NABAK COMPOSITE

نابک کامپوزیت

عرضه‌کننده محصولات کامپوزیتی FRP/GRP

TECHNICAL DATA SHEET

برگه اطلاعات فنی

تسمه کامپوزیتی FRP

FRP / GRP FLAT BAR



PRODUCT SERIES

FRP/GRP FLAT BAR



انواع ضخامت و عرض



مشخصات فنی



رنگ‌ها و سطح



کاربردها

NBK-TDS-FLB-01 | REV 1.0

تسمه کامپوزیتی FRP نابک کامپوزیت (FRP / GRP Flat Bar) یک پروفیل پالتروژن توپر با مقطع مستطیل از کامپوزیت GFRP است؛ تسمه‌ای با مقاومت کششی بالا، سبک، بدون زنگ‌زدگی، عایق الکتریکی و بدون نیاز به رنگ که جایگزین تسمه فولادی، گالوانیزه، آلومینیومی و چوبی در پاخور، ورق اتصال، نوار سایشی، تکیه‌گاه سینی کابل و قطعات عایق محیط‌های خورنده و الکتریکی می‌شود.

عرض تسمه	ضخامت تسمه	مقاومت کششی طولی	وزن تسمه فولادی هم‌اندازه
25 – 200 mm	3 – 12.7 mm	≥ 240 MPa	≈ 1/4

تسمه کامپوزیتی FRP (تسمه GFRP) چیست؟

تسمه کامپوزیتی که با نام‌های **تسمه FRP**، **تسمه GFRP**، **تسمه فایبرگلاس**، **پروفیل تسمه کامپوزیتی** و **ورق باریک کامپوزیتی** شناخته می‌شود، با کشیدن پیوسته روونیگ‌های الیاف شیشه و مت‌های سطحی آغشته به رزین از قالب گرم مستطیلی تولید می‌شود. در تسمه کامپوزیتی، سهم الیاف طولی معمولاً از سایر پروفیل‌ها بیشتر است؛ به همین دلیل تسمه FRP در جهت طول، کشش و خمش بسیار خوبی دارد و برای قطعات کششی و صفحه‌ای ایده‌آل است.

FRP نام عمومی پلیمرهای تقویت‌شده با الیاف است و GFRP (یا GRP) کامپوزیت FRP با الیاف شیشه است. تسمه کامپوزیتی یک مقطع ساده با یک محور قوی (روی لبه) و یک محور بسیار ضعیف (تخت) است؛ این تفاوت در طراحی تسمه FRP اهمیت زیادی دارد و در صفحات ۴ و ۵ توضیح داده شده است.

ساختار تسمه کامپوزیتی

هسته روونیگ طولی	مت عرضی	لایه سطحی Veil	لبه‌ها
الیاف شیشه پیوسته و موازی؛ منبع اصلی مقاومت کششی و سفتی تسمه FRP.	مت پیوسته یا پارچه که مقاومت عرضی، لهیدگی پیچ و مقاومت در برابر شکاف‌خوردگی را بالا می‌برد.	سطح صاف و غنی از رزین با افزودنی ضد UV برای دوام و ظاهر یکدست.	لبه تیز یا گرد (به سفارش)؛ لبه گرد برای پاخور و قطعات در دسترس دست.

مزایای تسمه FRP نسبت به تسمه فولادی

- **ضد خوردگی:** تسمه کامپوزیتی در آب دریا، کلر، اسید و بخارات شیمیایی زنگ نمی‌زند.
- **عایق الکتریکی و حرارتی:** تسمه GFRP برای قطعات عایق تابلو، پست برق و نگهدارنده باسبار مناسب است.
- **سبک:** تسمه فایبرگلاس ۱۰۰×۱۰ تنها ۱٫۸۵ kg/m؛ حدود یک‌چهارم تسمه فولادی.
- **مقاومت کششی بالا:** هم‌تراز یا بیشتر از فولاد ساختمانی در جهت طول.
- **غیرمغناطیسی و بدون جرقه:** مناسب مناطق با خطر انفجار و تجهیزات حساس.
- **ساخت آسان:** برش و سوراخ‌کاری با ابزار ساده؛ بدون جوش و کار گرم.

کاربردهای تسمه کامپوزیتی FRP

پاخور هندریل پاخور ۱۰۰ یا ۱۵۰ میلی‌متری هندریل FRP در سکوها و راهروها	**ورق اتصال و وصله** ورق گاست و وصله اتصال تیر، ستون و مهاربند کامپوزیتی	**نوار سایشی و راهنما** نوار سایشی نوار نقاله، راهنمای زنجیر و درب‌های کشویی
سینی کابل و برق تکیه‌گاه، بست و قطعات عایق تابلو و پست برق	**برج خنک‌کننده** تیغه، نگهدارنده فیل و قطعات داخلی مقاوم در رطوبت	**لبه‌گیری و حصار** لبه‌گیری، قاب، حصار و نرده‌های سبک ضد خوردگی

جدول ابعاد و خواص مقطع تسمه کامپوزیتی

جدول ۱ — تسمه FRP: ابعاد، وزن و خواص مقطع (ρ = 1.85 g/cm³)

عرض × ضخامت b×t (mm)	A (mm²)	وزن (kg/m)	I قوی (روی لبه) (mm⁴)	W قوی (mm³)	I ضعیف (تخت) (mm⁴)	W ضعیف (mm³)	J (mm⁴)	نیروی کششی نهایی (kN)
۲۵ × ۳	۷۵	۰٫۱۴	3.91×10³	312	56	38	208	۱۸٫۰
۲۵ × ۶٫۴	۱۶۰	۰٫۳۰	8.33×10³	667	546	171	1.83×10³	۳۸٫۴
۳۸ × ۶٫۴	۲۴۳	۰٫۴۵	2.93×10⁴	1.54×10³	830	259	2.97×10³	۵۸٫۴
۵۰ × ۵	۲۵۰	۰٫۴۶	5.21×10⁴	2.08×10³	521	208	1.95×10³	۶۰٫۰
۵۰ × ۶٫۴	۳۲۰	۰٫۵۹	6.67×10⁴	2.67×10³	1.09×10³	341	4.02×10³	۷۶٫۸
۵۰ × ۱۰	۵۰۰	۰٫۹۳	1.04×10⁵	4.17×10³	4.17×10³	833	1.46×10⁴	۱۲۰
۷۶ × ۶٫۴	۴۸۶	۰٫۹۰	2.34×10⁵	6.16×10³	1.66×10³	519	6.29×10³	۱۱۷
۷۶ × ۹٫۵	۷۲۲	۱٫۳۴	3.48×10⁵	9.15×10³	5.43×10³	1.14×10³	2.00×10⁴	۱۷۳
۱۰۰ × ۶٫۴	۶۴۰	۱٫۱۸	5.33×10⁵	1.07×10⁴	2.18×10³	683	8.39×10³	۱۵۴
۱۰۰ × ۱۰	۱۰۰۰	۱٫۸۵	8.33×10⁵	1.67×10⁴	8.33×10³	1.67×10³	3.12×10⁴	۲۴۰
۱۵۰ × ۱۰	۱۵۰۰	۲٫۷۸	2.81×10⁶	3.75×10⁴	1.25×10⁴	2.50×10³	4.79×10⁴	۳۶۰
۲۰۰ × ۱۲٫۷	۲۵۴۰	۴٫۷۰	8.47×10⁶	8.47×10⁴	3.41×10⁴	5.38×10³	1.31×10⁵	۶۱۰

نیروی کششی نهایی با حداقل مقاومت ۲۴۰ MPa (گرید E23) محاسبه شده؛ بار کاری مجاز = نیروی نهایی ÷ ضریب اطمینان (۲٫۵ تا ۳) و همیشه با کنترل سوراخ و اتصال (فرمول ۹ و ۱۰). خواص مقطع با فرمول‌های ۱ تا ۴ (صفحه ۴).

شکل عرضه، تلرانس و رنگ تسمه FRP

جدول ۲ — مشخصات عرضه تسمه کامپوزیتی

پارامتر	مقدار	توضیح
عرض‌های رایج	۲۵، ۳۸، ۵۰، ۷۶، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ mm	عرض‌های دیگر با ساخت قالب یا برش طولی
ضخامت‌های رایج	۳، ۵، ۶٫۴، ۹٫۵، ۱۰، ۱۲٫۷ mm	ضخامت‌های اینچی و متریک
طول شاخه	۶ m (تا ۱۲ m)	برش و سوراخ‌کاری طبق نقشه
تلرانس عرض / ضخامت	±۰٫۵ mm / ±۰٫۳ mm	طبق EN 13706-2
رنگ	زرد، طوسی، سبز، کرم، مشکی	رنگ‌دانه در کل ضخامت؛ RAL سفارشی
سطح	صاف، مات، سنگ‌دانه‌ای ضد لغزش	سطح ضد لغزش برای پله و لبه سکو
رزین	ایزوفتالیک / وینیل‌استر / ضد شعله	وینیل‌استر برای محیط شیمیایی؛ ضد شعله ASTM E84 ≤ ۲۵

راهنمای انتخاب تسمه کامپوزیتی

جدول ۳ — تسمه FRP پیشنهادی برای کاربردهای رایج

کاربرد	تسمه پیشنهادی (mm)	نکته
پاخور هندریل کامپوزیتی	۱۰۰ × ۶٫۴ / ۱۵۰ × ۱۰	اتصال به هر پایه با براکت؛ لبه گرد
ورق اتصال و وصله پروفیل	۷۶ × ۹٫۵ / ۱۰۰ × ۱۰ / ۱۵۰ × ۱۰	کنترل لهیدگی پیچ (فرمول ۹)
نوار سایشی و راهنما	۲۵ × ۶٫۴ / ۵۰ × ۶٫۴	پیچ خزینه‌دار یا چسب روی بستر پیوسته
بست و تکیه‌گاه سینی کابل	۳۸ × ۶٫۴ / ۵۰ × ۵	عایق و ضد خوردگی در تأسیسات برقی
قطعات عایق تابلو و باسبار	۵۰ × ۱۰ / ۷۶ × ۹٫۵	رزین با گرید الکتریکی؛ فاصله خزشی کافی
تیغه و نگهدارنده برج خنک‌کننده	۵۰ × ۵ / ۷۶ × ۶٫۴	رزین وینیل‌استر در آب گرم و کلردار
مهار کششی و قید	۵۰ × ۱۰ / ۱۰۰ × ۱۰	ظرفیت مقطع خالص و اتصال (فرمول ۸ تا ۱۱)

خواص مکانیکی و فیزیکی تسمه کامپوزیتی

جدول ۴ — خواص مرجع تسمه GFRP پالتروژن

خاصیت	روش آزمون	حداقل گرید E23	مقدار رایج تسمه FRP
مقاومت کششی طولی	EN ISO 527-4	۲۴۰ MPa	۲۸۰ – ۴۵۰ MPa
مدول کششی طولی	EN ISO 527-4	۲۳ GPa	۲۳ – ۳۲ GPa
مقاومت کششی عرضی	EN ISO 527-4	۵۰ MPa	۵۰ – ۷۰ MPa
مقاومت خمشی طولی	EN ISO 14125	۲۴۰ MPa	۳۰۰ – ۴۵۰ MPa
مقاومت فشاری طولی	EN ISO 14126	—	۲۴۰ – ۳۵۰ MPa
مدول برشی G	—	—	۳ – ۴ GPa
مقاومت برشی ظاهری	EN ISO 14130	۲۵ MPa	۲۵ – ۴۰ MPa
لهیدگی پیچ طولی / عرضی	EN 13706	۷۰ / ۱۵۰ MPa	۹۰ – ۱۲۰ / ۱۸۰ – ۲۲۰ MPa
چگالی	ISO 1183	—	۱٫۸ – ۲٫۰ g/cm³
ضریب انبساط حرارتی طولی	—	—	۶ – ۱۰ ×۱۰⁻⁶/°C
استقامت دی‌الکتریک (عمود بر صفحه)	ASTM D149	—	۵ – ۱۰ kV/mm

مقادیر محدوده‌های رایج صنعت کامپوزیت FRP و GFRP و متن رایج EN 13706-3 هستند و نتایج آزمایشگاهی اختصاصی نابک کامپوزیت نیستند.

مقایسه تسمه کامپوزیتی با تسمه فلزی و پلاستیکی

جدول ۵ — تسمه ۱۰×۱۰۰ FRP در برابر تسمه فولادی، آلومینیومی و پلی‌اتیلن

ویژگی	تسمه GFRP	تسمه فولادی	تسمه آلومینیوم	تسمه UHMW-PE
وزن (kg/m)	۱٫۸۵	۷٫۸۵	۲٫۷	۰٫۹۴
مقاومت کششی (MPa)	۲۴۰ – ۴۵۰	۳۶۰ – ۵۱۰ (نهایی)	۲۰۰ – ۳۰۰	۲۰ – ۴۰
مدول (GPa)	۲۳ – ۳۲	۲۱۰	۷۰	۰٫۷ – ۱
خوردگی	ندارد	شدید	متوسط	ندارد
عایق الکتریکی	بله	خیر	خیر	بله
پایداری ابعادی و خزش	عالی	عالی	عالی	خزش زیاد

تسمه GFRP یا لمینیت CFRP؟ در بازار، «تسمه FRP» گاهی به لمینیت‌های کربنی (CFRP) برای تقویت تیر و دال بتنی گفته می‌شود. لمینیت CFRP مدول ۱۶۰ تا ۲۰۰ GPa دارد و برای تقویت سازه طراحی شده است. تسمه کامپوزیتی نابک از جنس GFRP و برای قطعات سازه‌ای سبک، ضد خوردگی و عایق است؛ برای پروژه‌های تقویت بتن، طراحی توسط مهندس سازه و انتخاب نوع لمینیت ضروری است.

انتخاب رزین تسمه کامپوزیتی بر اساس محیط

جدول ۶ — رزین پیشنهادی تسمه GFRP

محیط کاری	رزین پیشنهادی	دمای کاری تقریبی
داخلی، صنعتی عمومی، برق	پلی‌استر ایزوفتالیک	تا ≈ ۸۰ °C
اسید، قلیا، کلر، آب دریا	وینیل‌استر	تا ≈ ۱۰۰ °C
فضاهای عمومی، تونل، الزام آتش	رزین ضد شعله (ASTM E84 ≤ ۲۵)	تا ≈ ۸۰ °C
فضای باز با تابش شدید	هر رزین + Veil ضد UV یا پوشش پلی‌یورتان	—

فرمول‌های مقطع تسمه کامپوزیتی

۱. سطح مقطع و وزن

$$A = b \cdot t\,, \quad w = \rho \cdot A$$

۱۰۰×۱۰: $A = 1000\ \text{mm}^2$؛ $w = 1.85 \times 1000 \times 10^{-3} = 1.85\ \text{kg/m}$

۲. ممان اینرسی و مدول مقطع محور قوی (روی لبه)

$$I_s = \frac{t\,b^3}{12}\,, \quad W_s = \frac{t\,b^2}{6}$$

۱۰۰×۶٫۴: $I_s \approx 5.33\times10^5\ \text{mm}^4$، $W_s \approx 1.07\times10^4\ \text{mm}^3$

۳. ممان اینرسی و مدول مقطع محور ضعیف (تخت)

$$I_w = \frac{b\,t^3}{12}\,, \quad W_w = \frac{b\,t^2}{6}$$

۱۰۰×۶٫۴: $I_w \approx 2.18\times10^3\ \text{mm}^4$؛ حدود ۲۴۰ برابر کمتر از محور قوی

۴. ثابت پیچشی مقطع مستطیل باریک

$$J \approx \frac{b\,t^3}{3}\left(1 - 0.63\,\frac{t}{b}\right)$$

۱۰۰×۶٫۴: $J \approx 8\,738 \times 0.96 \approx 8.39\times10^3\ \text{mm}^4$

تسمه کامپوزیتی به‌عنوان تیر

۵. کمانش جانبی-پیچشی تسمه روی لبه

$$M_{cr} = \frac{\pi}{L_b}\sqrt{(E\,I_w \cdot G\,J)}\,, \quad M_y = \sigma_u \cdot W_s$$

مثال — تسمه ۱۰۰×۶٫۴ FRP روی لبه، E = 23 GPa، G = 3 GPa:

$M_y = 240 \times 1.07\times10^4 \approx 2.56\ \text{kN·m}$ (cross-section strength)

$L_b = 0.5\ \text{m}$: $M_{cr} \approx 0.22\ \text{kN·m}$; $L_b = 1.0\ \text{m}$: $M_{cr} \approx 0.11\ \text{kN·m}$

تسمه کامپوزیتی روی لبه، بدون مهار جانبی، تنها ۴ تا ۹ درصد مقاومت خمشی مقطع خود را دارد و به‌سرعت می‌پیچد. تسمه FRP را به‌عنوان تیر آزاد استفاده نکنید؛ برای خمش، نبشی، ناودانی یا قوطی کامپوزیتی، یا تسمه با مهار پیوسته (پیچ‌شده به پایه یا بال) انتخاب شود.

۶. کمانش تسمه در فشار (محور ضعیف)

$$P_{cr} = \frac{\pi^2\,E\,I_w}{(K\,L)^2}$$

۵۰×۱۰ با طول ۶۰۰ mm دو سر مفصل: $P_{cr} = \pi^2 \times 23\,000 \times 4167 / 600^2 \approx 2.6\ \text{kN}$؛ در مقابل ظرفیت کششی ۱۲۰ kN. تسمه FRP برای فشار مناسب نیست.

۷. خمش تخت تسمه (نوار سایشی، پاخور)

$$\sigma = \frac{M}{W_w}\,, \quad \delta = \frac{P\,L^3}{48\,E\,I_w}$$

پاخور ۱۵۰×۱۰ بین پایه‌های ۱٫۵ m زیر ۲۲۲ N (OSHA): $\sigma = (222 \times 1500/4) / 2500 \approx 33\ \text{MPa} \le 96$؛ ✓ خیز نسبتاً زیاد است و اتصال پاخور به پایه میانی آن را کاهش می‌دهد.

قاعده طراحی تسمه کامپوزیتی: تسمه FRP در **کشش** و به‌عنوان **صفحه** (ورق اتصال، وصله، نوار، پوشش) بهترین عملکرد را دارد. در فشار، خمش آزاد روی لبه و پیچش، مقطع مستطیل باریک بسیار ضعیف است و باید با مهار پیوسته یا پروفیل مناسب‌تر جایگزین شود.

تسمه کامپوزیتی در کشش و اتصال

۸. ظرفیت کششی مقطع خالص

$$A_n = (b - n \cdot d_h) \cdot t \,, \quad T_a = \frac{\sigma_t \cdot A_n}{FS}$$

n تعداد سوراخ در یک مقطع عرضی، d_h قطر سوراخ. تسمه ۷۶×۹٫۵ با یک سوراخ ۱۳ mm: $A_n = 63 \times 9.5 \approx 599\ mm^2$ → $T_a = 240 \times 599 / 2.5 \approx 57.5\ kN$

۹. ظرفیت لهیدگی پیچ

$$P_{br} = \frac{n \cdot d \cdot t \cdot \sigma_{br}}{FS}$$

۲ پیچ M12 در تسمه ۹٫۵ mm، $\sigma_{br} = 150\ MPa$، $FS = 3$: $P_{br} \approx 11.4\ kN$. در اتصال تسمه FRP، لهیدگی پیچ حدود یک‌پنجم ظرفیت مقطع است؛ برای استفاده از ظرفیت کششی تسمه، پیچ بیشتر یا چسب ساختاری لازم است.

۱۰. فواصل حداقل پیچ در تسمه

$$e_1 \geq 2d \,, \quad e_2 \geq 1.5d \,, \quad p \geq 4d \,, \quad b \geq 3d$$

پیچ M12: فاصله تا انتها ≥ ۲۴، تا لبه ≥ ۱۸ و بین پیچ‌ها ≥ ۴۸ mm؛ عرض حداقل تسمه برای یک ردیف M12 حدود ۳۶ mm

۱۱. اتصال چسبی هم‌پوشان (وصله)

$$P_a = \frac{\tau_a \cdot b \cdot l_o \cdot k_e}{FS}$$

$\tau_a \approx 10\ MPa$ (اپوکسی ساختاری)، $k_e \approx 0.5$ ضریب تمرکز تنش. تسمه ۷۶ با هم‌پوشانی ۱۰۰ mm و $FS = 3$: $P_a \approx 12.7\ kN$؛ ترکیب چسب و پیچ اتصال قوی‌تری می‌دهد.

۱۲. حداقل شعاع خم کشسان

$$R_{min} = \frac{E \cdot t}{2\,\sigma_a}$$

$\sigma_a \approx 0.3\ \sigma_u = 72\ MPa$ برای خم دائم. تسمه ۶٫۴ mm: $R_{min} \approx 23\,000 \times 6.4 / 144 \approx 1.0\ m$؛ مناسب لبه‌گیری قوس‌دار و تیغه‌های منحنی

راهنمای ساخت با تسمه کامپوزیتی

۱ برش: تسمه FRP را با اره تیغه الماسه یا کاربید و فشار کم ببرید تا لبه ورقه‌ورقه نشود.	**۲ سوراخ‌کاری:** با مته کاربیدی، قطر ۱ mm بیشتر از پیچ و با زیرسری چوبی برای جلوگیری از شکافتن پشت سوراخ.	**۳ آب‌بندی:** لبه‌های برش و سوراخ را با رزین هم‌جنس بپوشانید.
۴ اتصال: پیچ استیل یا پیچ FRP با واشر عریض در دو طرف؛ گشتاور کنترل‌شده.	**۵ جهت بار:** بار کششی در جهت طول تسمه باشد؛ خمش تخت و پیچش را محدود کنید.	**۶ ایمنی:** هنگام برش ماسک، عینک و دستکش؛ گرد الیاف را با مکنده جمع کنید.

آیا تسمه کامپوزیتی رسانای برق است؟

خیر؛ تسمه GFRP عایق الکتریکی است. برای قطعات تحت ولتاژ بالا، فاصله خزشی سطحی و آلودگی سطح نیز باید در طراحی لحاظ شود.

عرض و ضخامت سفارشی تسمه FRP ممکن است؟

بله؛ با ساخت قالب پالتروژن یا برش طولی از ورق و تسمه عریض، ابعاد سفارشی تسمه کامپوزیتی تولید می‌شود.

استعلام قیمت تسمه کامپوزیتی FRP: عرض و ضخامت، طول و تعداد شاخه، رنگ، سطح، نوع رزین و نقشه برش و سوراخ‌کاری را اعلام کنید.

نابک سازه گستر | nabakcomposite.com | 021 4881 2124 | موبایل 0912 396 3078 | اینستاگرام @nabak.composite

سلب مسئولیت: اطلاعات این برگه فنی بر پایه داده‌های عمومی و رایج صنعت کامپوزیت FRP و GFRP و استاندارد EN 13706 تهیه شده و جنبه راهنما دارد. مثال‌ها آموزشی‌اند و طراحی سازه‌ای باید توسط مهندس انجام شود. نابک کامپوزیت حق اصلاح مشخصات فنی را بدون اطلاع قبلی محفوظ می‌دارد.