بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
دانشکده مهندسی و علم مواد

مواد پیشرفته

جلسه چهارم
(فصل مشترک زمینه- تقویت کننده)

دکتر رضا اسلامی فارسانی

فصل مشترک زمینه – تقویت کننده

- نیروی وارده به زمینه در کامپوزیت ها از طریق فصل مشترک (Interface) به تقویت کننده منتقل می شود. استحکام، مدول و رفتار شکست کامپوزیت تابع استحکام فصل مشترک زمینه و فاز تقویت کننده است.

- فصل مشترک ضعیف منجر به استحکام پایین ولی مقاومت به شکست زیاد می شود.

- فصل مشترک محکم منجر به استحکام بالا ولی مقاومت به شکست کم (یعنی رفتار ترد) می شود.

- در مواردی که بخواهیم استحکام و مدول ماده تقویت کننده به کامپوزیت منتقل شود باید فصل مشترک مستحکمی بین زمینه و تقویت کننده ایجاد شود. خواص دیگر کامپوزیت نظیر مقاومت به خزش، خستگی و تخریب در اثر محیط نیز متاثر از ویژگی های فصل مشترک است.

فصل مشترک زمینه – تقویت کننده

در فصل مشترک نوعی ناپیوستگی در ماهیت شیمیایی، ساختار بلوری و مولکولی، خواص مکانیکی و دیگر خواص ماده وجود دارد.

ویژگی های فصل مشترک ناشی از ناپیوستگی خواص است و در نتیجه تابع خاصی از هر ترکیب زمینه- تقویت کننده می باشد.

فصل مشترک را می توان یک ناحیه صفحه ای با ضخامت تنها چند اتم در نظر گرفت که خواص ماده از ویژگی های فاز تقویت کننده به خواص زمینه تغییر پیدا می کند. در مواردی نیز یک فاز معین از واکنش بین تقویت کننده و زمینه در فصل مشترک بوجود می آید.

ترشوندگی (خیس کنندگی)

برای ایجاد چسبندگی مناسب بین زمینه و فاز تقویت کننده، این دو فاز باید در تماس بسیار نزدیکی به یکدیگر قرار گیرند.

ترشوندگی (Wetability) معیاری است که توانایی یک مایع را در پوشاندن سطح یک جامد نشان می دهد. ترشوندگی خوب زمانی حاصل می شود که:

- زمینه روی تقویت کننده جاری شود.
- تمام برجستگی ها و حفرات روی سطح تقویت کننده را بپوشاند.
- همه هوای موجود را جابجا کند.

ترشوندگی (خیس کنندگی)

- ترشوندگی در صورتی روی می دهد که گرانروی زمینه زیاد بالا نباشد.

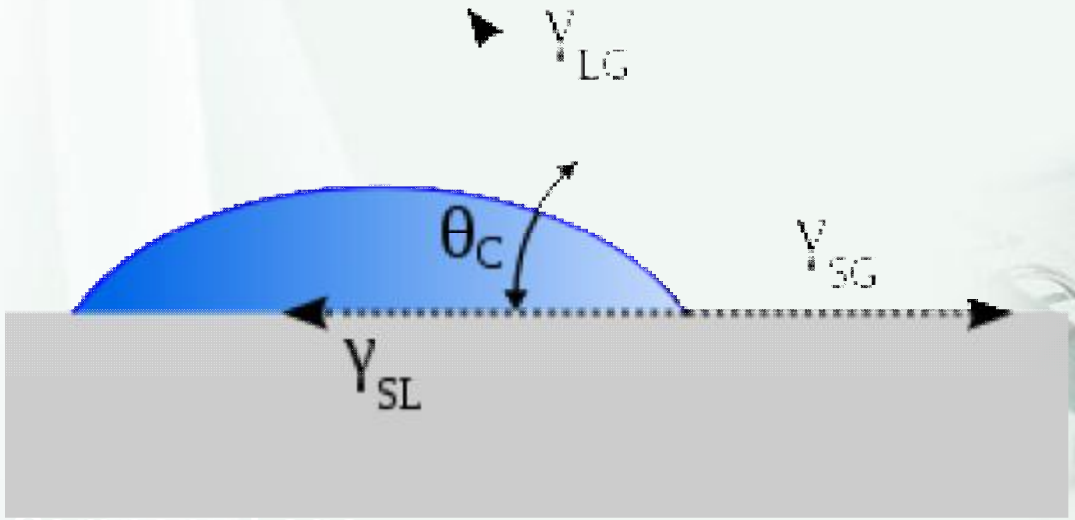
- ویسکوزیته روی ترشوندگی اثر نامطلوبی دارد.

- ترشوندگی خوب بین زمینه و فاز تقویت کننده باعث کاهش انرژی آزاد سیستم می شود.

- ترشوندگی خوب در صورتی حاصل می شود که زاویه تماس مناسبی بین زمینه و تقویت کننده برقرار باشد.

ترشوندگی (خیس کنندگی)

لایه نازک مایع زمینه (L) را در نظر بگیرید که روی سطح جامد تقویت کننده (S) قرار گرفته است. هر سطحی انرژی مربوط به خودش را داراست و انرژی واحد مساحت فصل مشترک های جامد- گاز، مایع- گاز و جامد- مایع به ترتیب، γ_{SG}، γ_{LG} و γ_{SL} هستند.



ترشوندگی (خیس کنندگی)

برای اضافه شدن مساحت کوچک d که با لایه پخش کننده پوشیده شده است انرژی اضافی برای تشکیل سطوح جدید فصل مشترک بین جامد/مایع و

مایع/گاز لازم است. این انرژی ($\gamma_{SL}\, dA + \gamma_{LG}\, dA$) اضافی است در حالی که با پوشیده شدن سطح جامد، انرژی فصل مشترک جامد/گاز برای این مساحت بازیافت می شود.

برای این که مایع به سرعت روی سطح جامد پخش شود، فرآیند باید از لحاظ انرژی مطلوب باشد یعنی:

$$\gamma_{SL} d_A + \gamma_{LG} d_A \langle \gamma_{SG} d_A \Rightarrow \gamma_{SL} + \gamma_{LG} \langle \gamma_{SG}$$

ترشوندگی (خیس کنندگی)

ضریب پخش (SC) به صورت زیر تعریف می شود:

$$SC = \gamma_{SG} - (\gamma_{SL} + \gamma_{LG})$$

برای ترشوندگی باید مقدار ضریب پخش بزرگتر از صفر باشد. اگر γ_{SG} مساوی یا کوچک تر از γ_{LG} باشد، خیس کنندگی صورت نمی پذیرد.

ترشوندگی (خیس کنندگی)

انرژی آزاد فصل مشترک برحسب ژول بر مترمربع اندازه گیری می شود و برابر با کشش سطحی (نیوتن بر متر) است.

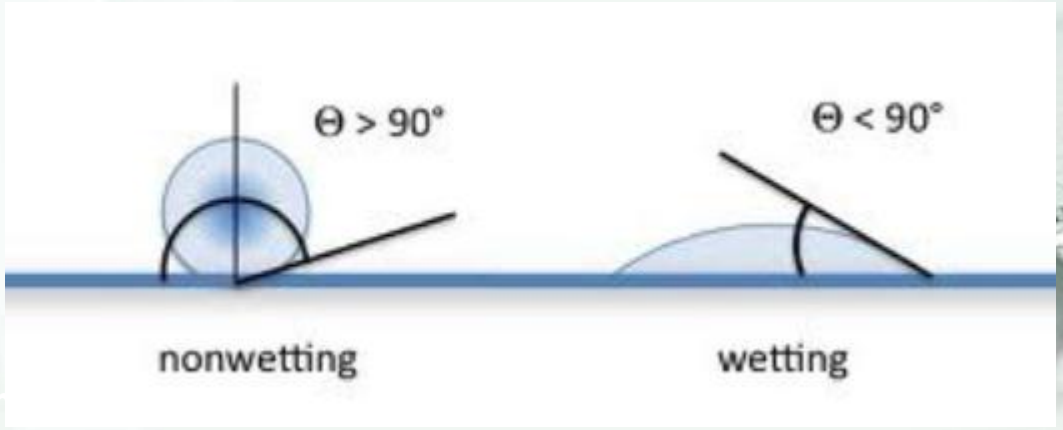
با استفاده از تعادل نیروها داریم:

$$\gamma_{SG} = \gamma_{SL} + \gamma_{LG} Cos\theta$$

در این رابطه θ زاویه تماس است که معیاری از ترشوندگی فرض می شود.

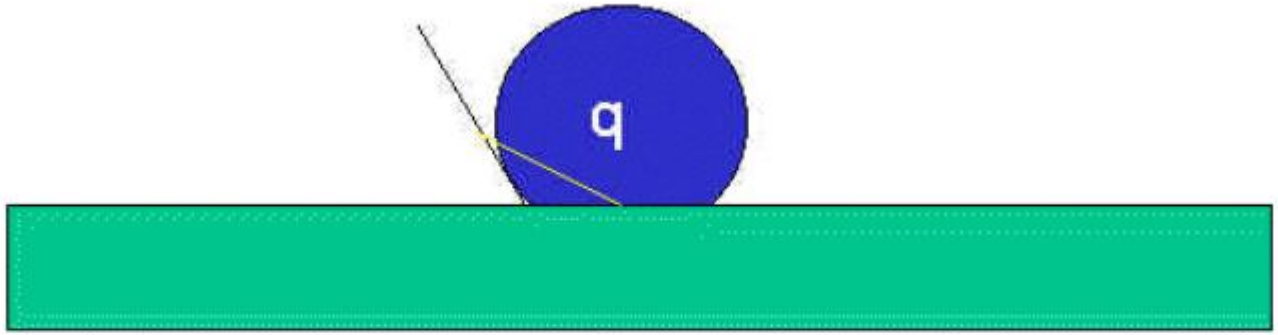
ترشوندگی (خیس کنندگی)

- در صورتی که مقدار زاویه ترشوندگی برابر 180 درجه باشد قطره مایع، کروی بوده و تنها در یک نقطه با سطح تماس داشته و در نتیجه ترشوندگی صورت نمی گیرد.
- ترشوندگی کامل در حالتی است که زاویه تماس برابر صفر درجه باشد.
- زمانی که میزان زاویه تماس بین صفر تا 180 درجه باشد میزان ترشوندگی با افزایش زاویه تماس کاهش می یابد.
- معمولاً در زوایای تماس بالاتر از 90 درجه فرض می شود که فاز مایع، جامد را خیس نمی کند.

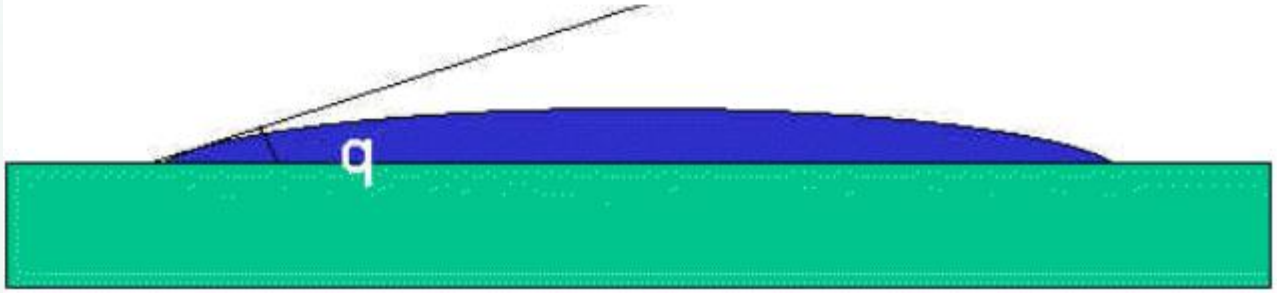


ترشوندگی (خیس کنندگی)

زاویه تماس بزرگ = ترشوندگی ضعیف



زاویه تماس کم = ترشوندگی خوب



پیوند فصل مشترک

در اثر ترشوندگی فاز تقویت کننده توسط زمینه و تماس نزدیک با آن، بین دو فاز پیوند برقرار می شود که انواع آن عبارتند از:

- پیوند مکانیکی
- پیوند الکترواستاتیکی
- پیوند شیمیایی
- پیوند نفوذی و یا واکنشی

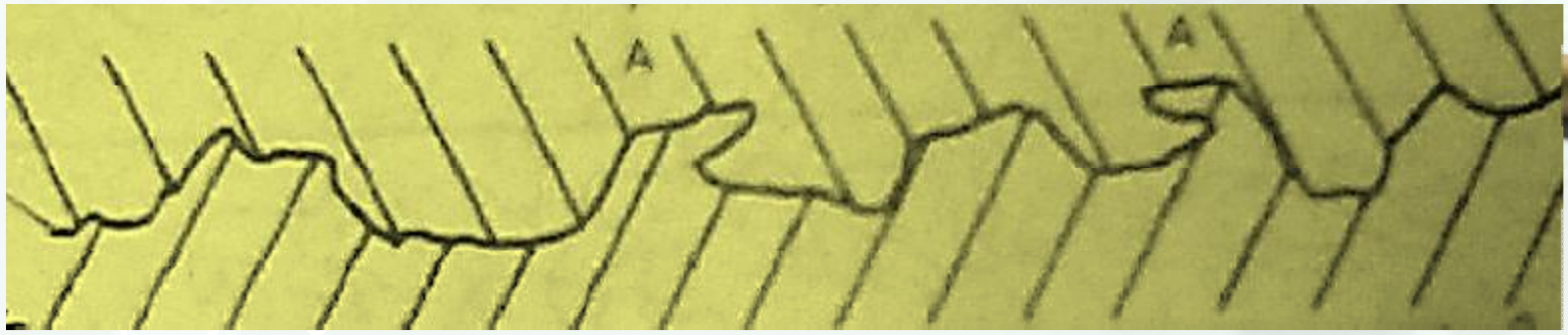
در یک سیستم مشخص ممکن است چند سازوکار پیوند خوردن به صورت همزمان وارد عمل شوند و یا ساز و کار پیوند خوردن در حین مراحل مختلف تولید تغییر پیدا کند.

پیوند فصل مشترک

پیوند مکانیکی

درگیر شدن یا قفل شدن مکانیکی دو سطح در یکدیگر می تواند منجر به ایجاد پیوند مکانیکی خوبی شود. هرچه فصل مشترک زبرتر باشد در هم گیر شدن دو سطح بیشتر بوده و در نتیجه پیوند موثرتری حاصل می شود.

پیوند مکانیکی در مواردی که فصل مشترک در معرض نیروهای کششی است، استحکام کمی دارد اما برای نیروهای موازی با فصل مشترک مناسب است. به عبارتی، این حالت، موثرترین حالتِ یک پیوند مکانیکی است که با استحکام برشی بالا همراه است. این پیوند عموماً به تنهایی سازگار نیست و همراه با نوع دیگری از پیوند عمل می کند.

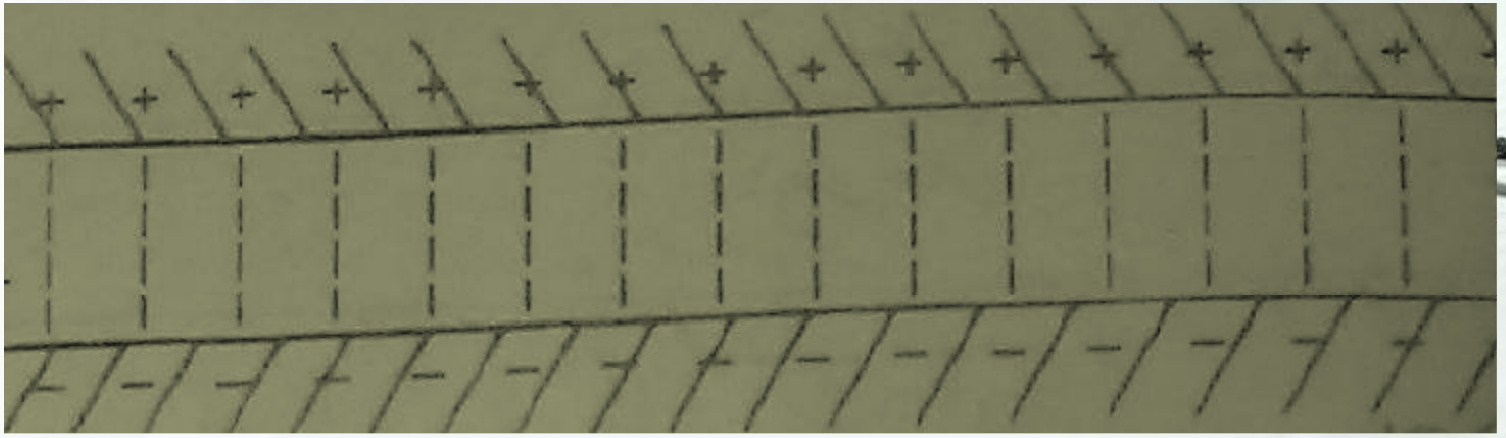


پیوند فصل مشترک

پیوند الکترواستاتیکی

در صورتی که یک سطح دارای بار مثبت و سطح دیگر دارای بار منفی باشد، پیوند بین زمینه و تقویت کننده ایجاد می شود. در این حالت، جاذبه الکترواستاتیکی بین دو سطح ایجاد می شود که استحکام آن به تفاوت بار در روی سطوح مذکور وابسته است.

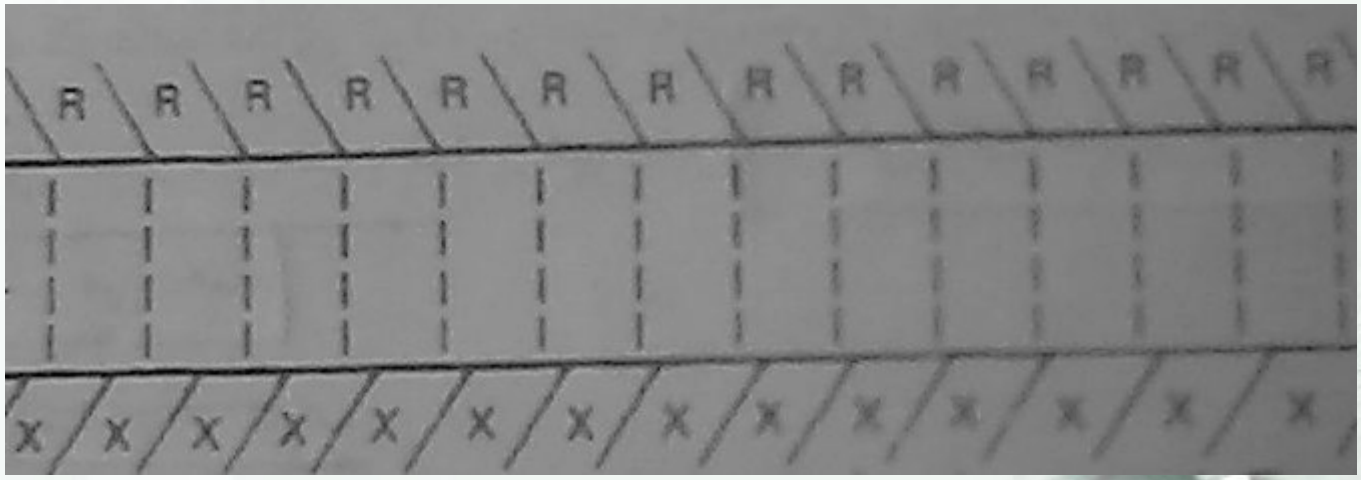
این نوع پیوند در فواصل کم و در حد ابعاد اتمی موثرند، لذا باید زمینه و تقویت کننده در تماس بسیار نزدیک با هم باشند.آلودگی های سطحی و گازهای محبوس کارایی این نوع پیوند را کاهش می دهند.



پیوند فصل مشترک

پیوند شیمیایی

پیوند شیمیایی به پیوند بین گروه های شیمیایی روی سطح ماده تقویت کننده و گروه های سازگار روی سطح زمینه اطلاق می شود. استحکام این نوع پیوند تابع تعداد پیوندها در واحد مساحت و نوع پیوندهاست.



پیوند فصل مشترک

پیوند شیمیایی

پیوند شیمیایی می تواند عامل کارایی برخی جفت کننده ها باشد. مثلاً از سیلین ها (گروه های آلی سیلیسیم)، به عنوان جفت کننده ی گروه های اکسیدی روی سطح الیاف شیشه به مولکول های پلیمری زمینه استفاده می شود. در یک انتهای مولکول سیلین، یک پیوند هیدروژنی بین گروه های اکسیدی روی الیاف شیشه و سیلین هیدرولیز جزئی شده برقرار می شود، در حالی که در انتهای دیگر، یک واکنش با گروه سازگار در مولکول پلیمر انجام می شود.

در چنین مواردی، مولکول ها دارای دو انتهای متفاوت هستند که یک انتها با زمینه و انتهای دیگر با تقویت کننده، سازگار بوده و پیوند برقرار می کنند. به عنوان مثال، در کامپوزیت اپوکسی - الیاف شیشه، پوشش روی الیاف در یک انتها ترکیبی از سیلین سازگار با الیاف شیشه داشته و در انتهای دیگر، ترکیبی از یک آمین سازگار با اپوکسی دارد.

پیوند فصل مشترک

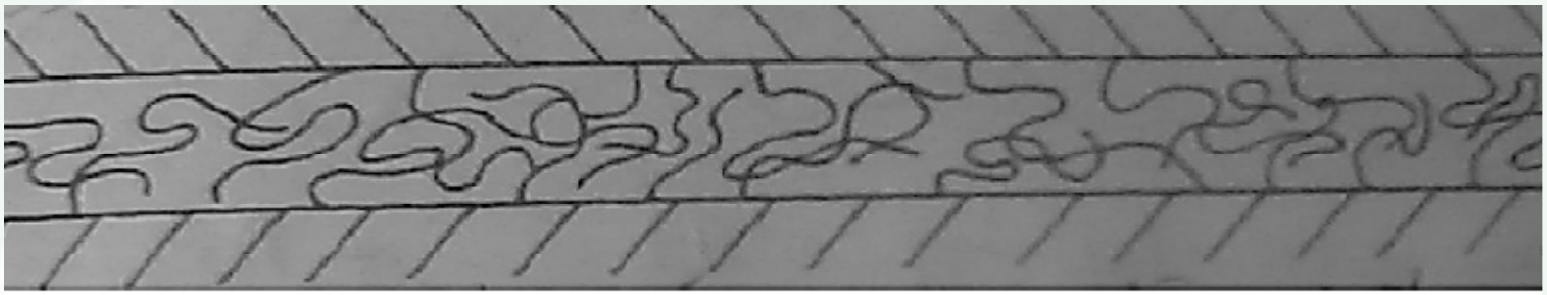
پیوند نفوذی یا واکنشی

پیوند واکنشی ناشی از نفوذ اتم ها یا مولکول های دو جز کامپوزیت در یکدیگر است. در هم تاب خوردن زنجیره های مولکولی پلیمرها در فصل مشترک بین آنها نیز در این رده از پیوندها دسته بندی می شود.

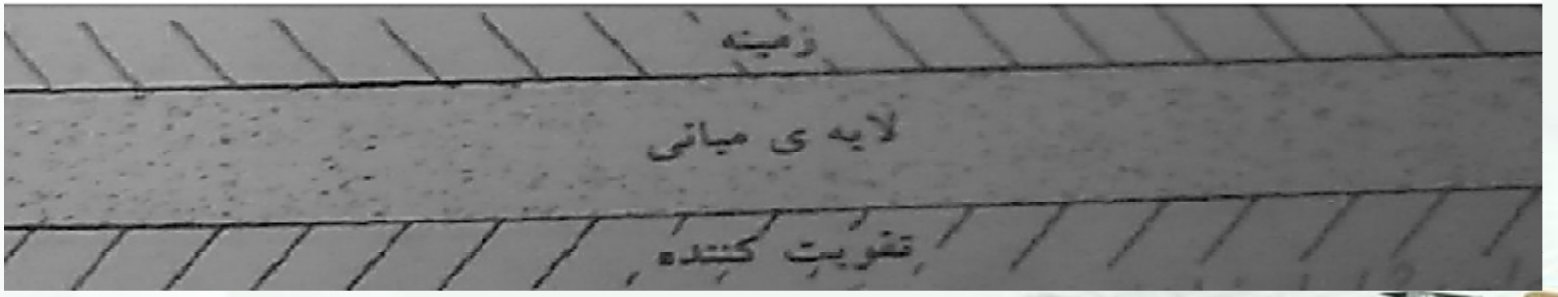
فاصله ای که مولکول ها در آن فاصله در هم تاب خورده اند و میزان در هم تاب خوردگی مولکول ها و مقدار مولکول ها در واحد سطح فصل مشترک، تعیین کننده میزان استحکام آنهاست.

پیوند فصل مشترک

پیوند نفوذی یا واکنشی



پیوند پلیمرها



لایه فصل مشترک حاصل از نفوذ

پیوند فصل مشترک

پیوند نفوذی یا واکنشی

در سیستم های حاوی فلزات و سرامیک ها، نفوذ اجزاء متفاوت تشکیل دهنده کامپوزیت، فصل مشترکی (لایه میانی) ایجاد می کند که از لحاظ ترکیب، ساختار و خواص مکانیکی با هر دو فاز زمینه و تقویت کننده متفاوت است.

در کامپوزیت های زمینه فلزی، لایه فصل مشترک عموماً ترکیب بین فلزی تردی با ترکیب شیمیایی AB، A_2B و A_3B و یا نزدیک به آن است (نظیر $CuAl_2$).

پیوند فصل مشترک

پیوند نفوذی یا واکنشی

اکثر کامپوزیت های زمینه فلزی و زمینه سرامیکی در دماهای بالا تولید می شوند، لذا در این دماها، امکان نفوذ با سرعت زیاد وجود دارد، بنابراین لایه فصل مشترک با خواص و ترکیب و ساختار جدید ایجاد می شود.

فصل مشترک مذکور در حین کار قابلیت تغییر دارد و در دماهای بالا امکان دارد چندین لایه مختلف فصل مشترک ایجاد شده، لایه های قبلی رشد کرده و حتی فصل مشترک چند لایه ای پیچیده ایجاد شود.