



پلیمرهای پیشرفته در طراحی تجهیزات ورزشی سبک و مقاوم: کاربردها و بررسی آزمایشگاهی

تهیه و تنظیم: دکتر فرناز نایب مراد

روابط مکانیکی پایه:

$$\sigma = F/A, E = \sigma/\epsilon, U = \int \sigma d\epsilon$$

این روابط برای تحلیل عملکرد مواد در شرایط بارگذاری ورزشی ضروری هستند.

۳- پلیمرها و کاربرد دقیق با مثال‌ها

۳-۱ - پلی کربنات (PC)

* ساختار شیمیایی: $(C_{15}H_{16}O_2)_n$ ساختار

خطی با گروه بیسفنول A

* خواص: مقاومت ضربه‌ای بسیار بالا (J/m)

$Izod < 850$ شفافیت نوری ۹۰ درصد

کاربرد و مثال:

* کلاه ایمنی دوچرخه سواری برند Giro

* کلاه اسکیت Pro-Tec

* عینک اسکی Oakley

* شیلد محافظ هاکی

* دلیل انتخاب: مقاومت بالا در برابر ضربه و شفافیت

برای دید واضح

۳-۲ - پلی آمید (Nylon ۶/۶)

* ساختار: پیوندهای آمیدی قوی، مقاومت کششی

۸۰-۱۰۰ مگاپاسکال

کاربرد و مثال:

* نخ راکت تنیس Yonex Poly Tour

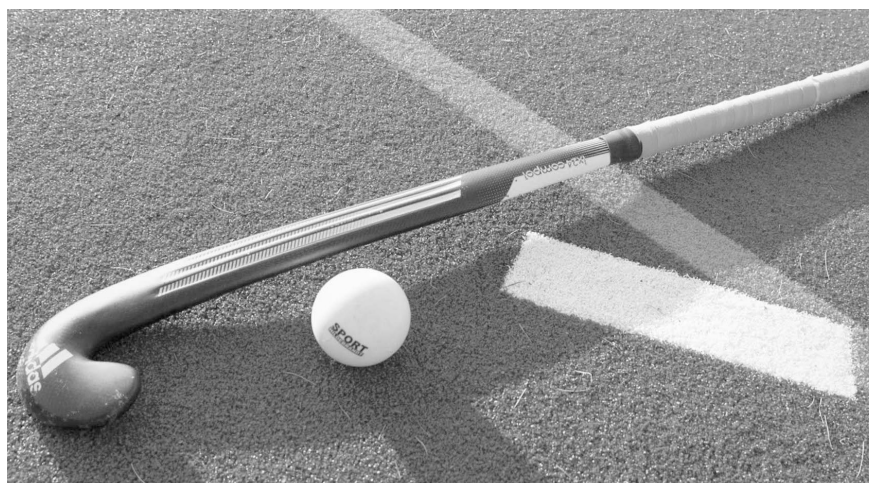
* تور والیبال Mikasa

* چرخ‌دنده‌های داخلی دوچرخه Shimano

* ویژگی کلیدی: انعطاف پذیری و مقاومت سایشی بالا

۳-۳ - PEEK

* ساختار: پلیمر کریستالی، مدول ۳/۶ GPa



۱- مقدمه

چکیده

در طراحی تجهیزات ورزشی حرفه‌ای، دستیابی به ترکیب سبکی، استحکام و مقاومت به ضربه اهمیت ویژه‌ای دارد. فلزات اگرچه استحکام بالایی دارند، اما چگالی زیاد و انعطاف کم آن‌ها موجب افزایش خستگی ورزشکار می‌شود. پلیمرهای پیشرفته با چگالی بین ۰/۹ تا ۱/۴ g/cm³ و مدول کشسانی قابل تنظیم، گزینه‌ای ایده‌آل برای تولید تجهیزات ورزشی سبک، مقاوم و بادوام هستند.

۲- ویژگی‌های مکانیکی کلیدی

ویژگی‌های کلیدی مواد ورزشی شامل:

* استحکام کششی بالا (σ)

* مدول یانگ (E)

* چقرمگی شکست (K_{IC})

* سبکی (ρ پایین)

* مقاومت به خستگی و سایش

تحولات اخیر در علم مواد سبب شده پلیمرهای مهندسی جایگاه ویژه‌ای در طراحی تجهیزات ورزشی پیدا کنند.

هدف از استفاده این مواد، دستیابی به وزن کمتر، استحکام بالاتر، انعطاف پذیری مناسب و دوام در برابر خستگی است.

در این مقاله، مهم‌ترین پلیمرهای صنعتی از جمله پلی کربنات (PC)، پلی آمید (PA)، پلی اتر اتر کتون (PEEK)، پلی یورتان ترموپلاستیک (TPU)، پلی اتیلن با وزن مولکولی بالا (UHMWPE) و کامپوزیت‌های الیافی (GFRP و CFRP) از نظر ساختار، خواص فیزیکی و مکانیکی، کاربرد در تجهیزات ورزشی و نتایج آزمایشگاهی بررسی شده‌اند.

مثال‌های مشخصی برای هر تجهیز ورزشی آورده شده و تحلیل عملکرد مواد ارائه شده است.



مقاومت حرارتی تا 260°C

کاربرد و مثال:

*محور و قطعات تحمل کننده بار دوچرخه Trek و Scott

*اسکیت حرفه‌ای Rollerblad

*ابزار بدن سازی با بارگذاری متناوب

*ویژگی: تحمل بار و حرارت بالا، مقاومت به خستگی

TPU - ۳-۴

ساختار: زنجیره‌های سخت نرم با خاصیت ارتجاعی بالا کاربرد و مثال:

* زیره کفش Nike Air, Adidas Boost

* توپ فوتبال Adidas Al Rihla

*پدهای محافظ زانو و آرنج

*ویژگی: جذب انرژی ضربه و بازگشت انرژی مناسب

UHMWPE - ۳-۵

ساختار: زنجیره بلند با چقرمگی فوق العاده و

اصطکاک سطحی پایین

کاربرد و مثال:

*طناب کوهنوردی Petzl

*زره‌های محافظ بدن ورزشکاران رزمی

*تخته موج سواری برند Bi

*ویژگی: مقاومت سایشی بالا و سبکی

۴- کامپوزیت‌های پلیمری و کاربردها

CFRP (الیاف کربن - اپوکسی)

خواص: مدول 230 GPa ، چگالی 1.6 g/cm^3

کاربرد و مثال: بدنه دوچرخه حرفه‌ای Madone Trek

*راکت تنیس Babolat Pure Aero

*چوب گلف Callaway

*پاروی قایقرانی Concept2

دلیل انتخاب: نسبت استحکام به وزن بالا و کاهش

ارتعاش

CFRP (الیاف شیشه - اپوکسی)

خواص: انعطاف پذیری و مقاومت به ضربه

کاربرد و مثال:

*تخته اسکی Rossignol

*اسنو بورد Burton

*بدنه قایق‌های پارویی

*ویژگی: مناسب بارگذاری تناوبی و دمایی پایین

آرامیدها (Kevlar)

خواص: مقاومت کششی بالا و جذب انرژی ضربه

کاربرد و مثال: دستکش بوکس Everlast

*محافظ ساق

*لباس ضدضربه دوچرخه سواری کوهستانی

*ویژگی: جذب انرژی ضربه و حفاظت از ورزشکار

۵- بخش آزمایشگاهی و تحلیل تخصصی

۱-۵- آماده سازی نمونه‌ها

نمونه‌ها به صورت پلاک‌های $10 \times 10 \times 2\text{ mm}$

میلی متر قالب گیری شدند. برای نمونه‌های

کامپوزیتی، الیاف کربن و شیشه در ماتریس

اپوکسی به صورت لایه‌ای و جهت دار قرار

گرفتند. نمونه‌ها قبل از تست در دمای 23°C

و رطوبت ۵۰ درصد equilibrated شدند.

۲-۵- تست کشش (Tensile Test)

دستگاه: (UMT) بادقت ۰/۵ درصد و ظرفیت

10 kN

نرخ کشش: ۵ میلی متر بر دقیقه

اندازه گیری‌ها: استحکام کششی ($\sigma_{\max}$)

(σ)، مدول یانگ (E) و کرنش شکست

(ϵ_b)

کاربرد در ورزش: PEEK و CFRP در بدنه

دوچرخه و قطعات تحمل کننده بار استفاده می شوند.

۳-۵- تست ضربه ایزود (Izod Impact Test)

*دستگاه: ماشین تست ضربه ایزود با پاندول ۵ ژول

*نمونه‌ها: دارای شیار استاندارد

اندازه گیری: انرژی جذب شده و چقرمگی شکست

*نتایج: پلی کربنات و TPU بیشترین انرژی جذب

شده را دارند.

کاربرد:

مناسب کلاه ایمنی و محافظ

۴-۵- تست خستگی (Fatigue Test)

روش: بارگذاری تناوبی سینوسی با دامنه ۳۰-۷۰

درصد استحکام کششی

چرخه‌ها: تا شکست یا 10^6 چرخه

تحلیل: نمودار S-N

کاربرد:

راکت تنیس

محور دوچرخه PEEK و PRFC

۵-۵- تست حرارتی

DSC: تعیین Tg و Tm تا 350°C

DMA: مدول و رفتار ویسکوالاستیک در

25°C - 150°C

TGA: پایداری حرارتی تا 600°C

کاربرد: TPU و UHMWPE برای زیره کفش

و طناب کوهنوردی

۶-۵- تحلیل نتایج آزمایشگاهی

پلی کربنات: مقاومت ضربه عالی $\rightarrow$ کلاه و محافظ

UPT: جذب انرژی و بازگشت بالا $\rightarrow$ زیره

کفش و پدهای محافظ

PEEK و CFRP: استحکام کششی و مدول

بالا $\rightarrow$ بدنه دوچرخه، راکت

UHMWPE: سبک، مقاومت سایشی و ضربه

بالا $\rightarrow$ طناب و زره محافظ

پلی آمید: تعادل بین انعطاف و استحکام $\rightarrow$ نخ

راکت و تور

۶- نتیجه گیری

پلیمرهای مهندسی و کامپوزیت‌ها با تحلیل

آزمایشگاهی و مثال‌های واقعی تجهیزات ورزشی

نشان دادند که می‌توانند ترکیبی ایده‌آل از سبکی،

استحکام و انعطاف پذیری ارائه دهند. استفاده از

این مواد موجب افزایش عملکرد، ایمنی و دوام

تجهیزات ورزشی می‌شود. توسعه فناوری نانو و

پلیمرهای زیست پایه آینده تجهیزات هوشمند و

پایدار را تضمین می‌کند.

1. Mallick, P. K. (2007). Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design. CRC Press.
2. Chung, D. D. L. (2010). Composite Materials: Science and Applications. Springer.
3. Peijs, T., & Galliot, C. (2016). High-performance polymers and composites for sports equipment. Sports Engineering, 19(2), 81-96.
4. Bahr, D. F., & Nash, D. H. (2019). Advanced Engineering Materials for Sports Applications. Elsevier.
5. Gupta, M., & Srivastava, S. (2020). Lightweight polymer composites for sports and automotive applications. Polymer Testing, 85, 106444.
6. Chen, J., et al. (2021). PEEK-based polymer composites in mechanical and sports applications. Composites Science and Technology, 208, 108774.
7. Kumar, R., et al. (2022). Nanocomposite polymers for next-generation sports equipment. Journal of Applied Polymer Science, 139(35), 52115.
8. Plank, J., et al. (2023). Thermoplastic polyurethane (TPU) as a shock-absorbing layer in footwear: structure-property correlations. Polymer Engineering & Science, 63(1), 24-33.