هزینه و زمان لازم جهت انجام این آزمایش جزئی است در حالیکه ممکن است از دورریزی یا برگشت قطعات زیادی جلوگیری بعمل آورد.

کنترل کیفی چدن با آزمایش گوه آغاز می شود و در بسیاری از ریخته گریها کنترل متالوژیکی بیشتر لازم نیست. حتی در مراکزی که بوسائل آنالیز شیمیائی و اندازه گیری خواص مکانیکی مجهزند آزمایش گوه همچنان اهمیت کاربرد خود را حفظ کرده است.

مقادیر «عدد گوه» که در این مقاله ذکر گردید. بیشتر جنبه مثال داشته و هیچگونه وجه کلی ندارد. نتایج آزمایش گوه می بایست بوسیله هر ریخته گری بطور مداوم ثبت و نگهداری شود تا بتوان با اطمینان در مواقع ضروری از آنها استفاده نمود.