دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران جنوب

دانشکده تحصیلات تکمیلی

سمینار برای دریافت درجه کارشناسی ارشد "M.Sc"

مهندسی مواد – شناسایی و انتخاب مواد مهندسی

عنوان :

بررسی عملیات حرارتی فولادهای ابزار مورد استفاده در قالب‌های کارسرد

استاد راهنما :

نگارش:

فهرست مطالب

عنوان مطالب **شماره صفحه**

چکیده: ۱

مقدمه: ۳

فصل اول: فولادهای ابزار ۶

۱-۱- تقسیم بندی فولادهای ابزار: ۶

۱-۲- طراحی فولادهای ابزار آلیاژی: ۱۴

۱-۳- فرآیندهای اولیه فولادهای ابزار: ۲۱

۱-۴- آنیل کردن فولادهای ابزار: ۲۵

۱-۵- تنش‌گیری فولادهای ابزار: ۲۷

۱-۶- سخت کردن فولادهای ابزار: ۲۸

۱-۷- پیش‌گرم و آستنیته کردن: ۲۸

۱-۸- سختی‌پذیری و تشکیل مارتنزیت: ۳۲

۱-۹- تشکیل کاربید در مرز دانه‌ها: ۳۵

۱-۱۰- بازپخت فولادهای ابزار: ۳۸

۱-۱۱- دگرگونی آستنیت باقی‌مانده و باز پخت دو مرحله ای در فولادهای ابزار: ۴۲

فصل دوم: فولادهای ابزار سردکار پرکرم و پرکربن ۴۴

۲-۱- متالورژی فیزیکی فولادهای پرکرم و پرکربن: ۴۴

۲-۲- انجماد و ریز ساختار: ۴۵

فهرست مطالب

عنوان مطالب **شماره صفحه**

۲-۳- عملیات حرارتی: ۵۱

۲-۳-۱- سخت کردن: ۵۲

۲-۳-۲- باز پخت: ۵۵

۲-۴- کاربرد و خواص فولادهای پرکرم و پرکربن: ۶۱

۲-۵- بررسی عملیات حرارتی فولاد D6: ۶۳

فصل سوم: بررسی سایش فولادهای ابزار ۷۲

۳-۱- سایش: ۷۲

۳-۱-۱- تعریف سایش و عوامل مؤثر بر آن: ۷۲

۳-۱-۲- آزمایش‌های سایش خشک: ۷۴

۳-۲- سایش روانکاری شده: ۸۰

۳-۳- انتخاب مواد برای شرایط سایش ساینده: ۸۲

۳-۴- روش‌های افزایش مقاومت سایشی فولادهای ابزار سردکار ۸۵

فصل چهارم: نتایج و پیشنهادها ۹۷

نتایج: ۹۷

پیشنهادها: ۹۹

عنوان مطالب **شماره صفحه**

منابع و مآخذ ۱۰۰
فهرست منابع فارسی ۱۰۰
فهرست منابع لاتین ۱۰۱
چکیده انگلیسی ۱۰۴

فهرست جدول‌ها

عنوان **شماره صفحه**

جدول (۱-۱): امکان تشکیل کاربیدهای فلزات واسطه ۱۵

جدول (۱-۲): مشخصه های کاربیدهای آلیاژی موجود در فولادهای آلیاژی ۱۵

جدول (۲-۱): ترکیب متوسط فولادهای معمول گروه D مطابق کلید فولاد ۴۴

جدول (۲-۲): خواص فولادهای مشهور گروهD ۴۵

جدول (۲-۳): اثر دمای آستنیته کردن بر درصد وزنی فازهای تشکیل شده ۵۳

جدول (۲-۴): مقایسه بعضی از خواص فولادهای تجاری گروه D ۶۲

جدول (۳-۱): مقایسه مقاومت به سایش و تافنس فولادهای متالورژی پودر و فولادهای ابزار ۸۸

فهرست شکل‌ها

عنوان **شماره صفحه**

شکل(۱-۱): مقایسه سختی کاربیدهای آلیاژی، سمنتیت و زمینه فولاد کربنی..... ۱۷

شکل(۱-۲): سختی نسبی کاربیدهای آلیاژی، سمنتیت و مارتنزیت در فولادهای تندبر..... ۱۷

شکل (۱-۳): مقطع هم‌دمای ناحیهٔ غنی از آهن سیستم سه تایی آهن-کرم -کربن در 870°C..... ۲۰

شکل (۱-۴): مقاطع عمودی نمودار تعادلی سیستم سه تائی آهن –کربن – کرم..... ۲۰

شکل (۱-۵): شمایی از فرآیند تهیه فولاد ابزار تا مرحله پایانی..... ۲۲

شکل (۱-۶): شمایی از مراحل مختلف عملیات حرارتی سخت کردن فولادهای ابزار..... ۲۲

شکل (۱-۷): ریز پرتونگاری با پرتو ایکس از دندریت اولیه در فولاد ابزار تندبر M2..... ۲۳

شکل (۱-۸): یوتکتیک های پرشکل (استخوان ماهی)و کاربیدهایMC، درفولاد ابزار تندبر M2..... ۲۴

شکل (۱-۹): میکروساختار نوری فولاد ابزار D2 در شرایط آنیل شده..... ۲۶

شکل (۱-۱۰): اثر دماهای آستنیته کردن و بازپخت بر روی سختی فولاد ابزار A2..... ۳۱

شکل (۱-۱۱): میکرو ساختار الکترونی عبوری از مارتنزیت لایه‌ای تشکیل شده در فولاد ابزارH13..... ۳۳

شکل (۱-۱۲): میکروساختار الکترونی روبشی از کاربیدهای باقی‌مانده و مارتنزیت بشقابی در فولاد A2..... ۳۵

شکل (۱-۱۳): شمایی از نمودار سردشدن پیوسته برای یک فولاد ابزار معمولی..... ۳۶

شکل (۱-۱۴): سختی و آستنیت باقی‌مانده بر حسب تابعی از دمای بازپخت برای فولاد ابزار A_2..... ۳۷

شکل (۱-۱۵): سختی و آستنیت باقی‌مانده بر حسب تابعی از دمای بازپخت برای فولاد ابزار H13..... ۴۰

شکل (۱-۱۶): سختی برحسب تابعی از دمای بازپخت برای انواع فولادهای ابزار تندبر..... ۴۰

فهرست شکل‌ها

عنوان **شماره صفحه**

شکل (۱-۱۷): تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری از کاربیدهای آلیاژی در لایه‌ای از مارتنزیت بازپخت شده در فولاد ابزار H13 ..... ۴۱

شکل (۲-۱): نمودار فازی شبه دوتائی آهن - کربن در 13% کرم ۴۷

شکل (۲-۲): ریز ساختار فولادهای گروه D در حالت سخت شده ۴۸

شکل (۲-۳): وابستگی نوع کاربید به C و Cr در فولادهای گروهD ۵۰

شکل (۲-۴): سیکل عملیات حرارتی فولادD3 ..... ۵۱

شکل (۲-۵): منحنی سختی بر حسب دمای آستنیته کردن در فولادهای سردکار ۵۴

شکل (۲-۶): نمودار TTT و CCT فولادD3 ..... ۵۴

شکل (۲-۷): اثر دمای آستنیته کردن بر اندازهٔ دانه فولادD3 ..... ۵۵

شکل (۲-۸): اثر دمای آستنیته کردن بر سختی بازپخت D2 وD3 ..... ۵۷

شکل (۲-۹): عملیات حرارتی مربوط به فولاد D2 ..... ۵۸

شکل (۲-۱۰): عملیات حرارتی مربوط به فولاد D3 و D6 ..... ۵۹

شکل (۲-۱۱): عملیات حرارتی مربوط به فولادD4 ..... ۶۰

شکل (۲-۱۲): عملیات حرارتی مربوط به فولاد D5 و D7 ..... ۶۱

شکل (۲-۱۳): سختیپذیری فولاد D6 و D3 با درصدهای منگنز مختلف و فولاد ۶۳

شکل (۲-۱۴): تأثیر دمای سخت کردن بر روی سختی فولادهایA2 و D2 وD6 ..... ۶۵

شکل (۲-۱۵): تأثیر دمای سخت کردن فولاد D2 بر روی مقدار آستنیت باقی‌مانده ۶۵

شکل (۲-۱۶): تأثیر دمای بازپخت بر سختی فولاد A2 ..... ۶۷

فهرست شکل‌ها

عنوان **شماره صفحه**

شکل (۲-۱۷): تأثیر دمای بازپخت بر سختی فولاد D2 ..... ۶۸

شکل (۲-۱۸): تأثیر دمای بازپخت بر روی سختی فولاد D6 ..... ۶۹

شکل (۲-۱۹): نمودارهای سختی- دمای آستنیته کردن ۷۰

شکل (۳-۱): الگوی سایش لغزشی چند مادهٔ مهندسی روی فولاد SAE 52100 ..... ۷۳

شکل (۳-۲): دستگاه اندازه گیری سایش پین روی سطحی که حرکت‌های متناوب دارد ۷۳

شکل (۳-۳): ماشین پین بوش ۷۶

شکل (۳-۴): اصول آزمایش بلوک روی رینگ ۷۶

شکل (۳-۵): دستگاه آزمایش پین روی دیسک ۷۶

شکل (۳-۶): آزمایش سایش توسط استوانه متقاطع ۷۶

شکل (۳-۷): استفاده از نمونه های تخت و انحنا دار در آزمایشات سایش. ۷۷

شکل (۳-۸): رابطه شمایی مقاومت به سایش، سختی و چقرمگی شکست ۸۳

شکل (۳-۹): نمودار کلی انتخاب فولاد سردکار و انجام مراحل آماده سازی ۸۶

شکل (۳-۱۰): مکانیزم‌های خرابی فولاد ابزار سردکار ۸۶

شکل (۳-۱۱): کاربیدهای غنی از وانادیم موجوددر فولادهای PM10V وPM15V و ۸۷

شکل (۳-۱۲): مقایسه مقاومت به سایش فولادهای PM ودیگر فولادهای ابزار سردکار ۸۸

شکل (۳-۱۳): مقایسه کاهش وزن فولادهایPM وفولادهای ابزار سردکار در طی سایش ۸۹

شکل (۳-۱۴): شماتیک روش آزمایش انجام شده ۹۰

فهرست شکل‌ها

عنوان **شماره صفحه**

شکل (۳-۱۵): ساختار کوئنچ شده فولاد ابزارD3 ..... ۹۰

شکل (۳-۱۶): ساختار لایه سخت شده..... ۹۱

شکل (۳-۱۷): ساختار لایه انتقال داده شده در فولاد ۹۱

شکل (۳-۱۸): مقایسه سختی فولادهای نیتروره و غیر نیتروره ۹۲

شکل (۳-۱۹): مقایسه سختی پوشش‌های مختلف بر روی دو نوع فولاد D3 وD4 ..... ۹۲

شکل (۳-۲۰): نمودارهای عمق سایش- تعداد تناوب برای فولادهایی باپوشش‌های مختلف..... ۹۴

چکیده:

فولادهای ابزار سردکار گروه وسیع و گسترده‌ای از فولادهای آلیاژی هستند که برای شکل‌دهی و ماشین‌کاری مواد دیگر به کار می‌روند. این فولادها بطور گسترده در ابزارها، قالب‌های شکل‌دهنده، برشی،اکستروژن، پلاستیک و مواد سرامیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند، بنابراین، این نوع فولادها به نحوی طراحی شده‌اند که دارای سختی بالا، مقاومت به سایش عالی و پایداری تحت شرایط کاری سخت باشند. البته برای آماده شدن آنها جهت استفاده در شرایط کاری نیاز به یکسری عملیات قبلی می‌باشد بنحوی‌که ابتدا این فولادها باید ماشین‌کاری شده، تحت عملیات حرارتی مناسب قرار گرفته و برای رسیدن به ابعاد نهایی عملیات سنگ زنی را بر روی آنها انجام داد. بعد از انجام این مراحل این فولادها باید دارای مقاومت به سایش بالا، چقرمگی مناسب، خواص کششی و فشاری مناسب با شرایط کاری باشند.

عملیات حرارتی فولادهای ابزار مشابه با عملیات حرارتی فولادهای کم آلیاژِ سختی پذیر است، به بیان دیگر، خواص نهایی آنها توسط آستنیته کردن، تشکیل مارتنزیت و در پایان بازپخت به دست می‌آید. اما، فولادهای آلیاژی عناصر آلیاژی زیادی دارند و لذا در ضمن تولید و عملیات حرارتی آنها باید پیش‌بینی و احتیاطهای لازم انجام شود. این امور، جهت دستیابی به ریزساختار مناسب متشکل از زمینه مارتنزیت بازپخت شده حاوی کاربیدهای آلیاژی هستند.

در عملیات حرارتی فولادهای ابزار مشکل آستنیت باقی‌مانده، حکم تسریع فرسایش را در اکثر فولادهای ابزار به عهده دارد. آستنیت باقی‌مانده یک فاز نرم و

ناپایدار در دمای پایین است که تمایل دارد در دمای پایین به مارتنزیت تبدیل شود، باید توجه کرد که مارتنزیت حاصله ترد بوده و بعد از عملیات سرمازایی، فولاد حتماً نیاز به بازپخت دارد.

بازپخت، آخرین مرحلهٔ عملیات حرارتی است که بر روی فولادهای ابزار اعمال می‌شود. اثر مهم بازپخت دادن فولادهای کم آلیاژ و ابزار، بهبود چقرمگی آن‌ها است. با انتخاب دقیق دما و زمان بازپخت شرایطی حاکم می‌شود که علاوه بر بهبود چقرمگی، افت سختی رخ نمی‌دهد و در برخی موارد حتی افزایش سختی نیز مشاهده شده است. این پدیده سختی ثانویه بوده و بدلیل رسوب کاربیدهای آلیاژی در زمان بازپخت بوجود می‌آید.

مقدمه:

در این تحقیق سعی شده است پس از دسته‌بندی و معرفی فولادهای ابزار مورد استفاده در ساخت قالب‌های کارسرد، به بررسی پارامترهای عملیات حرارتی آن‌ها پرداخته شود. همچنین با توجه به کاربرد گستردهٔ فولادهای ابزار پرکرم و کربن (فولادهای سری D) در ساخت قالب‌های کارسرد، در بخشی جداگانه به بررسی دقیق‌تر فولادهای این گروه پرداخته شود.

فولادهای ابزار سردکار گروه وسیع و گسترده‌ای از فولادهای آلیاژی هستند که برای شکل‌دهی و ماشین‌کاری مواد دیگر به کار می‌روند. بنابراین، این نوع فولادها به نحوی طراحی شده‌اند که دارای سختی بالا، مقاومت به سایش عالی و پایداری تحت شرایط کاری سخت باشند. عملیات حرارتی فولادهای ابزار مشابه با عملیات حرارتی فولادهای کم آلیاژِ سختی پذیر است، به بیان دیگر، خواص نهایی آنها توسط آستنیته کردن، تشکیل مارتنزیت و در پایان بازپخت به دست می‌آید. اما، اکثر فولادهای آلیاژی عناصر آلیاژی زیادی دارند و لذا در ضمن تولید و عملیات حرارتی آنها باید پیش‌بینی و احتیاطهای لازم انجام شود. این امور، جهت دستیابی به ریزساختار مناسب متشکل از زمینه مارتنزیت بازپخت شده حاوی کاربیدهای آلیاژی هستند. عناصر آلیاژی اصلی آنها علاوه بر کربن، تا اندازهٔ 12% کرم است ولی برای بهبود خواص مورد نیاز عناصر دیگری نیز به آنها می افزایند مانند تنگستن، نیکل، کبالت، وانادیم، منگنز و سیلیسیم. فولادهای ابزار سردکار پرکرم و پر کربن در سیستم نام‌گذاری AISI با حرف D نام‌گذاری شده‌اند.

تمام فولادهای گروه D با سرد شدن در هوا از دمای آستنیته سخت می‌شوند، البته فولادهای D3 و D6 از این قاعده مستثنی هستند. بطور کلی فولادهای گروه D به دو دسته تقسیم می‌شوند، دسته اول فولادهای D3 و D6 که در روغن سخت می‌شوند و دستهٔ دوم در هوا سخت می‌شوند. فولادهای گروه D در خلال جنگ جهانی اول ساخته شدند تا جایگزین فولادهای تندبر شوند. فولادهای گروه D در دمای بالا خواص برشی خوبی نداشته و برای ساخت ابزار ماشین‌کاری ترد هستند و حضور درصد بالای کربن و عناصر آلیاژی در آن‌ها باعث تولید کاربیدهای آلیاژی بسیار سخت، می‌شود. این کاربیدها باعث مقاومت به سایش بالا می‌شوند و در نتیجه برای ساخت قالب‌های برش و شکل‌دهی سرد مناسب هستند ولی همان‌طور که ذکر شد باید توجه داشت که به دلایل متالورژیکی خاص این نوع فولادها، فقط در دمای پایین (کمتر از $400^{\circ}C$) قابل استفاده هستند.

در عملیات حرارتی فولادهای ابزار مشکل آستنیت باقی‌مانده، حکم تسریع فرسایش را در اکثر فولادهای ابزار به عهده دارد. آستنیت باقی‌مانده یک فاز نرم و ناپایدار در دمای پایین است که تمایل دارد در دمای پایین به مارتنزیت تبدیل شود، باید توجه کرد که مارتنزیت حاصله ترد بوده و بعد از عملیات سرمازایی، فولاد حتماً نیاز به بازپخت دارد.