بسم الله الرحمن الرحیم

مقدمه

1- میلگردهای تقویت شده با الیاف پلیمری[1](FRP)

2- کاربرد مصالح ساختمانی کامپوزیت

3- مشخصات مکانیکی میلگرد کامپوزیت

4- انواع آرماتورهای کامپوزیت

5- مزایای استفاده ازمیلگرد پلیمری

6- مقاومت میلگردهای FRP در مقابل خوردگی

7- مقاومت میلگردهای FRP در برابر نیروهای مغناطیسی

8- مقاومت میلگردهای FRP در برابر جریان الکتریکی

9- وزن کم میلگرد کامپوزیت FRP

10-انواع آرماتور کامپوزیتی FRP

11- مزایای میلگرد کامپوزیت FRP

12- کاربردهای میلگردهای FRP

13- طراحی سازه ها با میلگرد کامپوزیت FRP

14-مقاومت کششی میلگرد کامپوزیت GFRP

15- رفتار فشاری میلگرد کامپوزیت GFRP

16-رفتار چسبندگی میلگرد کامپوزیت GFRP

17-مقایسه پروفیل فایبر گلاس نسبت به پروفیل های فولادی

[1] Fiber Reinforced Polymer

18-سایز میلگرد کامپوزیتGFRP

1- میلگرد کامپوزیت، آرماتور فایبرگلاس،FRP Rebar

معرفی میلگرد کامپوزیت FRP

از ابتدایی ترین زمانی که میلگرد برای مقاوم سازی در فونداسیون سازه مورد استفاده قرار گرفته تاکنون، مشکل خوردگی و زنگ زدگی آن نیز یکی از دغدغه های فعالان در این عرصه بوده چرا که مقاطع فولادی در برابر الکتریسیته، امواج مغناطیسی، خوردگی و زنگ زدگی به شدت مقاومت پایینی داشته و موجب خرابی ها و صدمات جدی به سازه می شوند. از همین رو واحدهای صنعتی دست به تولید نوعی دیگر از این محصول با نام میلگردهای کامپوزیت "Fiber Reinforced Polymer" (FRP) زدند. مقاطع کامپوزیتی از لحاظ شکل ظاهری هیچ تفاوتی با مقاطع فولادی نداشته و فقط در تولید آن به جای فولاد از الیاف شیشه و کربن که مقاومت بیشتری در برابر خوردگی دارند استفاده می گردد.

از مزایای میلگرد کامپوزیتی می توان به مقاومت بسیار بالای آن در برابر خوردگی و زنگ زدگی اشاره کرد. مقاومت آرماتور های FRPدر برابر امواج مغناطیسی و الکتریسیته بالا است، همچنین دارای مقاومت کششی بسیار بالا هستند که این مورد برای جبران نیروی کششی بتن بسیار مناسب است. آرماتور های FRP رفتار مکانیکی ناهمسانگرد دارند که بر مقاومت برشی و رفتار چسبندگی میلگرد در بتن تاثیرگذار می باشد.

2- کاربرد مصالح ساختمانی کامپوزیت

شاید این سوال در ذهن بسیاری از خوانندگان مقاله نقش ببندد که میلگرد های کامپوزیتی چه کاربردهایی دارند؟

استفاده از آرماتورهای ضد زنگ می تواند مشکلات مقاطع فولادی مانند مقاومت کم در برابر خوردگی را برطرف کند، اما قیمت بالا امکان استفاده از آن را برای همه و در همه جا میسر نمی سازد. همانگونه که مشاهده کرده اید پس از گذشت چند سال از ساخت یک سازه، ممکن است ترک هایی در قسمت های بتنی سازه ایجاد شود که این ترک ها راه ورود مواد شیمیایی، آب و دیگر مواد نفوذ پذیر را به پی ساختمان باز می کند. ورود این مواد به داخل بتن، موجب ایجاد خوردگی مقطع و آسیب رسیدن به سازه می شود بنابراین برای حل این مشکل از مقاطع FRP ساخته شده از شیشه و کربن که عایق بوده و در برابر مواد شیمیایی، آب و

رطوبت مقاومت بالایی دارد، استفاده می کنند. بنابراین این محصول در مکان هایی که بیشتر در معرض آب و مواد شیمیایی قرار دارد مانند پل ها، اسکله ها، سازه های کشتی و... مناسب است.

عنصر اصلی ساخت مقاطع کامپوزیت الیاف شیشه و کربن است به همین دلیل این محصول در معرض میدان مغناطیسی بسیار مقاوم است. این ویژگی منجر شده تا بهترین مکان استفاده از آن در فرودگاه ها، راکتورها، لابراتورها باشد. همچنین باید توجه داشت که رسانا بودن مقاطع فلزی می تواند در بعضی موارد برای شهروندان خطر ساز باشد. برای مثال ممکن است هنگام وقوع سیل، موجب برق گرفتگی شود. بنابراین برای حل این معضل در ساخت دکل های برق، تیرهای چراغ برق، تیرهای انتقال برق به جای مقاطع فولادی از مقاطع کامپوزیتی استفاده می کنند.

3- مشخصات مکانیکی میلگرد کامپوزیت

مواد مورد استفاده در ساخت مقاطع به دو دسته کلی تقسیم می شوند:

- **پلی استر، اپوکسی، وانیل استر، PVC**
- **الیاف شیشه، فیبر نوری و یا آرامید**

4-آرماتورهای کامپوزیت نیز سه نوع میلگرد موجود می باشد:

1- میلگرد کربن(CFRP)

آرماتور با الیاف کربن (CFRP) با داشتن مقاومت کششی ۵ برابر بیشتر از آرماتورهای فولادی بهترین نوع مقاطع برای استفاده در ساخت پل ها و ساختمان ها می باشد. در ابتدا از الیاف کربن در هواپیما سازی استفاده می کردند، رفته رفته استفاده از آن در بقیه حوزه ها از جمله ساختمان سازی گسترده شد. از مزایای آرماتور با الیاف کربن **مقاوم در برابر مواد شیمیایی ، دما و گرما ، زلزله و خوردگی** می باشد، همچنین از آن برای ضد حریق کردن بتن استفاده می شود. از معایب آن می توان به قیمت بالا، رسانای حرارت و چسبنده نبودن به بتن اشاره کرد.

اجرای آرماتور با الیاف کربن با توجه به کاربرد آن در هر ساختمان متفاوت است. برای مثال در ساختمان های تجاری از آن در پارکینگ، در ساختمان های مسکونی در مسیر های سواره رو و فونداسیون، در جاده ها در دیواره های کنار بزرگ راه ها و پل های راه آهن، در باند فرودگاه مسیرهای تاکسی و پارکینگ ها مورد استفاده قرار می گیرد.

2- میلگرد شیشه(GFRP)

میلگرد شیشه ای یا فایبر گلاس از ترکیب الیاف شیشه با رزین وانیل استر (PVC) ساخته می شود. در ابتدا از آن بیشتر برای مصارف تزیینی استفاده می شد اما در یکی از عملیات تخریب در دهه ۹۰ میلادی دیده شد که گوی تخریب هنگام برخورد به آرماتور های فایبر گلاس کمانه کرده و به راحتی مقاطع فولادی تخریب نمی شدند. از آن پس این محصول برای استفاده به جای مقاطع فولادی محبوبیت زیادی کسب کرد. آرماتور فایبر گلاس دوام بسیار بالایی در برابر خوردگی، حرارت و دما داشته و بسیار مناسب برای محیط های سولفاته است. همچنین وزن کم این محصول به عنوان یک مزیت به حساب می آید چرا که علاوه بر کاهش هزینه های حمل و نقل موجب سهولت در اجرای آن می شود.

از آرماتور فایبر گلاس برای تقویت لرزه در سازه ها، مسلح کردن بتن هایی که در محیط های در معرض خوردگی یا در برابر مواد شیمیایی باشد، بر طرف سازی نقص های موجود در طراحی یا ساخت سازه، برای تقویت سازه های در معرض عبور وسایل نقلیه، تقویت بخش های آسیب دیده ساختمان و ... مورد استفاده قرار می گیرد. روش اجرای آرماتور فایبر گلاس باید دقیقا مطابق آیین نامه ACI 440.1R و با آنالیز های دقیق باشد، که این استاندارد ها دقیقا مطابق با ویژگی های طراحی این محصول است.

مقاطع فایبر گلاس GFRP یکی از پرکاربرد ترین و ارزان ترین نوع میلگرد در این گروه می باشد. از این نوع آرماتور در لایه های زیرین در عرشه پل ها، در بلوک های بتنی جاده ای، در تاسیسات تصفیه خانه ها یا تاسیسات فاضلاب، در کانال های روباز و لوله های هدایت آب، نیلینگ و تحکیم خاک، برای آرماتور بندی کف سالن های صنعتی و پارکینگ ها، در سازه های در مجاورت با دستگاه هایMRI ، برای لوله های هدایت مواد شیمیایی و ... استفاده می شود.

3- میلگرد آرامید(AFRP)

الیاف آروماتیک پلی آمید به دلیل مقاومت بسیار بالا در برابر گرما اغلب در ساخت عایق حرارتی و الکتریکی، کلاه و لباس آتش نشانی و تجهیزات صوتی مورد استفاده قرار می گیرد.

5- مزایای استفاده از آرماتورهای پلیمری

علاوه بر موارد ذکر شده وزن میلگرد پلیمری چیزی حدود ۵,۵ گرم سبک تر از مقاطع فولادی می باشد که طبیعتا این عامل باعث کاهش هزینه های خرید و حمل و نقل می شود. آرماتور های کامپوزیت FRP از ایجاد خوردگی جلوگیری کرده و میرایی (خاصیتی که باعث کاهش دامنه نوسانات از طریق اتلاف انرژی می شود) ایجاد شده در برابر ارتعاشات را افزایش می دهد. دلیل بالا بودن ضریب میرایی خواص غیر کشسانی این نوع میلگرد است که ارتعاش جذب شده را میرا می کند این در حالی است که مقاطع فولادی انرژی کشسان ندارند. این نوع محصول در برابر ارتعاشات زمین لرزه مقاومت بیشتری داشته و به طور قابل ملاحظه ایی می تواند سازه را مقاوم کند و از بروز خسارات جبران ناپذیر جلوگیری نماید. امید است شما عزیزان در انتهای این مقاله بتوانید انتخاب مناسبی از نوع میلگرد با توجه به مکان مورد استفاده، در سازه ساختمان داشته باشید تا علاوه بر کاهش هزینه ها عمر و مقاومت سازه خود را افزایش دهید.

6- مقاومت میلگردهای FRP در مقابل خوردگی

میلگردهای فولادی مقاومت پایینی در مقابل عوامل شیمیایی خورنده و رطوبت دارند. از آن جایی که امکان وجود ترک در مقاطع بتنی و در نتیجه نفوذ عوامل شیمیایی به داخل بتن وجود دارد، میلگردهای فولادی دچار خوردگی خواهند شد و در نتیجه، مقاومت و یکپارچگی مقاطع بتنی از بین خواهد رفت. فولادهای ساختمانی به طور مختصر در مقابل خوردگی به وسیله قلیای بتن محافظت می‌شوند و معمولا سبب دوام خدمت‌پذیری سازه می‌گردند.

به علت مقاومت بالای رزین اپوکسی استفاده شده در ساخت میلگردهای FRP در مقابل اکسیژن، رطوبت، کلر، سولفاتها و سایر عوامل خورنده، میلگردهای FRP از مقاومت بالایی در برابر خوردگی برخوردارند. از این رو میلگردهای FRP برای سازه هایی که در معرض خوردگی قرار دارند مانند سازه های دریایی، اسکله ها، عرشه پل ها و سازه هایی که در معرض نمک های یخ زا قرار دارند جایگزین بسیار مناسبی برای میلگردهای فولادی می باشند.

برای خیلی از سازه هایی که در محیط های مهاجم قرار می‌گیرند، ترکیب رطوبت، افزایش دما و محیط کلریدی، قلیایی بتن را کاهش می‌دهد و سبب خوردگی فولادها می‌شود که در نهایت موجب تخریب سازه بتنی می‌شود. به همین خاطر امروزه از میلگردهای ساخته شده با مواد پلیمری FRP در این سازه‌ها استفاده می‌کنند. به‌دلیل اینکه میلگردهای FRP دارای یک رفتار غیر شکل‌پذیر می‌باشند لذا موارد استفاده این میلگردها محدود به سازه هایی می‌شود که مهمترین مشکل آنها خوردگی یا خاصیت الکترومغناطیسی فولاد می‌باشد.

7- مقاومت میلگردهای FRP در برابر نیروهای مغناطیسی:

مواد کامپوزیت FRP دارای خصوصیات منحصر بفردی هستند. از آن جاییکه این مواد از ترکیب رزین با الیاف شیشه، کربن و یا آرامید ساخته می شوند، هیچ گونه تنشی ناشی از میدان مغناطیسی در آن ها وارد نمی شود. با توجه به همین خصوصیت در مواد کامپوزیت FRP، استفاده از میلگردهای FRP در سازه های تحت تاثیر میدان های الکترو مغناطیسی نظیر راکتورها، فرودگاه ها، بخش های MRI بیمارستان ها و لابراتوارها توصیه می شود.

8- مقاومت میلگردهای FRP در برابر جریان الکتریکی:

هدایت الکتریکی در سازه می تواند یک خطر به حساب آید. قابلیت رسانایی الکتریکی در مصالح فلزی مسئله خطرناکی بوده و می تواند باعث آسیب شود. در مقابل مصالح فلزی، مواد کامپوزیت FRP از لحاظ الکتریکی غیرهادی هستند که این امر آن ها را به گزینه مناسبی برای سازه های در معرض میدان الکتریکی می سازد.

نمونه هایی از بکارگیری مواد کامپوزیت عبارتند از ساخت تیرهای انتقال برق با استفاده از میلگردهای کامپوزیت FRP (آرماتور FRP)، ساخت دکل های بتنی انتقال نیرو با استفاده از میلگردهای کامپوزیت FRP، احداث پست های پیش ساخته با استفاده از میلگردهای کامپوزیت FRP ، استفاده از میلگردهای FRP در پایه پُست های با ولتاژ بالا و . .

9- وزن کم میلگرد کامپوزیت FRP

میلگردهای FRP با وزن مخصوص حدود ۲ گرم بر سانتیمتر مکعب بسیار سبک‌تر از میلگردهای فولادی رایج با وزن مخصوص حدود ۸ هستند. وزن کمتر کامپوزیت ها می‌تواند منجر به کاهش هزینه حمل و نقل، آسانی در جابجایی مصالح و هم چنین کاهش بار مرده سازه شود.

10-انواع آرماتور کامپوزیتی FRP

میلگردهای کامپوزیتی FRP متشکل از دو بخش شامل یک رزین پلیمری و رشته های الیاف می باشد. رفتار هر دو ماده در رفتار نهایی آرماتور کامپوزیتی FRP موثر است. بر اساس نوع رزین که می تواند یکی از انواع پلی استر، اپوکسی، ونیل استر یا PVC باشد در کنار نوع الیاف که می‌تواند یک از انواع کربن، شیشه آرامید، بازالت و غیره باشد، چند نوع میلگرد کامپوزیتی FRP می توان تولید نمود از جمله:

- میلگرد شیشه یا آرماتور کامپوزیتی Glass fiber-Reinforced Polymer (GFRP)
- میلگرد کربن یا Carbon fiber-Reinforced Polymer (CFRP)
- میلگرد آرامید Aramid Fiber-Reinforced Polymer (AFRP)

از میان میلگردهای فوق، میلگرد فایبرگلاس یا GFRP ارزان ترین و پرکاربرد ترین نوع آرماتور است.

11- مزایای میلگرد کامپوزیت FRP

- پلیمرهای مسلح شده با الیاف مخصوص با مقاومت کششی بالا و خصوصا الیاف شیشه (GFRP) یکی از بهترین مواد کامپوزیتی شناخته شده هستند که در زمینه های مختلف برای تولید مقاطع بتنی سبک، پر مقاومت و با دوام کاربرد دارند.
- میلگردهای کامپوزیتی سبک‌تر از میلگردهای آجدار فولادی هم اندازه است.
- مقاومت در برابر اسیدها و بازها
- مقاومت در برابر زنگ زدگی
- داشتن مقاومت کششی بیشتر از فولاد
- نداشتن هدایت الکتریکی و حـرارتی
- داشتن مقاومت مطلوب در برابر زلزله

12- کاربردهای میلگردهای GFRP

به دلیل مقاومت طبیعی در برابر خوردگی، آرماتور GFRP و یا میلگردهای کامپوزیت FRPبرای سازه هایی که در معرض خوردگی قرار دارند، مانند سازه های دریایی، اسکله ها، عرشه پل ها، و سازه هایی که در معرض نمک های یخ زدا قرار دارند بسیار مناسب می باشند.

همچنین بعلت خاصیت غیر مغناطیسی آرماتور GFRP و یا میلگردهای کامپوزیت GFRP بکاربری آن ها در تجهیزات حساس مانند میدانهای الکترومغناطیس وبخشهای MRI بیمارستانها مناسب تر از میلگردهای فولادی می باشد

از کاربری های آرماتور FRP و یا میلگرد GFRP عبارتند از:

1. کاربرد میلگرد کامپوزیت GFRPدرتاسیسات فاضلاب مانند تصفیه خانه ها، کلاریفایر (Clarifier) ، منهول (Manhole)، چربی گیر(Grease Trap)
2. کاربرد میلگرد کامپوزیت GFRP در کانال ها و لوله های بتنی هدایت فاضلاب، پساب های صنعتی و مواد شیمیایی
3. کاربرد میلگرد کامپوزیت GFRP در سازه های بتنی اسکله ها و سازه های دریایی(Marine and Offshore)
4. کاربرد میلگرد کامپوزیت GFRP در سازه های مجاور دستگاههای MRI در مراکز بهداشتی و درمانی
5. کاربرد میلگرد کامپوزیت GFRP در آرماتوربندی لایه های فوقانی در عرشه (Deck) پلها در مناطق سردسیر و زیر سازی های بتن مسلح(RCC)
6. کاربرد میلگرد کامپوزیت GFRP در دیواره موقت بتنی در داخل تونل های مترو(Soft Eye)
7. کاربرد میلگرد کامپوزیت GFRP در نیلینگ و تحکیم خاک
8. کاربرد میلگرد کامپوزیت GFRP در شمع (Pile) های داخل خاک و آب
9. کاربرد میلگرد کامپوزیت GFRP در کانال های روباز (Culvert) و لوله های بتنی هدایت آب
10. کاربرد میلگرد کامپوزیت GFRP در بلوکهای بتنی پیش ساخته جاده ای(new jersey)
11. کاربرد میلگرد کامپوزیت GFRP در ساختمانهای پیش ساخته بتنی برای استفاده موقت
12. کاربرد میلگرد کامپوزیت GFRP در پانل های پیش ساخته نما(GRC)
13. کاربرد میلگرد کامپوزیت GFRP در دیوارهای پیش ساخته، ستونها و فونداسیون پیش ساخته برای دیوارکشی و محوطه سازی
14. کاربرد میلگرد کامپوزیت GFRP در تیرهای برق و تیرهای جایگزین دکل های انتقال نیرو
15. کاربرد میلگرد کامپوزیت GFRP در اتاقک پست برق پیش ساخته بتنی
16. کاربرد میلگرد کامپوزیت GFRP در آرماتوربندی کف پارکینگ ها و سالن های صنعتی
17. کاربرد میلگرد کامپوزیت GFRP در کف کاذب و سقف کاذب بتنی
18. کاربرد میلگرد کامپوزیت GFRP در ساخت کول.

13- طراحی سازه ها با میلگرد کامپوزیت FRP

رفتار مکانیکی میلگردهای کامپوزیت FRP با رفتار میلگردهای فولادی متفاوت است. بنابراین فلسفه طراحی ساختمان‌های بتنی با استفاده از میلگردهای کامپوزیت GFRP دارای تغییراتی نسبت به میلگردهای فولادی است. میلگردهای فولادی دارای یک رفتار تقریباً ایزوتروپیک هستند ولی میلگردهای کامپوزیتGFRP ناهمسانگرد هستند و دارای خصوصیات برتر (مقاومت کششی بالا) فقط در جهت اصلی الیاف هستند.همانطور که اشاره شد، مصالح کامپوزیت FRP دارای رفتار الاستیک خطی بوده و از خود رفتار جاری شدن (وارد شدن به مرحله پلاستیک) مانند فولاد نشان نمی‌دهند. روش‌های طراحی باید کمبود شکل پذیری در سازه‌های

مقاوم شده با میلگردهای FRP را در نظر بگیرد. این رفتار ناهمسانگرد در مقاومت برشی و رفتار چسبندگی میلگردهای FRP به بتن تاثیر می‌گذارد. مصالح FRP بر خلاف مصالح فولادی، رفتارالاستیک خطی از خود نشان می‌دهند.

بدلیل اینکه میلگردهای کامپوزیت FRP دارای یک رفتار غیر شکل پذیر هستند، استفاده از میلگردهای کامپوزیت FRP باید محدود به سازه‌هایی شود که مهمترین مشکل آن خوردگی و یا مشکلات الکترومغناطیسی است.

14- مقاومت کششی میلگرد کامپوزیت GFRP

به دلیل این که تسلیم در FRP رخ نمی‌دهد، مقاومت کششی نهایی معیار است .برخلاف فولاد مقاومت کششی میلگرد FRP تحت تأثیر قطر آن به دلیل تأخیر برشی است. به عبارت دیگر الیاف نزدیک مرکز سطح مقطع با الیاف نزدیک به سطح خارجی، تنش های یکسان و یکنواختی ندارند. به عنوان مثال GFRP تولیدی یک کارخانه آمریکایی با #9 (قطر 28/7 میلیمتر) مقاومت کششی 140 مگاپاسکال و میلگرد #3 (قطر 9/5 میلیمتر) مقاومت کششی 890 مگاپاسکال دارد. مقاومت کششی میلگرد CFRP، 1100تا 3000 مگاپاسکال، مقاومت کششی میلگردGFRP ، 900 تا 1100 مگاپاسکال و مقاومت کششی میلگرد AFRP، 1350تا 1650 مگاپاسکال گزارش شده است. مقاومت نهایی تاندونGFRP ، 1380تا 1724 مگاپاسکال و مقاومت نهایی تاندونCFRP ، 1862تا 2070 مگاپاسکال می‌باشد. مدول الاستیسیته GFRP تقریباً 25٪ مدول الاستیسیته فولاد است. میلگردهای FRP در فشار ضعیف‌تر از کشش هستند. مقاومت فشاری بستگی به صاف یا آجدار بودن میلگرد دارد. مقاومت فشاری نوعی GFRP حدود 317 تا 470 مگاپاسکال است در صورتی که مقاومت کششی آن 552تا 896 مگاپاسکال می‌باشد. به طور کلی مقاومت فشاری میلگردهای FRP حدود 60٪ تا 80٪ مقاومت کششی آن ها می‌باشد و آنچه مسلم است، با افزایش مقاومت کششی مقاومت فشاری میلگرد نیز افزایش می‌یابد. مدول الاستیسیته فشاری FRP بستگی به نوع، اندازه، کنترل کیفیت و نسبت طول به قطر میلگرد دارد. به عنوان مثال مدول الاستیسیته فشاری نوعیE-glass ، 34مگاپاسکال است که حدود 77٪ مدول الاستیسیته کششی آن است. مقاومت برشی FRP خیلی کم است به گونه‌ای که با یک اره معمولی عمود بر محور طولی به راحتی بریده می‌شود. در صورت لزوم برای رفع این نقیصه، راستای قوی‌تر FRP بایستی در امتداد برشی قرار گیرد (استفاده از خصوصیت ناهمسانگرد کامپوزیت ها).

خزش

الیاف کربنی و شیشه‌ای مقاومت خوبی در برابر خزش دارند ولی اکثر رزین ها برخلاف الیاف مقاومت خوبی در برابر خزش ندارند. جهت قرارگیری و حجم الیاف تقویتی، نقش بسزایی در عملکرد خزشی کامپوزیت دارد .در مورد یک نوع الیاف GFRP با کیفیت مناسب، مقدار کرنش خزشی اندازه‌گیری شده است و این کرنش تنها حدود 3٪ کرنش الاستیک اولیه بوده است. لذا می‌توان گفت مقاومت خزشی میلگرد FRP نسبت به میلگرد فولادی خیلی بهتر است و تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد اگر فولاد تحت تنشی بیشتر از 75٪ تنش نهایی خود قرار گیرد به صورت ناگهانی و بدون تغییر مقاومت دچار گسیختگی خزشی می‌شود. در مورد FRP نیز تحقیقات انجام شده توسط یک شرکت آلمانی روی GFRP نشان می‌دهد که اگر تنش اعمالی به آن کمتر از 60٪ مقاومت نهایی باشد، گسیختگی خزشی رخ نمی‌دهد

خستگی

مقاومت کامپوزیتFRP در برابر سیکل های متناوب بارگذاری و یا به عبارت دیگر مقاومت آن ها در برابر خستگی، منجر به استفاده روزافزون از FRP در صنعت هوا فضا گردیده است .الیاف کربنی و اپوکسی مقاومت بهتری نسبت به فولاد در برابر خستگی دارند ولی GFRP مقاومتش در برابر خستگی کمتر از فولاد است. به طور کلی نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که اگر FRPتحت تنشی برابر یا کمتر از 50٪ مقاومت نهایی آن قرار گیرد مقاومت مناسبی در برابر خستگی دارد.

چسبندگی

نتایج موجود نشان می‌دهد FRP چسبندگی مناسبی با بتن دارد و برای افزایش چسبندگی بین الیاف تقویتی و ماتریس رزین، از اصلاح سطحی نیز استفاده می‌شود

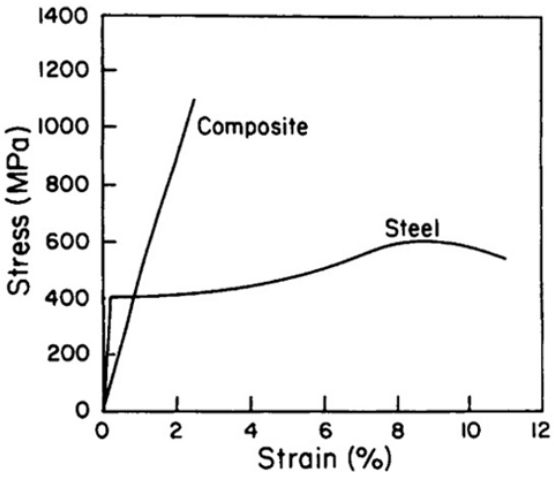
15- رفتار فشاری میلگرد کامپوزیت GFRP

بطور کلی، تکیه کردن به مقاومت میلگردهای FRP در برابر تنش‌های فشاری توصیه نمی‌شود. حالت شکست برای میلگرد کامپوزیت FRP که تحت فشار طولی قرار گرفته است می‌تواند شامل شکست کششی جانبی، ریز کمانش‌های الیاف یا شکست برشی شود. مدول الاستیسیته فشاری میلگردهای FRP معمولاً از مدول الاستیسیته کششی آنها پایین‌تر است.

16-رفتار چسبندگی میلگرد کامپوزیت GFRP

رفتار میلگردهای کامپوزیتیFRP ، کاملا الاستیک می باشد. این رفتار الاستیک تا لحظه گسیخته شدن ادامه می یابد. همانطور که ذکر شد، مقاومت آرماتورهای کامپوزیتی FRP از فولاد بسیار بیشتر است. با توجه به این، کرنش الاستیک آنها هم از فولاد بسیار بیشتر است. این باعث می شود تمام تغییر شکل رخ داده در میلگردهای کامپوزیتیFRP ، برگشت پذیر باشد. مدول الاستیسیته یا مدول کشسانی میلگردهای کامپوزیتیFRP ، بسته به نوع پلیمر و رزین آن متفاوت است.

- مقاومت فصل مشترک چسب که چسبندگی شیمیایی نامیده می‌شود
- مقاومت اصطکاک در فصل مشترک در برابر لغزش
- درگیری مکانیکی میلگرد و بتن بدلیل نامنظمی سطح
- استفاده از پوشش ماسه ای در مرحله تولید میلگرد



منحنی تنش وکرنش میلگرد های کامپوزیتی (FRP)

17- مقایسه پروفیل فایبر گلاس نسبت به پروفیل های فولادی

COMPARATIVE CHARACTERISTICS

metallic and FRP reinforcement

CHARACTERISTICS	Rebar	
	Metallic reinforcement class A-III (A400C)	FRP reinforcement
Material	Steel	Fibreglass, soaked in a polymer based on epoxy resin
Ultimate tensile strength, MPa	390	1200
Modulus of elasticity, MPa	200 000	55 000
Elongation, %	25	2,2
Corrosion resistance to aggressive media	Subject to corrosion	Not subject to corrosion
Heat conduction	Is a heat-conducting	Is not heat-conducting
Electroconductivity	Conducts electricity	Non-conducting - is a dielectric
Produced profiles	6 - 80	4 - 20
Length	The rods of length 6-12 m	According to customer request
Environmentally friendly	Is environmentally friendly	Is not toxic, the degree of impact on humans and the environment belongs to the 4 hazard class (low hazard).
Longevity	In accordance with building standards	Predicted life at least 80 years
FRP equivalents for replacing steel rebar	6 A-III	4 AKC
	8 A-III	6 AKC
	10 A-III	7 AKC
	12 A-III	8 AKC
	14 A-III	10 AKC
	16 A-III	12 AKC
	18 A-III	14 AKC
	20 A-III	16 AKC
Weight (with equal strength on the replacement), kg	6 A-III - 0,222	4 AKC - 0,02
	8 A-III - 0,395	6 AKC - 0,05
	10 A-III - 0,67	7 AKC - 0,07
	12 A-III - 0,92	8 AKC - 0,08
	14 A-III - 1,28	10 AKC - 0,12
	16 A-III - 1,58	12 AKC - 0,20
	18 A-III - 2,0	14 AKC - 0,26
	20 A-III - 2,47	16 AKC - 0,35

پروفیل های فولاد	پروفیل های فایبر گلاس
مقاومت مکانیکی ضریه ای بالاتر	مقاومت در برابر خوردگی
مقاومت کششی زیاد	تنوع رنگ و ماندگاری بالا
دوام بالا	حمل و نصب آسان
وزن کم	عدم نیاز به تعمیر و نگهداری در طول زمان
نفوذ ناپذیری مغناطیسی	سازگاری با محیط های بهداشتی، دارویی و غذایی
	عایق بودن

18-سایز میلگرد کامپوزیتGFRP

میلگرد های کامپوزیت GFRP که در بازار بنام آرماتور FRP هم نامیده می شوند، در سایز های مختلف تولید می شوند. اندازه میلگردهای FRP (آرماتور FRP) موجود در انبار که بر اساس سفارش و بصورت فوری قابل تحویل هستند بشرح زیر می باشند:

میلگرد GFRP (آرماتور FRP) به قطر ۴ mm به طول ۵۰ mبصورت رول قابل حمل

میلگرد GFRP (آرماتور FRP) به قطر ۶ mm به طول ۵۰ m بصورت رول قابل حمل

میلگرد GFRP (آرماتور FRP) به قطر ۷ mmبه طول ۵۰ m بصورت رول قابل حمل

میلگرد GFRP(آرماتور FRP) به قطر۸ mm به طول ۵۰ m بصورت رول قابل حمل

میلگرد GFRP (آرماتور FRP) به قطر ۱۰ mmبه طول ۵۰ m بصورت رول قابل حمل

میلگرد GFRP (آرماتور FRP) به قطر ۱۲ mmبه طول ۱۲ m بصورت شاخه

میلگرد GFRP (آرماتور FRP) به قطر ۱۴ mmبه طول ۱۲ m بصورت شاخه

میلگرد GFRP (آرماتور FRP) به قطر ۱۶ mmبه طول ۱۲ m بصورت شاخه

جدول مشخصات میکانیکی میلگرد GFRP

	مُدول الاسیسته GPA	تنش نهایی MPA	کرنش نهایی 0/0
نوع I	42	9500	3/9
نوع II	42	9400	3/8
نوع III	42	9750	4

تهیه وجمع آوری کننده : یعقوب کمالی نیا – مهدی محتشم زاده