



پوشش های نانو کامپوزیتی فوق سخت

(اعمال شده بر روش PVD و CVD)

مؤلفان:

دکتر خانعلی نکویی؛ عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی مالک اشتر

دکتر اشکان ذوالریاستین؛ عضو هیات علمی پژوهشگاه نپا

دکتر حسن علم خواه؛ عضو هیات علمی دانشگاه بوعلی سینا

سرشناسه	:	نکوئی، خانعلی، ۱۳۵۴
عنوان و نام پدیدآور	:	پوشش‌های نانو کامپوزیتی فوق‌سخت (اعمال شده به روش PVD و CVD) / مولفان: خانعلی نکوئی، اشکان ذوالریاستین، حسن علم‌خواه.
مشخصات نشر	:	همدان: دانشگاه بوعلی سینا، ۱۳۹۸.
شابک	:	۹۷۸-۶۰۰-۱۲۸-۲۹۳-۵
شناسه اثر رده	:	دانشگاه بوعلی سینا
رده‌بندی سنگره	:	TA۴۱۸/۷۶
رده‌بندی یویی	:	۶۶۷/۹
شماره کتابشناس ملی	:	۶۱۰۸۳۸۵

عنوان:	پوشش‌های نانو کامپوزیتی فوق‌سخت (اعمال شده به روش PVD و CVD)
مولفان:	دکتر خانعلی نکوئی، دکتر اشکان ذوالریاستین، دکتر حسن علم‌خواه
ناشر:	انتشارات دانشگاه بوعلی سینا
مدیر مرکز نشر:	دکتر محمدجواد بدالهی
چاپخانه:	چاپ البرز
صفحه و قطع:	۲۴۵- وزیر
نوبت چاپ:	اول
تیراژ:	۱۰۰۰
قیمت:	۳۰۰،۰۰۰ ریال
تاریخ انتشار:	۱۳۹۸
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۱۲۸-۲۹۳-۵
شماره کتاب:	م/۴۶۱

کلیه حقوق برای مرکز نشر دانشگاه بوعلی سینا محفوظ است

- مراکز فروش در همدان: ۱. دانشگاه بوعلی سینا، مرکز نشر دانشگاه بوعلی سینا تلفکس: ۰۸۱-۳۸۲۹۱۲۷۶
۲. خیابان شهید حسین فهمیده، روبروی پارک مردم، فروشگاه اداره انتشارات
۳. خیابان مهدیه روبروی خانه معلم- انتشارات دانشجو
- نمایندگی فروش در تهران مرکز پخش کتابیران: تهران - میدان انقلاب - خیابان کارگر جنوبی- خیابان لبافی نژاد بین فروردین و اردیبهشت پلاک ۲۳۸ تلفن: ۶۶۴۱۴۴۷۴ - ۶۶۴۱۱۱۷۳ فروشگاه کتابیران: تهران - میدان انقلاب - روبروی درب اصلی دانشگاه تهران مجتمع فرهنگی فروزنده طبقه همکف پلاک ۳۱۶ تلفن: ۶۶۹۵۲۹۳۳-۴

پیشگفتار

به دلیل خواص منحصر به پوشش‌های نانوساختار، این پوشش‌ها در سه دهه اخیر کاربردهای صنعتی گسترده‌ای یافته است. یکی از پوشش‌های نانوساختار که به دلیل ماهیت آن سختی بسیار بالایی دارد، «پوشش‌های نانوکامپوزیتی»^۱ است که تحقیقات پژوهشگران در یک دهه اخیر به آن معطوف شده است. لذا در این کتاب، آخرین تحقیقات و پیشرفت‌های انجام شده در زمینه پوشش‌های نانوکامپوزیتی فوق سخت^۲ و همچنین پوشش‌های چندگانه و چند لایه، برای کاربردهای تریبولوژیکی مورد بررسی و مطالعه دقیق قرار گرفته است و مثال‌هایی از ساختار، خواص و عملکرد آن‌ها ارائه شده است.

به دلیل خواص منحصر به فرد پوشش‌های نانوکامپوزیتی از جمله سختی بالا، پایداری حرارتی خوب، رفتار اکسیداسیون، ماهیت سایشی مناسب، عملکرد بسیار خوبی در برابر شرایط شدید محیط‌های خشن را از خود نشان می‌دهند. خواص پوشش‌های نانوکامپوزیتی مانند سختی را می‌توان با استفاده از نوع ساختارشان تفسیر نمود. ضمن پایداری حرارتی و خواص اکسیداسیون به عنوان خواص ذاتی مواد هستند و می‌توان آن را مستقیماً با نانوساختار پوشش ارتباط داد که دلایل اصلی آن در بخش‌های مختلف کتاب به تفصیل توضیح داده شده است.

برای ایجاد پوشش‌های نانوکامپوزیتی از روش‌ها، چسب رسوب‌گذاری فیزیکی از فاز بخار (PVD) و رسوب‌گذاری شیمیایی از فاز بخار (CVD) استفاده می‌شود. در این فرایندها با کنترل فرایند، امکان دستیابی به پوشش با اندازه دانه تقریباً ۱۰ نانومتر میسر است که مطابق رابطه هال-پچ^۳ امکان دستیابی به بیشینه مقدار استحکام مکانیکی وجود خواهد داشت.

^۱ - Nanocomposite coating

^۲ - Super-hard

^۳ - Hall-Petch relation

در این کتاب ابتدا به بررسی کلی روش‌های پوشش‌دهی و طراحی پوشش‌های نانوکامپوزتی پرداخته شده است و پارامترهای مؤثر در روش ساخت و طراحی این نوع پوشش‌ها ارائه شده است. در ادامه به معرفی انواع پوشش‌های نانوکامپوزتی سخت برای کاربردهای تریبولوژیکی پرداخته شده است و ریزساختار و مشخصات مکانیکی آن‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است. خواص مکانیکی و تریبولوژیکی این نوع پوشش‌ها از جمله سختی، سایش و چسبندگی و روش‌های ارتقای این خواص در بخش‌های بعدی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است و ارتباط بین پارامترهای مختلف مکانیکی از جمله سختی، بازایی الاستیک و مدول الاستیسیته در پوشش‌های نانوکامپوزیتی سخت و فوق-سخت ارائه شده است. از جمله ویژگی‌هایی که در پوشش‌های نانوکامپوزیتی برای کاربردهای تریبولوژیکی بسیار مهم است، پایداری حرارتی و مقاومت در برابر اکسیداسیون این پوشش‌ها در محیط‌های مختلف می‌باشد که در بخش‌های بعدی مورد مطالعه و بررسی دقیق قرار گرفته است.

فهرست مطالب

فصل ۱. مقدمه.....	۱
۱-۳-۱- نسل اول: پوشش‌های نیتریدی تک فلزی باهدف افزایش سختی.....	۷
۲-۳-۱- نسل دوم: پوشش‌های نیتریدی آلیاژی با مقاومت به اکسیداسیون و حرارت بالا.....	۸
۳-۳-۱- نسل سوم: پوشش‌های چندلایه و ابرشبکه.....	۸
۴-۳-۱- نسل چهارم: پوشش‌های نانوکامپوزیتی.....	۹
۱-۳-۱- نسل پنجم: پوشش‌های DLC با هدف کاهش ضریب اصطکاک.....	۱۱
۶-۳-۱- نسل ششم: پوشش‌های هیبریدی با هدف بهبود چندممنظوره بهبود خواص.....	۱۱
فصل ۲. روش‌های طراحی و سنتز پوشش‌های نانوکامپوزیتی.....	۱۷
۱-۲- مقدمه.....	۱۹
۲-۲- تشکیل پوشش‌های نانوبلور و نانوکامپوزیت.....	۲۴
۲-۲- روش طراحی پوشش‌های نانوکامپوزیت سخت.....	۲۷
۳-۲- سنتز نانوکامپوزیت‌ها.....	۳۷
۴-۲- پارامترهای مؤثر بر خواص مکانیکی، شیمیایی و فیزیکی در پوشش‌های نانوکامپوزیتی.....	۴۵
۵-۲- روش‌هایی برای کنترل اندازه و جهت‌گیری دانه‌ها در پوشش نانوکامپوزیت.....	۴۷
۱-۵-۲- بمباران یونی کم انرژی.....	۴۷
۲-۵-۲- فرآیند ترکیب.....	۴۷
۶-۲- پوشش‌های نیتريد فلزات واسطه.....	۴۸

فصل ۳. انواع پوشش‌های نانوکامپوزیتی برای کاربردهای تریبولوژیکی ۵۵

۱-۳. مقدمه ۵۷

۲-۳. طبقه بندی پوشش‌های نانوکامپوزیتی فوق سخت ۶۲

۳-۳. پوشش‌های نانوکامپوزیتی خودروانکار ۶۶

۴-۳. پوشش‌های نانوکامپوزیت سخت و فوق سخت ۷۰

۴-۳. پوشش‌های نانوکامپوزیتی مقاوم در دماهای بالا ۷۸

۵-۳. پوشش‌های نانوکامپوزیتی کربنی الماسی و شبه الماسی ۸۲

فصل ۴. خواص مکانیکی و تریبولوژیکی پوشش‌های نانوکامپوزیتی سخت و فوق سخت ۸۵

۱-۴. مقدمه ۸۷

۲-۴. مکانیزم‌های افزایش سختی پوشش‌های چندلایه ۹۷

۳-۴. پوشش‌های چقرمه مقاوم در برابر سایش ۱۰۶

۱-۳-۴. مکانیزم‌های افزایش چقرمگی در پوشش‌های چندلایه ۱۱۱

۲-۳-۴. تهیه پوشش‌های چقرمه با عملکرد تدریجی ۱۱۳

۳-۳-۴. پوشش‌های نانوکامپوزیتی نانوبلور/آمورف برای افزایش چقرمگی ۱۱۴

۴-۳-۴. نانوکامپوزیت‌های «آفتاب پرست» برای تهیه پوشش‌های سخت و چقرمه با اصطکاک کم ۱۱۸

۴-۴. خواص مکانیکی و تریبولوژیکی پوشش‌های نانوکامپوزیتی سخت از نوع M_1O_N / M_2O_N فاز سخت ۱۲۳

۱-۴-۴. سختی و مورفولوژی نانوکامپوزیت nc-TiC/a-c:H ۱۲۳

۲-۴-۴. مدل منطقه‌ای ساختاری برای روابط بین نانوسختی- نانوساختار نانوکامپوزیت‌های nc-

nc-TiC/a-c:H و $TiN/a-Si_3N_4$ ۱۲۴

۳-۴-۴. بررسی رفتار تریبولوژیکی نانوکامپوزیت‌های nc-TiN/a-Si₃N₄ و nc-TiC/a-c:H ۱۳۰

- ۵-۴. خواص مکانیکی و تریبولوژیکی پوشش‌های نانوکامپوزیتی سخت از نوع nc-MeN / فاز نرم ... ۱۳۲
- ۵-۴-۱. خواص مکانیکی پوشش‌های نانوکامپوزیتی Cr-Ni-N و Ti-Mo-N ۱۳۲
- ۵-۴-۲. اثر فاز نرم بر خواص مکانیکی پوشش‌های نانوکامپوزیتی nc-MeN / فاز نرم ۱۳۳
- ۵-۴-۳. اثر فاز سخت بر خواص مکانیکی پوشش‌های نانوکامپوزیتی nc-MeN / فاز نرم ۱۳۵
- ۵-۴-۴. ضریب اصطکاک پوشش‌های نانوکامپوزیتی nc-MeN / فاز نرم ۱۳۶
- ۶-۴. خواص تریبولوژیکی پوشش‌های نانوکامپوزیتی متشکل از نانوذرات پراکنده در زمینه‌ی آمورف. ۱۳۸
- ۷-۴. پوشش‌های نانوکامپوزیت فوق سخت با ساختارهای مختلف و سختی یکسان ۱۴۲
- ۸-۴. رابطه تنش پسماند و اندازه دانه‌ی پوشش‌های نانوکامپوزیت فوق سخت ۱۴۴
- ۹-۴. پوشش‌های سخت با مقاومت بالا به ترک ۱۴۵
- ۹-۴-۱. پوشش‌های سخت Zr-Al-O با مقاومت بالا به ترک خوردگی ۱۴۵
- ۹-۴-۲. پوشش‌های Al-Cu-O سخت با مقاومت بالا به ترک خوردگی ۱۴۸
- ۹-۴-۳. پوشش‌های Al-O-N سخت با مقاومت بالا به ترک خوردگی ۱۵۱
- ۹-۴-۴. تأثیر ریزساختار پوشش بر روی مقاومت در برابر ترک خوردگی ۱۵۴
- ۹-۴-۵. پوشش‌های سخت با ساختار متراکم بدون سیمان بخصوص و مقاومت بالا در برابر ترک. ۱۵۵
- ۱۰-۴. ارتباط بین سختی، مدول یانگ و بازیابی الاستیک، در پوشش‌های نانوکامپوزیتی ۱۵۹
- ۱۰-۴-۱. منحنی‌های بارگذاری / باربرداری ۱۵۹
- ۱۰-۴-۱-۱. اثر سختی H بر روی منحنی‌های بارگذاری / باربرداری ۱۶۰
- ۱۰-۴-۱-۲. اثر مدول یانگ E بر روی منحنی‌های بارگذاری / باربرداری ۱۶۱
- ۱۰-۴-۱-۳. اثر بازیابی الاستیک We بر منحنی‌های بارگذاری / باربرداری ۱۶۴
- ۱۰-۴-۲. ارتباط بین پارامترهای مکانیکی پایه‌ای در پوشش‌های سخت و فوق سخت ۱۶۷
- ۱۱-۴. آزمون چسبندگی ۱۶۹

۱۷۵	فصل ۵. پایداری حرارتی پوشش‌های نانوکامپوزیتی
۱۷۷	۱-۵. مقدمه
۱۸۱	۲-۵. پایداری حرارتی
۱۸۳	۳-۵. پایداری حرارتی پوشش ابر شبکه
۱۸۴	۴-۵. پوشش‌های نانوکامپوزیتی «آفتاب پرست» برای دمای بالا
۱۸۷	۵-۵. بررسی پایداری حرارتی نانوکامپوزیت‌های $\text{nc-TiN/a-Si}_3\text{N}_4$ و nc-TiC/a-c:H
۱۸۷	۵-۵-۱. پایداری حرارتی نانوکامپوزیت $\text{nc-TiN/a-Si}_3\text{N}_4$
۱۸۷	۵-۵-۲. پایداری حرارتی نانوکامپوزیت nc-TiC/a-c:H
۱۸۸	۵-۶. پایداری حرارتی پوشش‌های $\gamma\text{-Alumina}$, PVD و آنالیز عملکرد آن در ماشین‌کاری فولادهای زنگ
۱۸۸	نزن آستنیتی
۱۸۸	۵-۶-۱. نحوه اعمال پوشش و شاید زیرپایه پوشش‌های $\gamma\text{-Alumina}$, PVD
۱۸۸	۵-۶-۲. ویژگی‌های پوشش و ترکیب $\gamma\text{-Alumina}$
۱۸۹	۵-۶-۳. عملکرد پایداری حرارتی در عملیات برشکاری پوشش‌های $\gamma\text{-Alumina}$, PVD
۱۹۴	۵-۶-۴. پایداری حرارتی پوشش‌های آلومینای γ در ماشین‌کاری
۱۹۷	فصل ۶. مقاومت در برابر اکسیداسیون پوشش‌های نانوکامپوزیتی
۱۹۹	۱-۶. مقاومت در برابر اکسیداسیون پوشش‌های آمورف
۱۹۹	۶-۱-۱. مقاومت در برابر اکسیداسیون پوشش‌های کامپوزیتی پایه نیتریدی آمورف
۲۰۴	۶-۱-۲. مقاومت اکسیداسیونی پوشش‌های کامپوزیتی پایه اکسیدی آمورف
۲۰۸	۶-۲. مقاومت در برابر خوردگی پوشش‌های سرامیکی سد حرارتی
۲۰۹	۶-۲-۱. چرخه‌ی حرارتی

۲۱۰..... ۲-۳-۶. آزمایش خوردگی

۲۱۱..... ۳-۲-۶. ارزیابی موانع نشر اکسید

فصل ۷. جمع‌بندی و نتایج..... ۲۱۳

۲۱۵..... ۱-۷. طراحی و روش‌های سنتز پوشش‌های نانوکامپوزیتی

۲۱۶..... ۲-۷. انواع پوشش‌های نانوکامپوزیتی سخت و فوق سخت

۲۲۰..... ۳-۷. خواص مکانیکی و تریبولوژیکی پوشش‌های نانوکامپوزیتی سخت و فوق سخت

۲۲۴..... ۴-۷. پایداری - حرارتی پوشش‌های نانوکامپوزیتی

۲۲۶..... ۵-۷. مقاومت در برابر سایش و خوردگی پوشش‌های نانوکامپوزیتی

فصل ۸. منابع..... ۲۲۷