



**استفاده از فناوری‌های پیشرفته برای کنترل و کاهش تشکیل  
سرباره در Ladle ها : راهکارهای هوش مصنوعی، اینترنت اشیا  
صنعتی و شبکه‌های خصوصی 5G**

نویسنده: متخصصین و گروه فنی  
شرکت آفرینش سامانه مهر



## ۱. مقدمه

تشکیل سرباره در Ladle ها یکی از چالش های اساسی در فرآیند تولید فولاد به شمار می رود که می تواند تأثیرات منفی بر کیفیت نهایی فولاد، بهره وری تولید و هزینه های عملیاتی داشته باشد. سرباره، مجموعه ای از ناخالصی های اکسیدی، سولفیدی و فسفاتی است که در طول فرآیند ذوب و پالایش فولاد ایجاد شده و بر روی سطح مذاب جمع می شود. کنترل و جداسازی سرباره به طور مناسب از مذاب فولاد، نقش مهمی در دستیابی به محصولات فولادی با کیفیت بالا و افزایش راندمان تولید ایفا می کند. امروزه استفاده از فناوری های نوین مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیاء صنعتی (IIoT) و شبکه های خصوصی 5G، راه حل های نوینی را برای مدیریت و کاهش تشکیل سرباره در Ladle ها فراهم آورده است. در این مقاله، به بررسی چالش های موجود، راهکارهای کنترل سرباره و نقش فناوری های پیشرفته در بهینه سازی فرآیندهای مرتبط می پردازیم.

## ۲. چالش های مرتبط با تشکیل سرباره در Ladle ها



### ۲٫۱ کاهش کیفیت فولاد

سرباره، در صورتی که به طور کامل از فولاد مذاب جدا نشود، می تواند منجر به نقص در محصول نهایی، ایجاد تخلخل و ترک در قطعات و کاهش خواص مکانیکی فولاد شود. وجود سرباره در محصول نهایی باعث کاهش کیفیت و حتی ایجاد ضایعات در تولیدات فولادی می شود (Kilbourn et al., 2022).

### ۲٫۲ کاهش راندمان تولید

تشکیل سرباره می تواند زمان ذوب و پالایش را افزایش داده و منجر به توقفات ناخواسته و کاهش بازدهی تولید در کارخانه شود. این امر باعث افزایش زمان فرآیند و کاهش ظرفیت تولیدی کل کارخانه می شود (Erens et al., 2022).

### ۲٫۳ افزایش هزینه های عملیاتی

مدیریت و دفع سرباره هزینه های قابل توجهی را به صنایع فولاد تحمیل می کند. این هزینه ها شامل حمل و نقل، بازیافت و دفع سرباره می شود که در صورت مدیریت نامناسب، می تواند منجر به هزینه های اضافی و کاهش سودآوری تولیدکنندگان شود.



### ۳. راهکارهای سنتی کنترل تشکیل سرباره



استفاده از افزودنی‌ها و  
پیش‌گرم کردن Ladle‌ها



کنترل دقیق فرآیند ذوب



استفاده از مواد اولیه با  
کیفیت بالا

- **استفاده از مواد اولیه با کیفیت بالا:** مواد اولیه با ناخالصی‌های کمتر می‌تواند به کاهش میزان تشکیل سرباره کمک کند. انتخاب مواد اولیه مناسب با کمترین میزان اکسیدها و سولفیدها می‌تواند در کاهش سرباره تولیدی مؤثر باشد.
- **کنترل دقیق فرآیند ذوب:** تنظیم دما، زمان و ترکیب شیمیایی در طول فرآیند ذوب می‌تواند به کاهش تشکیل سرباره کمک کند. این کنترل‌ها به بهینه‌سازی فرآیند و کاهش تأثیرات نامطلوب سرباره بر روی کیفیت فولاد کمک می‌کنند.
- **استفاده از افزودنی‌ها و پیش‌گرم کردن Ladle‌ها:** استفاده از افزودنی‌های شیمیایی و پیش‌گرم کردن Ladle‌ها پیش از ریختن فولاد مذاب، از جمله راهکارهای سنتی برای کاهش تشکیل سرباره و بهبود عملکرد Ladle‌ها هستند.

۴. **استفاده از فناوری‌های پیشرفته برای کنترل و کاهش سرباره:** با ورود فناوری‌های پیشرفته مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیا صنعتی (IIoT) و شبکه‌های خصوصی 5G، مدیریت و کنترل سرباره در Ladle‌ها به سطح جدیدی از دقت و کارایی دست یافته است. این فناوری‌ها با جمع‌آوری و تحلیل داده‌های بلادرنگ، شبیه‌سازی فرآیندها و استفاده از اتوماسیون، می‌توانند به بهبود عملکرد و کاهش هزینه‌های تولید کمک کنند.



ارتباطات پیشرفته با  
شبکه‌های خصوصی 5G



کنترل بلادرنگ با  
اینترنت اشیا صنعتی



بهینه‌سازی فرآیند با  
هوش مصنوعی



#### ۴٫۱ بهینه‌سازی فرآیند با هوش مصنوعی

هوش مصنوعی می‌تواند داده‌های جمع‌آوری شده از پارامترهای مختلف مانند دما، ترکیب شیمیایی و سطح سرباره را تحلیل کند. الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند الگوهای پنهان در این داده‌ها را شناسایی کرده و به پیش‌بینی دقیق میزان تشکیل سرباره و ارائه راهکارهای بهینه‌سازی کمک کنند. این فناوری به‌طور بلادرنگ داده‌ها را تحلیل کرده و بهترین تصمیم‌ها را برای تنظیم پارامترهای عملیاتی ارائه می‌دهد (Chinnathai et al., 2023).

#### ۴٫۲ کنترل بلادرنگ با اینترنت اشیاء صنعتی (IIoT)

IIoT امکان اتصال تجهیزات و حسگرهای مختلف را فراهم می‌کند تا داده‌های بلادرنگ از نقاط مختلف جمع‌آوری و تحلیل شوند. این داده‌ها می‌توانند شامل دما، ترکیب شیمیایی، فشار و سطح سرباره باشند که به‌صورت پیوسته به سیستم مرکزی ارسال می‌شوند و به بهبود مدیریت فرآیند کمک می‌کنند (Kern, 2021).

#### ۴٫۳ ارتباطات پیشرفته با شبکه‌های خصوصی 5G

شبکه‌های خصوصی 5G با فراهم کردن پهنای باند بالا و تأخیر بسیار کم، امکان ارتباط سریع و امن میان حسگرها و سیستم‌های مرکزی را فراهم می‌کنند. این شبکه‌ها به انتقال سریع داده‌ها و نظارت بلادرنگ کمک کرده و ارتباطات میان دستگاه‌ها را در محیط‌های پیچیده صنعتی بهبود می‌بخشند.

#### ۵. پیاده‌سازی فناوری‌های پیشرفته برای کنترل سرباره:

- **راه‌اندازی سیستم‌های نظارت دیجیتال:** پیاده‌سازی حسگرها و سیستم‌های نظارتی برای جمع‌آوری و تحلیل داده‌های بلادرنگ از Ladle‌ها و فرآیندهای مرتبط.
- **ایجاد مدل‌های پیش‌بینی با هوش مصنوعی:** استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی میزان تشکیل سرباره و شناسایی نقاط ضعف در فرآیند.
- **به‌کارگیری اینترنت اشیاء صنعتی (IIoT):** برای کنترل و مدیریت داده‌ها؛ اتصال تجهیزات و حسگرهای مختلف به سیستم مرکزی برای جمع‌آوری داده‌ها و تحلیل لحظه‌ای.
- **استفاده از شبکه‌های خصوصی 5G:** برای بهبود ارتباطات؛ ایجاد شبکه‌های خصوصی 5G برای انتقال سریع و امن داده‌ها میان تجهیزات مختلف.



## ۶. نمونه‌های موفق از پیاده‌سازی فناوری‌های پیشرفته در کنترل سرباره



### NIPPON STEEL

استفاده از ربات‌ها و اتوماسیون برای تمیز کردن Ladle‌ها و کاهش ۱۰ درصدی هزینه‌های عملیاتی مرتبط با تشکیل سرباره.



### BAOSTEEL

با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی مبتنی بر IIoT و هوش مصنوعی، میزان تشکیل سرباره را تا ۱۵ درصد کاهش داده است.



### TATA

این شرکت از یک سیستم نظارت مبتنی بر هوش مصنوعی برای کاهش ۲۰ درصدی تشکیل سرباره در Ladle‌های خود استفاده کرده است.

## ۷. نتیجه‌گیری

با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، صنایع فولاد می‌توانند فرآیند کنترل و کاهش تشکیل سرباره در Ladle‌ها را بهینه‌سازی کرده و از مزایای آن مانند افزایش بهره‌وری، بهبود کیفیت محصول و کاهش هزینه‌ها بهره‌مند شوند. به‌کارگیری هوش مصنوعی، اینترنت اشیا صنعتی و شبکه‌های خصوصی 5G نه تنها به بهبود مدیریت سرباره و جلوگیری از مشکلات مرتبط کمک می‌کند، بلکه بستری برای بهبود فرآیندهای کلی تولید و دستیابی به مزیت‌های رقابتی فراهم می‌سازد.

### ۷/۱ پیشنهادات برای صنایع فولاد:

- توسعه و پیاده‌سازی سیستم‌های دیجیتال نظارت و کنترل: برای جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها و بهینه‌سازی فرآیند.
- استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی و هوش مصنوعی: به منظور پیش‌بینی و کاهش میزان تشکیل سرباره.

شرکت مهندسی آفرینش سامانه مهر  
مشاوره و ارائه راهکارهای دیجیتال