

# بازدهی جذب تیتانیوم توسط فولاد ساده کربنی

اسدالله حراتی  
فارغ التحصیل کارشناسی ارشد

خطیب الاسلام صدرنژاد  
استاد

دانشکده مهندسی متالورژی، دانشگاه صنعتی شریف

## چکیده

فولادهای میکروآلیاژی دارای ۰/۰۹ / ۰/۲۳ درصد تیتانیوم در مقیاس آزمایشگاهی، توسط کوره مقاومتی با بوتنه سرامیکی به ظرفیت ۵۵۰ گرم فلز مذاب به دو روش پرتابی و تزریقی ساخته شدند. نتایج نشان دادند که روش تزریقی نتایج بهتری نسبت به روش پرتابی می دهد. این موضوع احتمالاً به علت افزایش سطح مشترک بین دو فاز در روش تزریقی است. همچنین معلوم شد که دوران لوله محتوی ماده میکروآلیاژی، بازدهی جذب تیتانیوم را افزایش می دهد ولی با افزایش بیشتر تعداد دوران لوله در واحد زمان، بازایی جذب تیتانیوم کاهش می یابد. افزایش زمان آلیاژسازی تأثیر شدیدی روی مقدار جذب تیتانیوم داشته و با افزایش این زمان، مقدار راندمان جذب تیتانیوم به شدت کاهش می یابد. در شرایط آزمایشگاهی مشاهده شد که با کنترل زمان آلیاژسازی و استفاده از فروتیتانیوم، بازدهی جذب را حتی تا صد در صد می توان افزایش داد.

## *Efficiency of Absorption of Ti by Plain Carbon Steel*

K. Sadrnezhad  
Professor

A. Harati  
M. Sc.

Dept. of Metallurgical Eng.  
Sharif Univ. of Tech.

### Abstract

*Microalloyed steel samples containing 0.09 to 0.23 wt % Ti were produced in an experimental scale resistance furnace with a 550-gr refractory crucible by both shooting and injection techniques. The results showed that a greater efficiency may be attributed to a larger contact between the two-phases in the latter case. Observations revealed that the absorption efficiency could be increased with rotating the cylindrical container of the microalloying material up to a certain speed, but decreased with further increasing of this frequency. Increasing the duration of the alloy-making process had a great reducing influence on the absorption efficiency of the material. The experimental studies revealed that utilization of ferro-titanium (instead of pure material) with a good control of the alloying-time can raise the absorption efficiency even up to 100 percent.*

## ۱- مقدمه

فولادهای ساختمانی کم آلیاژی استحکام بالا، فولادهایی هستند که خواص برجسته آنها استحکام بالا، مقاومت در برابر شکست ترد، شکل پذیری سرد و جوش پذیری خوب می باشد [۱، ۲، ۳، ۴]. استحکام تسلیم این فولادها بین ۳۵۰ الی ۷۵۰ مگاپاسکال است و شامل عناصری چون نیوبیوم، وانادیوم و تیتانیوم می باشند که خواص مکانیکی بسیار عالی نسبت به فولاد ساده کربنی به دست می دهند [۵، ۶، ۷]. افزایش استحکام در فولادهای کم آلیاژی استحکام بالا به علت ریزش دانه های فریت و رسوب سختی در اثر اضافه کردن عناصر میکرو آلیاژی است [۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲].

برای رسیدن به ریزترین اندازه دانه فریت احتمالی، در نتیجه بهبود خواص مکانیکی در این فولادها، نورد کنترل شده توسعه داده شده است [۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸]. از سال ۱۹۷۳ فولادهای کم کربن و کم منگنز میکرو آلیاژ شده با تیتانیوم در کمپانی آهن و فولاد Anshan چین مورد مطالعه قرار گرفت و چند صد هزار تن فولاد تیتانیوم دار تولید و بیش از یک میلیون دستگاه کامیون با آن ساخته شد [۱۹، ۲۰]. فولادهای کم آلیاژی استحکام بالای تیتانیوم دار ابتدا برای کاهش وزن اتومبیل ها استفاده شدند و صرفه جویی در سوخت را بهبود بخشیدند [۲۱]. علاوه بر این، مهمترین کاربرد فولادهای میکرو آلیاژی تیتانیوم دار در ساخت پل ها، خطوط راه آهن، بدنه کشتی ها، ساختمان های بزرگ، بدنه کامیون ها، دکل های برق، محورها، میل لنگ ها، میل فرمان ها، میل گاردان کامیون ها، خطوط لوله برای انتقال نفت و گاز، اجزاء یاتاقان و شاسی اتومبیل ها، دیسک های چرخ و چرخ دنده ها، محورها، لوکوموتیوهای برقی، مخازن تصفیه و تحت فشار، دیگ های بخار و سازه های ساحلی می باشد [۲۲، ۲۳، ۲۴].

مشکل اساسی در تولید فولادهای میکرو آلیاژی، بازیابی کم عناصر اضافه شده به فولاد مذاب است. نظرات مختلفی در مورد بازیابی تیتانیوم در فولاد وجود دارد، ولی به هر حال می توان گفت که این بازیابی به روش اضافه کردن مواد میکرو آلیاژ به فلز مذاب بستگی دارد. برای بالا بردن بازیابی عناصر میکرو آلیاژ می توان از روش نسبتاً جدید غوطه ورسازی استفاده نمود [۲۵]. این روش بدین صورت است که با توجه به میل ترکیبی شدید عناصر میکرو آلیاژ به اکسیژن و امکان اکسید شدن

آنها در دمای فولادسازی، مواد فرو آلیاژ خرد شده و در قوطی های فولادی از جنس ورق کم کربن ریخته می شوند. سپس با غوطه ورسازی این قوطی ها در مذاب، مواد فرو آلیاژ به فلز اضافه می گردد [۲۶، ۲۷]. برای افزایش بازدهی و تسهیل در امر حل شدن مواد فرو آلیاژ، قوطی های مورد نظر بوسیله میله آهنی متصل به آنها، در فولاد مذاب حرکت داده می شوند و در این حالت میزان جذب عناصر میکرو آلیاژ به ترکیبات آنها، تعداد دورهای چرخاندن و مدت نگهداری قوطی ها در فلز مذاب وابسته می باشد [۲۸ و ۲۷ و ۲۶]. در این بررسی فرو تیتانیوم به دو روش پرتابی و تزریقی به فلز مذاب اضافه شد و نشان داده شد که بازیابی تیتانیوم در روش تزریقی به مراتب بیشتر از روش پرتابی است. در ضمن اثر عواملی چون زمان نگهداری فلز مذاب بعد از اضافه کردن فرو تیتانیوم (زمان آلیاژسازی)، اثر دوران لوله محتوی ماده میکرو آلیاژ، اثر نوع تیتانیوم اضافه شده (فروتیتانیوم ۸۰ درصد و تیتانیوم تقریباً خالص ۹۹ درصد)، اثر محیطی که در آن فرو تیتانیوم به مذاب اضافه می شود و همچنین اثر اضافه کردن فرو تیتانیوم به صورت روش های پرتابی و تزریقی روی بازیابی جذب تیتانیوم بررسی شدند [۲۷].

## ۲- مواد و آزمایش ها

از آنجایی که برای ساخت فولادهای میکرو آلیاژی استحکام بالا، باید ترکیب فولاد پایه از نظر مقدار گوگرد، فسفر، کربن و گازهای حل شده در کمترین مقدار ممکن باشد، در نتیجه شارژی که برای مطالعه در این تحقیق در نظر گرفته شد، فولادی با ترکیب شیمیایی داده شده مطابق جدول (۱) بود.

جدول (۱) درصد وزنی عناصر در شارژ (قبل از ذوب)

C	Si	S	P	Mn
۰/۰۵۵-۰/۰۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴۵	۰/۵۴۵

قطعات شارژ که از پیچ های ریل راه آهن تهیه شده بودند، پس از قرار گرفتن در بوته سرمایی توسط کوره مقاومتی، گرم و ذوب شدند. به دلیل تمایل بسیار زیاد برای ترکیب شدن با اکسیژن و نیتروژن، میزان جذب عنصر میکرو آلیاژی

بستگی به نحوه اضافه کردن آن به حمام مذاب دارد.

در این تحقیق اضافه کردن عنصر تیتانیوم به فلز مذاب، هم از طریق پرتابی و هم به روش تزریقی توسط لوله ای به قطر ۶ میلیمتر صورت گرفت. در روش پرتابی فرو تیتانیوم ۸۰ درصد به طرف سطح مذاب پرتاب می شد، ولی در روش تزریقی مقدار مشخصی از فرو تیتانیوم ۸۰ درصد (با در نظر گرفتن درصد خالص) در داخل لوله ای به قطر ۶ میلیمتر قرار داده می شد و سپس از دو مکانی که فرو تیتانیوم در آن قرار داشت توسط چکش کاری مجرای لوله کاملاً بسته می شد، به طوری که حتی جریان هوا در محفظه ای که فرو تیتانیوم در آن قرار داشت رد و بدل نمی شد. همچنین برای جلوگیری از اکسید شدن، ذرات ریز فرو تیتانیوم خرد شده در میان فویل های نازک آلومینیومی پیچیده می شدند. برای تزریق فرو تیتانیوم به فلز مذاب و به منظور بررسی اثر دوران لوله محتوی ماده میکرو آلیاژ روی راندمان جذب عنصر میکرو آلیاژی (فرو تیتانیوم)، سیستمی مطابق شکل (۱) در نظر گرفته شد. لوله محتوی عنصر میکرو آلیاژی توسط در صند گیرنده پلیسینگ دار به صورت عمودی نگه داشته می شد به طوری که هم دوران لوله در مذاب به راحتی انجام می شد و هم لوله محتوی ماده میکرو آلیاژ هیچگونه انحرافی به سمت چپ یا راست نداشت [۲۷].

بعد از نوب شدن کامل، درجه حرارت فلز مذاب با پیرومتر چشمی اندازه گیری می شد (بیش از ۱۶۵۰ درجه سانتیگراد) و قبل از وارد کردن عنصر میکرو آلیاژی، فولاد مذاب توسط آلومینیوم تقریباً خالص اکسیژن زدایی می شد. این عمل باعث می شد که راندمان جذب تیتانیوم به علت کاهش اکسیژن مذاب افزایش پیدا بکند [۲۷].

پس از این مرحله، لوله محتوی ماده میکرو آلیاژ وارد مذاب شده و به مدت زمان مشخصی و با دور معینی داخل مذاب دوران داده می شد. در این کار فلز مذاب به چرخش در آمده و لایه های مختلف فلز مذاب با سرعت زاویه ای متفاوتی می چرخیدند به طوری که در سطح لوله، چرخش مذاب به طور سریع انجام می گرفت.

ریخته گری در قالب های فلزی پیش گرم شده انجام شد. تمامی نمونه های ریخته شده بعد از فرز کاری سطحی تحت آزمایش آنالیز شیمیایی قرار گرفتند. برای انجام آنالیز شیمیایی نمونه ها از کوانتومتر مدل METAL ANALYZER ۳۴۶۰، استفاده گردید و حداقل از چهار نقطه متفاوت روی سطح نمونه ها آنالیز شیمیایی

تهیه شد. نمونه های ریخته شده از نظر ترکیب شیمیایی از یکنواختی بسیار خوبی برخوردار بودند، به طوری که حداکثر اختلاف آنالیز شیمیایی در نقاط اندازه گیری شده در حدود صدم درصد بود [۲۷].

همچنین برای اندازه گیری گاز نیتروژن در نمونه های ریخته شده از دستگاه گاز کروماتوگرافی دانشکده متالورژی و روش هسته ای بخش وانوگراف سازمان انرژی اتمی استفاده شد [۲۷].

### ۳- نتایج و بحث

برای بررسی تأثیر عوامل طراحی و شرایط آزمایش روی بازدهی جذب تیتانیوم، نمونه هایی با ترکیب های شیمیایی متفاوت (با درصدهای تیتانیوم ۰/۹ و ۰/۲۲ درصد) مطابق جدول (۲) ساخته شدند. مقادیر و محدوده تغییرات پارامترهای مختلف که روی بازدهی جذب مؤثر می باشند در جدول (۲) آورده شده است [۲۷].

#### ۳-۱- اثر زمان آلیاژ سازی

یکی از عوامل بسیار مؤثر بر جذب تیتانیوم در فولادهای میکرو آلیاژ شده با تیتانیوم اثر زمان آلیاژ سازی (زمان نگهداری فلز مذاب بعد از اضافه کردن فرو تیتانیوم) است. با افزایش زمان آلیاژ سازی مقدار جذب تیتانیوم کمتر می شود. این موضوع به علت میل ترکیبی شدید تیتانیوم با اکسیژن است. بنابراین در اثر افزایش زمان، تیتانیوم بیشتری با اکسیژن ترکیب شده و در نتیجه میزان جذب کمتر می شود. اثر افزایش زمان آلیاژ سازی بر میزان جذب تیتانیوم در فولادهای میکرو آلیاژ شده با تیتانیوم در شکل (۲) نشان داده شده است. از مقایسه آزمایش های ۱۵، ۱۶، ۹ و ۶ می توان اثر افزایش زمان آلیاژ سازی را بر مقدار جذب تیتانیوم مشاهده کرد. در آزمایش شماره ۱۵ با زمان آلیاژ سازی ۲۵ ثانیه، مقدار جذب تیتانیوم صد در صد می باشد ولی با افزایش به زمان ۵۰ ثانیه در آزمایش شماره ۱۶ میزان جذب به ۹۰ درصد کاهش می یابد. همچنین در مقایسه آزمایش های شماره ۹ و ۶ با زمان های آلیاژ سازی ۲ و ۳ دقیقه، میزان جذب کمتر شده به طوری که در ۲ دقیقه به ۸۲ درصد و در ۳ دقیقه به ۶۵ درصد تقلیل می یابد. از مقایسه نتایج آزمایش های بالا می توان نتیجه گرفت که افزایش زمان آلیاژ سازی به شدت روی کاهش میزان جذب تیتانیوم اثر می گذارد، که نشان دهنده میل ترکیبی شدید تیتانیوم نسبت به اکسیژن است.

جدول (۲) نتیجه ترکیب شیمیایی نمونه های ریخته شده (درصد وزنی) با دستگاه گوانتومتر

ترکیب شیمیایی (درصد وزنی)								شماره ذوب
C	Si	S	P	Mn	Al	Ti	N (ppm)	
۰/۰۵۲	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۲۴	۰/۰۲	۰/۰۰۹۸	-	۱
۰/۰۵۹	۰/۰۰۴	۰/۰۳۸	۰/۰۳۸	۰/۱۵۲	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۱۶	-	۲
۰/۰۴۴	۰/۰۰۳	۰/۰۶۶	۰/۰۶۵	۰/۳۰	۰/۰۱	-	-	۳
۰/۰۱۳	۰/۰۰۳	۰/۰۳۸	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳۶	-	۴
۰/۰۲۶	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۱۸۷	۰/۰۸	-	۷۵	۵
۰/۰۷	۰/۲۳	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۳۶	۰/۰۹	۰/۱۰۴	-	۶
۰/۰۶	۰/۲۷	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۳۶	۰/۱۱	۰/۱۳۸	-	۷
۰/۰۷	۰/۲۳	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۲۶	۰/۰۸	۰/۱۴۴	-	۸
۰/۰۴۵	۰/۱۰	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۲۸	۰/۱۱	۰/۲۳۵	۱۶۳	۹
۰/۰۷۵	۰/۰۶۸	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۲۸	۰/۰۵	۰/۱۳۱	۹۷	۱۰
۰/۰۵	۰/۱۶	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۳۰	۰/۱۱	۰/۱۰۲	-	۱۱
۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۳۹	۰/۰۹	۰/۱۰۹	۱۰۴	۱۲
۰/۱۰	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۳۶	۰/۰۸	۰/۱۱۳	-	۱۳
۰/۰۹۸	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۴۰	۰/۱۰	۰/۱۴۷	۱۰۸	۱۴
۰/۰۷	۰/۱۴	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۳۴	۰/۱۳	۰/۰۹۴	۶۰	۱۵
۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۳۴	۰/۰۶	۰/۱۱	۱۳۰	۱۶

جدول (۳) بررسی اثر پارامترهای متفاوت بر راندمان جذب نیتروژن در فولاد

شماره ذوب	وزن فولاد ذوب شده (گرم)	مقدار نیتروژن اضافه شده (گرم)	درصد نیتروژن اضافه شده	درصد نیتروژن جذب شده	درصد راندمان جذب نیتروژن	زمان آلیاژ سازی (دقیقه)	تعداد دوران لوله (دور بر ثانیه)	نوع نیتروژن اضافه شده	نحوه اضافه کردن نیتروژن	گاز آرگون
										دبی (لیتر بر دقیقه) ۳،۳
۱	۲۸۵	۰/۲۴	۰/۰۸۷	۰/۰۰۹۸	۱۱/۳	۲	ندارد	تقریباً خالص	A°	ندارد
۲	۲۸۵	۰/۳۷	۰/۰۹۵	۰/۰۰۱۶	۱/۷	۲	ندارد	تقریباً خالص	A°	دارد
۳	۴۰۰	-	-	-	-	-	-	-	-	ندارد
۴	۴۸۰	۰/۵	۰/۰۸۳	۰/۰۰۳۶	۴/۲	تکراره سرد شده	ندارد	فروتینایوم	B°	ندارد
۵	۴۸۰	-	-	-	-	-	-	-	-	ندارد
۶	۵۶۰	۱/۱۲	۰/۱۶	۰/۱۰۴	۶۵	۲	ندارد	فروتینایوم	A°	ندارد
۷	۵۶۰	۱/۱۱	۰/۱۵۸	۰/۱۳۸	۸۷	۲	۰/۳۳۳	فروتینایوم	A°	ندارد
۸	۵۶۰	۱/۱۱	۰/۱۵۸	۰/۱۴۴	۹۱	۲	۰/۲	فروتینایوم	A°	ندارد
۹	۵۶۰	۲	۰/۲۸۵	۰/۲۳۵	۸۲/۴۵	۲	ندارد	فروتینایوم	A°	ندارد
۱۰	۵۶۰	۲/۵	۰/۳۵۷	۰/۱۳۱	۳۷	۲	ندارد	فروتینایوم	A°	دارد
۱۱	۵۶۰	۱/۱۱	۰/۱۵۸	۰/۱۰۲	۶۴/۶	۲	ندارد	فروتینایوم	B°	ندارد
۱۲	۵۶۰	۱/۱۱	۰/۱۵۸	۰/۱۰۹	۶۹	۲	۱	فروتینایوم	A°	ندارد
۱۳	۵۶۰	۱/۱۱	۰/۱۵۸	۰/۱۱۳	۷۱/۵	۲	۰/۵	فروتینایوم	A°	ندارد
۱۴	۵۶۰	۱/۱۱	۰/۱۵۸	۰/۱۴۷	۹۳	۲	۰/۲۵	فروتینایوم	A°	ندارد
۱۵	۵۶۰	۰/۶۱۱	۰/۰۸۷۴	۰/۰۹۴	۱۰۰	۲۵ ثانیه	ندارد	فروتینایوم	A°	ندارد
۱۶	۵۶۰	۰/۸۵	۰/۱۲۱	۰/۱۱	۹۰	۵۰ ثانیه	ندارد	فروتینایوم	A°	ندارد

### ۲-۳- اثر دوران لوله محتوی بر میزان جذب

از پارامترهای بسیار مهمی که بر میزان جذب تیتانیوم اثر می‌گذارد، فرکانس دوران لوله محتوی ماده میکرو آلیاژ است. بدین ترتیب که تا فرکانس مشخصی، میزان جذب زیاد می‌شود و پس از آن به شدت کاهش پیدا می‌کند. اثر فرکانس محتوی ماده میکرو آلیاژ روی بازدهی جذب تیتانیوم در شکل (۳) نشان داده شده است.

با مقایسه آزمایش‌های شماره ۷، ۸، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ اثر فرکانس دوران لوله محتوی ماده میکرو آلیاژ بر راندمان جذب تیتانیوم را می‌توان دریافت. توجه کنید که زمان دوران در همه آزمایش‌ها ۲ دقیقه بوده است. در آزمایش شماره ۹، مشاهده می‌شود که بدون دوران لوله محتوی ماده میکرو آلیاژ، بازدهی جذب تیتانیوم ۸۲/۴۵ درصد می‌باشد ولی با افزایش فرکانس دوران به ۱/۵ دور در ثانیه در آزمایش شماره ۸ میزان جذب تیتانیوم افزایش یافته و به مقدار ۹۱ درصد می‌رسد. با افزایش دوران لوله محتوی ماده میکرو آلیاژ به ۱/۴ دور در ثانیه در آزمایش شماره ۱۴ میزان جذب تیتانیوم به ماکزیم مقدار خود می‌رسد. در صورتی که با افزایش بیشتر دوران در آزمایش‌های شماره ۷، ۱۳ و ۱۲، میزان جذب تیتانیوم کاهش می‌یابد. ضمناً در آزمایش شماره ۱۲ با فرکانس ۱/۱ دور بر ثانیه، میزان جذب به کمترین مقدار خود یعنی ۶۹ درصد، می‌رسد. کاهش میزان جذب تیتانیوم در اثر افزایش فرکانس دوران لوله محتوی ماده میکرو آلیاژ را می‌توان توسط رابطه زیر توضیح داد [۲۷].

$$Z - Z_0 = C\omega_0^2$$

$\omega_0$  = سرعت زاویه‌ای لوله محتوی ماده میکرو آلیاژ در

فلز مذاب

$C$  = ثابت

$Z$  = ارتفاع مذاب در بوته بدون دوران مذاب

$Z_0$  = ارتفاع مذاب از کف بوته تا ته گردابه

با توجه به شکل (۴)، رابطه فوق نشان می‌دهد که با افزایش  $\omega_0$  (تعداد دور بر ثانیه) مقدار  $Z - Z_0$  افزایش پیدا می‌کند، یا به عبارت دیگر  $Z_0$  کاهش می‌یابد. در نتیجه با افزایش دوران لوله محتوی ماده میکرو آلیاژ، عمق گردابه تشکیل شده در سطح مذاب بیشتر شده و باعث افزایش سطح آزاد مذاب با هوا می‌شود. اکسید شدن تیتانیوم با

افزایش سطح آزاد مذاب سریع‌تر شده و در نتیجه بازدهی جذب تیتانیوم با افزایش فرکانس دوران لوله در بالاتر از ۳/۰ دور در ثانیه به شدت کاهش پیدا می‌کند. افزایش بازیابی جذب تیتانیوم در فرکانس‌های پایین لوله محتوی ماده میکرو آلیاژ به خاطر سریع‌تر حل شدن ماده فرو آلیاژ از طریق مکانیزم انتقال جرم و نفوذ ماده حل‌شدنی در فاز مذاب است.

### ۳-۳- تأثیر نوع ماده افزودنی

بازدهی جذب برای دو نوع ماده افزودنی (فروتیتانیوم ۸۰ درصد و تیتانیوم ۹۹/۱۹۶۰ درصد) نشان می‌دهد که به دلیل میل ترکیبی شدید تیتانیوم با اکسیژن میزان جذب در آزمایش با تیتانیوم خالص بسیار مختصر است. برای مثال میزان جذب در آزمایش شماره یک که از روش تزریقی انجام شد، در حدود ۱۱ درصد است. ولی در آزمایش‌هایی که با فروتیتانیوم انجام شد این میزان بیشتر می‌باشد. لذا برای افزایش میزان جذب تیتانیوم در آزمایش با تیتانیوم خالص از محیط کنترل شده و گاز آرگون با دبی ۳/۳ لیتر بر دقیقه استفاده شد (آزمایش شماره ۲). با وجود این نه تنها میزان جذب افزایش نیافت، بلکه کاهش شدیدی را نیز نشان داد (۱/۷ درصد). البته لازم به توضیح است که کاهش شدید در مقدار جذب تیتانیوم می‌تواند به دلیل خالص نبودن گاز آرگون آزمایشگاهی مورد استفاده باشد. بنابراین نتیجه گرفته شد که تحت شرایط معمولی محیط، برای ساختن فولادهای میکرو آلیاژ شده با تیتانیوم، بهتر است به جای استفاده از تیتانیوم خالص از فرو تیتانیوم استفاده شود.

### ۴-۴- تأثیر نحوه اضافه کردن عنصر میکرو آلیاژی

نحوه اضافه کردن عنصر میکرو آلیاژی به فلز مذاب از پارامترهای مهمی است که روی بازدهی جذب تیتانیوم اثر دارد. برای بررسی تأثیر نحوه اضافه کردن عنصر میکرو آلیاژی، روش‌های تزریقی و پرتابی با هم‌دیگر مقایسه شدند.

از مقایسه آزمایش‌های شماره ۹ و ۱۱ می‌توان اثر این دو روش را به وضوح مشاهده کرد. در آزمایش شماره ۹ با زمان آلیاژسازی دو دقیقه و تزریق فروتیتانیوم توسط لوله، بازدهی جذب ۸۲/۴۵ درصد به دست آمد، در صورتی که در آزمایش شماره ۱۱ که با شرایط و زمان آلیاژسازی یکسان انجام شد، ولی

فروتیتانیوم به سطح مذاب پرتاب شد، راندمان جذب ۶۴/۶ درصد بود.

در روش اضافه کردن مواد به سطح مذاب (روش پرتابی) به دلیل سطح تماس کم عنصر میکرو آلیاژی با مذاب و تماس زیاد آن با اکسیژن محیط راندمان جذب تیتانیوم کاهش می یابد ولی در روش تزریقی توسط لوله به دلیل محافظت مواد و سطح تماس زیاد عنصر میکرو آلیاژی با فلز مذاب و احتمال کمتر واکنش با هوای محیط، میزان جذب بالاتر می باشد.

لازم به توضیح است که در آزمایش شماره ۴ که فروتیتانیوم به صورت پرتابی به سطح مذاب اضافه شد، کاهش بیش از حد راندمان جذب تیتانیوم (۴/۲ درصد) به علت سرد شدن نمونه ریخته شده در کوره بود که به لحاظ شکستن بوته اجباراً انجام گرفت. در این حالت افزایش زمان نگهداری فلز مذاب بعد از اضافه کردن فروتیتانیوم به علت طولانی شدن زمان انجماد روی راندمان جذب تأثیر کاهنده گذاشت.

### ۳-۵- تأثیر محیط

محیط افزودن فروتیتانیوم به فلز مذاب، می تواند بر راندمان جذب تأثیر داشته باشد. به دلیل میل ترکیبی شدید با اکسیژن و نیتروژن، تیتانیوم معمولاً تحت پوشش گاز آرگون خالص به مذاب اضافه می شوند. در این تحقیق برای بررسی اثر محیط روی راندمان جذب تیتانیوم، از گاز آرگون آزمایشگاهی استفاده شد (گاز آرگون از سازمان صنایع دفاع، باطری سازی نیرو خریداری شده بود) ولی متأسفانه به دلیل خلوص کم گاز، راندمان جذب به جای افزایش کاهش یافت. از مقایسه آزمایش های شماره ۶ و ۱۰ می توان مشاهده نمود که تحت شرایط مساوی (زمان ثابت و بدون دوران) در آزمایش شماره ۶ که بدون گاز آرگون انجام

### مراجع

شد بازدهی جذب ۶۵ درصد ولی در آزمایش شماره ۱۰ که تحت اتمسفر گاز آرگون (با دبی ۳/۳ لیتر بر دقیقه) انجام شد، بازدهی جذب ۳۷ درصد بود که نسبت به حالت قبلی ۴۳ درصد کاهش نشان می داد. می توان نتیجه گرفت که دلیل عمده در کاهش راندمان جذب، اکسیژن موجود در گاز آرگون بوده است. در عین حال به طور منطقی چنین به نظر می رسد که استفاده از گاز آرگون با درجه خلوص بالا بتواند به افزایش راندمان جذب تیتانیوم کمک نماید.

### ۴- نتیجه گیری

۱- با افزایش زمان آلیاژسازی، بازدهی جذب تیتانیوم به شدت کاهش می یابد.

۲- در تزریق فروتیتانیوم توسط لوله، افزایش فرکانس دوران تا حد ۲۵/۰ دور در ثانیه، بازدهی جذب را افزایش می دهد. ولی فزونی باز هم بیشتر فرکانس، بازایی جذب تیتانیوم را کاهش می دهد.

۳- محافظت بیشتر فروتیتانیوم در روش تزریقی باعث افزایش بازدهی جذب تیتانیوم نسبت به روش پرتابی می شود.

۴- فشار جزئی اکسیژن محیط بر بازدهی جذب تیتانیوم تأثیر بسزایی دارد، به طوری که تحت شرایط خلأ بیشترین بازایی جذب را می توان به دست آورد.

### ۵- تشکر و قدردانی

از تکنسین های آزمایشگاه های متالورژی استخراجی، کارگاه پروژه و شکل دادن فلزات دانشکده مهندسی متالورژی دانشگاه صنعتی شریف به خاطر همکاری در تهیه و ساخت نمونه ها و از مسئول آزمایشگاه جهاد خودکفائی سپاه به خاطر انجام آزمایش های آنالیز کوانتومتری نمونه ها سپاسگزاری می شود.

- [1] J. H. Woodhead, S. R. Keown, " The history of microalloyed steels ", Proc. of Inter. Conf. on HSLA Steels' 85, 4-8, Nov. 1985, Beijing PP 15-28.
- [2] L. F. Porter, P. E. Repas, " The evolution of HSLA steels", *J.Metals*, April 1982, PP. 14-21.
- [3] Isao Kozasu, " Recent development of microalloyed steel plate", Proc. of Inter. Conf. on Tech-

nology and Application of HSLA Steels, 3-6 October 1983, Philadelphia, PP 593-607.

- [4] H. Stuart, B. L. Jones, "A perspective on microalloyed steels", *J.Metals*, April 1983, PP 17-20.
- [5] Liguang-Ying Yuan Zheng "Production, microstructure and properties of microalloyed high strength 355 MN/m<sup>2</sup> grade ship plate", Proc. of

- Inter. Conf. on HSLA steels, 85, 4-8, Nov. 1985, Beijing PP 605-611.
- [6] R. R. Preston, "A review of high strength, low alloy steel metallurgy in Europe", British steel corporation, PP 9-41.
- [7] J. Lessells, "Use of microalloying elements to improve mechanical properties in plates", Proc. of Inter. Conf. on HSLA Steels' 85, 4-8, Nov. 1985, Beijing PP 613-626.
- [8] A. T. Davenport, L. C. Brossard, R. E. Miner, "Precipitation in microalloyed HSLA steels", *J. Metals*, June 1975, PP 21-27.
- [9] K. J. Irvine, F.B. Pickering "Low-carbon steels with ferrite-pearlite structures", *IISI*, Nov. 1963, PP 944-959.
- [10] K. J. Irvine, F. B. Pickering, T. Gladman, "Grain-refined C-Mn steels", *IISI*, February 1967, PP 161-182.
- [11] R. W. K. Honeycombe, "Fundamental aspects of precipitation in microalloyed steels", Proc. of Inter. Conf. on HSLA Steels' 85, 4-8, Nov. 1985, Beijing PP 243-250.
- [12] F. B. Pickering "The spectrum of microalloyed high strength low alloy (HSLA) steels", Proc. of Inter. Conf. on Technology and applications of HSLA steels, 3-6 October 1983, Philadelphia, PP 1-31.
- [13] R. B. G. Yeo, A. G. Melville, "Properties and control of hot-rolled steels", *J. Metals*, June 1968, PP 33-43.
- [14] L. Hyspecka, K. Mazanec, "Strengthening structural steels by Thermomechanical treatment", Proc. of Third Inter. Conf. on the strength of Metals and Alloys, Vol.1, Cambridge, 20-25 August PP 375-379.
- [15] E. Anelli, M. Mauro, "Plate rolling of HSLA Steels with control of microstructure", Proc. of Inter. Conf. on HSLA Steels' 85, 4-8 Nov. 1985, Beijing PP 693-698.
- [16] B. Dogan, L. E. Collins, J.D. Boyd, "Effects of thermomechanical processing on the microstructure and mechanical properties of a Ti-V-N steel", *Metall. Transactions*, Vol. 19A, May 1988, PP 1221-1234.
- [17] J. H. Little, J. A. Chapman, W. B. Morrison, "The production of high strength plate steels by controlled rolling", Proc. of Third Inter. Conf. on the strength of metals and alloys, Vol.1, Cambridge, 20-25 August 1973, PP 80-84.
- [18] Sun Benrong Zhao Peixiang, "A Study of controlled rolling technology in the( $\gamma+\alpha$ ) two-phase region", Proc. of Inter. Conf. on HSLA steels' 85, 4-8 Nov. 1985, Beijing PP. 181-187.
- [19] He Yong-Kang, "Development and production of Titanium steels", Proc. of Inter. Conf. on HSLA Steels' 85, 4-8, Nov. 1985, Beijing PP 627-631.
- [20] Lutz Meyer, "Effect and present application of the microalloying elements Nb, V, Ti, Zr and B in HSLA steels", Proc. of Inter. Conf. on HSLA Steels' 85, 4-8, Nov. 1985, Beijing PP 29-44.
- [21] J.G. Williams, "Titanium microalloyed hot rolled strip steels-production, properties and application", Proc. of Inter. Conf. on Technology and Applications of HSLA Steels, 3-6 October 1983, Philadelphia, PP 261-275.
- [22] C. L. Magee, R. G. Davies, P. Beardmore, "Factors influencing Automotive application of HSLA steels", *J. Metals*, Nov. 1980, PP 28-35.
- [23] A.P. Coldren, T.G. Oakwood, "A new economical X-70 line pipe steel", *J. Metals*, April 1983, PP.28-34.
- [24] N. J. Kim, "the Physical metallurgy of HSLA Line Pipe Steels-A Review", *J. Metals*, April 1983, PP 21-27.
- [25] Sheng and Chen, "Recent Progress of Rare Earth Treated Steel in China" : *J. Metals*, March 1985, PP 55-58.
- [۲۶] صدرنژاد - خطیب الاسلام، کاشانی بزرگ - سید فرشید، حشمتی منش - سعید، «تولید فولاد میکروالیژی و انادیوم دار و نیوبیوم دار به روش غوطه ورسازی و بررسی خواص آن» نشریه دانشکده

فنی، ۱۳۶۸، صفحات ۴۵ الی ۶۰

[۲۷] حرّاتی اسدآله، تزکارشناسی ارشد، «بررسی روش ساخت و خواص فولادهای میکروآلیاژی تیتانیوم دار»، دانشکده مهندسی متالورژی، دانشگاه

صنعتی شریف، ۱۳۷۳.

[۲۸] صدرنژاد، «بررسی خواص و روش ساخت فولادهای میکروآلیاژی» کارنامه پژوهشی شریف، سال ۱۳۷۱، ۴۶۰-۴۶۴.