

УДК 678.011

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ КОМПОЗИТОВ ПРИ РЕЗАНИИ

©Прилипко А. Л.

Украинская инженерно-педагогическая академия

В статье рассматривается проблема физических особенностей разрушения, процесса образования трещин их геометрия, что зависит от распределения напряжения и энергии разрушения каждой фазы и размера частиц в композитных материалах при резке, используя метод акустической эмиссии.

Ключевые слова: композиционные материалы, пути разрушения, процесс резания, энергия разрушения, поверхность разрушения.

Прилипко А. Л. «Фізичні особливості руйнування композитів при різанні».

В статті розглядається проблема фізичних особливостей руйнування, процесу утворення тріщин та їх геометрії, що залежить від розподілення напруги і енергії руйнування кожної фази, а також розміру частинок в композитних матеріалах при різанні використовуючи метод акустичної емісії.

Ключові слова: композитні матеріали, шляхи руйнування, процес різання, енергія руйнування, поверхня руйнування.

Prilipko A. L. “Physical features of the destruction during cutting”.

In the article the problem of the physical features of the destruction process of cracking their geometry, which depends on the stress distribution and energy of destruction of each phase and size of particles in composite materials during cutting using the method of acoustic emission is considered.

Key words: composite materials, the path of destruction, cutting process, the energy of destruction, the surface of fracture.

Введение

Полимерные материалы в современном машиностроении занимают особое место и находят все большее применение во всех отраслях народного хозяйства. Большое разнообразие конструкций из композиционных материалов, технологий и режимов их первичного формообразования приводит в каждом конкретном случае к созданию нового композиционного материала, что требует при принятии решения о его дальнейшей обработке резанием индивидуального подхода с учетом наследуемых признаков первичных технологий и обеспечения оптимальных свойств для предполагаемых условий эксплуатации изделия. Многие детали современных машин изготавливаются из полимеров и зачастую требования конструкторской документации предполагают применение методов обработки резанием. Эти факторы в итоге приводят к повышению требований к качеству поверхностного слоя полимерных изделий после механической обработки.

1. Постановка проблеми

В настоящее время возрастают темпы производства композитных материалов, что способствует появлению их в большом количестве. Поэтому изучение свойств этих материалов не успевает за их созданием. Основные проблемы возникают при выполнении резания с использованием методов механической обработки волокнистых, полимерных композитов которые использовались до настоящего времени не позволяют избежать разрушений поверхностного слоя ВПК по поверхностям раздела структурных компонентов и снижения его глубины до уровня не более 20–50 мкм. Это приводит к возникновению «ворсистости» обработанной поверхности. Кроме того, происходит термомеханическое деструктирование полимерных составляющих композита.

Одной из важнейших задач является разработка новых методов обработки с применением высокоскоростного резания композитных материалов на основе волокнистых полимеров сущность которых заключается в повышении качества поверхностного обрабатываемого слоя с целью разработки оптимальных процессов резания, обеспечения благоприятных условий для получения обработанной поверхности высокой точности и надлежащего качества.

2. Анализ основных исследований и публикаций

Исследованиями в области физических особенностей разрушения композитных материалов при резании занимались многие ученые которые внесли значительный вклад позволивший совершенствовать процесс механической обработки.

Форвуд С.Т., отмечал, что фронт трещины, движущейся в хрупком материале, на мгновение останавливается при встрече с неоднородностью [1].

Ленг Ф.Ф. разработал модель, в которой предполагается, что увеличенная длина фронта трещины может давать существенный вклад в энергию разрушения хрупкого композитного материала с дисперсными частицами [2].

В работе Броутмана Л.Ж., отмечены максимумы изменения энергии разрушения двух других полимерных систем, а именно эпоксидная смола – стекло и полиэфирная смола – стекло. Автор показал, что энергия разрушения зависит от степени связи по границе раздела стеклянных шариков и полимерной матрицы [3].

В одной из работ по полимерам с введенными для повышения вязкости частицами эластомера предполагалось, что частицы эластомера просто уменьшают скорость роста трещины. Это заключение было основано на наблюдениях Мерца [1].

Интересно также отметить, что дисперсия частиц наименьшего размера не влияет на размер трещины. В следующих разделах будет показано, как это согласуется с концепцией, предложенной Девиджем и Грином [4].

В работе Хесельмана и Фулрата предполагается, что расстояния между частицами ограничивают размер трещины в композите. Данные по размерам трещин, приведенные на рис. 1 и другие вычисленные данные не дают каких-либо доказательств, подтверждающих такие предположения.

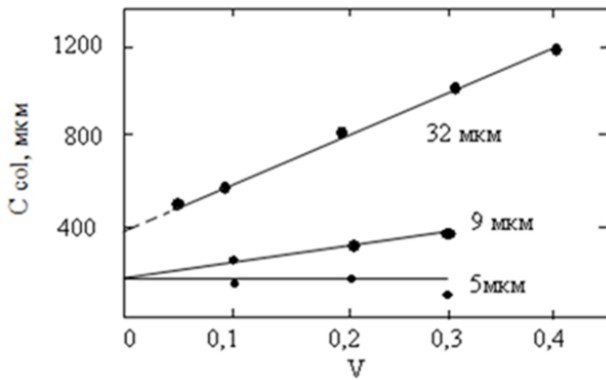


Рис. 1 – Влияние размера частиц и объемного содержания V на рассчитанный размер трещины C_{co1} в композитной системе $Si_3N_4 - SiC$

от размера частицы будут сложными.

Следует обратить внимание на то, что приложенные напряжения, при которых впервые появляются трещины, не обязательно должны совпадать с разрушающими. После того как связанная с частицей концентрация энергии деформации снимается при растрескивании, размер вновь образованной трещины должен стать достаточно большим, чтобы удовлетворить условию разрушения Гриффитса. Таким образом, возможно, что в композите до достижения критического приложенного напряжения, вызывающего разрушение, может образоваться большое количество трещин. Для исследований этих процессов может быть полезен метод акустической эмиссии.

Геометрия трещин и их расположение зависят от распределения напряжений и энергии разрушения каждой фазы. Путь разрушения, наблюдаемый при обследовании поверхностей разрушения с применением оптической и электронной микроскопии, обычно определяет природу трещины и распределение напряжений перед разрушением [6].

Остаточные термические напряжения будут вызывать трещины, путь которых будет таким, как показано на рис. 2. При $\alpha_p > \alpha_m$ вокруг частицы будут образовываться либо полусферические трещины, если $\gamma_p > \gamma_m$, либо трещины, проходящие сквозь частицу, если $\gamma_m > \gamma_p$. Трещины могут также образоваться на поверхности раздела между частицей и матрицей, когда энергия разрушения поверхности раздела меньше энергии разрушения и частицы, и матрицы. Это происходит при плохих связях по границам раздела. При $a_m > a_p$ независимо от энергии разрушения двух фаз развиваются радиальные трещины. Как отмечено в работе [8], где наблюдалось большинство типов трещин, показанных на рис. 2 наиболее вредны радиальные трещины, так как они могут легко соединяться и образовывать сетку трещин между частицами.

Пути разрушения для каждого из этих случаев показаны пунктирными линиями. Путь разрушения проходит сквозь частицы, если только не выполняются одновременно условия $a_p > a_m$ и $\gamma_p > \gamma_m$. Такие пути разрушения были отмечены в [8]. В работах [7, 8] показано, что, когда существуют слабые связи по границам раздела, путь разрушения пересекает поверхность раздела между частицей и матрицей независимо от того, будет ли $a_m > a_p$ или $a_p > a_m$.

Вычисленные размеры трещин значительно больше расстояния между частицами и, по-видимому, не имеют к нему непосредственного отношения [5].

3. Основной материал

Концентрации напряжений вследствие различия термоупругих свойств присущи большинству композитных материалов. Решения в явном виде, определяющие приложенные напряжения, при которых впервые появляются трещины, в зависимости

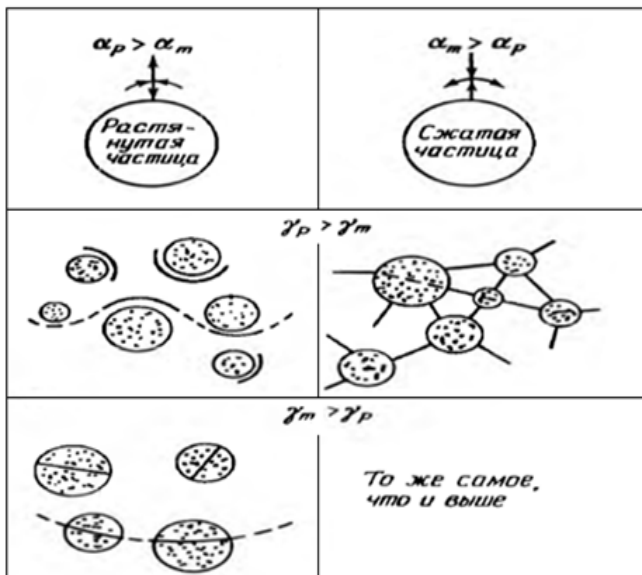


Рис. 2 – Природа остаточных термических напряжений, расположение трещины и путь разрушения (пунктирные линии) в композитах с дисперсными частицами:
 α – коэффициент термического расширения;
 γ – энергия разрушения;
 m и p – соответственно индексы матричной и дисперсной фаз

В работе [8] показано также, что трещина проходит сквозь частицу, как это и предполагалось, в случае $\alpha_p > \alpha_m$ и $\gamma_m > \gamma_p$, когда в испытанных композитах полимер-стекло существовала хорошая связь по границам раздела.

Выводы

Таким образом, знание области разрушения композитов, определяемого топографическим обследованием поверхности разрушения, показывает степень прочности связей по поверхности раздела и характер распределения напряжений, связанных с частицами.

Список использованных источников:

1. Композиционные материалы. Т. 5: Разрушение и усталость / под ред. Л. Браутман, Р. Крок ; пер. с англ. под ред. Г. П. Черепанова. – М. : Мир, 1978. – 488 с.
2. Lange F. F. The Interaction of Crack Front with Second-Phase Dispersion / F. F. Lange // Philos. Mag. – 1970. – Vol. 22. – P. 983-992.
3. Broutman L. J. The Effect of Interfacial Bonding on the Toughness of Glass Filled Polymers / L. J. Broutman, S. Sahu // Mater. Sci. Eng.– 1971. – Vol. 8. – P. 98–107.
4. Davidge R. W. The Strength of Ceramics / R. W. Davidge, A. D. Evance // Mater. Sci. Eng. – 1970. – Vol. 6. – P. 281–298.
5. Hasselman D. P. H. Proposed Fracture Theory of Dispersion-Strengthened Glass Matrix / D.P.H. Hasselman, R.M. Fulrath // J. Amer. Ceram. Soc. – 1966. – Vol. 49. – P. 68-72.
6. Батаев А. А. Композиционные материалы / А. А. Батаев, В. А. Батаев. – М. : Логос, 2006. – 400 с.
7. Binns D. B. Science of Ceramics / D. B. Binns ; ed. G. H. Stewart. – New York : Academic Press, 1962. – Vol. 1. – P. 315–335.
8. Kenyon A. S. Role of the Interface in Glass-epoxy Composites / A. S. Kenyon // Journal of Colloid Interface Science. – 1968. – Vol. 27, N 4. – P. 761–771.

Стаття надійшла до редакції 10 квітня 2014 р.