

Конструирование ультразвукового инструмента для прессования полимерных композиционных материалов

В.Ю. Путинцев, Д.А. Негров, А.В.Федин, Д.Д. Закирова, Я.В. Букина,
В.Д. Клещенко

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация: Достичь существенного повышения механических и триботехнических свойств полимерных композиционных материалов можно созданием новых технологий получения этих материалов в направлении повышения уровня энергии ультразвукового воздействия и активации компонентов непосредственно при синтезе полимерных композиционных материалов. Однако интенсификация процесса прессования полимерных композитов энергией ультразвука сдерживается низкой эффективностью ультразвуковых передающих устройств (волноводов). Для повышения эффективности ультразвукового воздействия, необходимо произвести конструирование ультразвукового инструмента с учетом влияния технологической нагрузки на резонансные размеры инструмента.

Ключевые слова: ультразвук, ультразвуковой инструмент, полимерные композиционные материалы, прессование, волновод.

Создание и применение деталей узлов трения из полимерных композиционных материалов способствует повышению прочности и надежности изделия, снижению себестоимости, позволяет эффективно заменить различные металлы и сплавы. Актуальной задачей является повышение модуля упругости и предела прочности, уменьшения коэффициента трения и скорости изнашивания полимерных композиционных материалов, при увеличении удельных нагрузок.

В значительной степени уже изучены процессы повышения триботехнических и механических свойств полимерных композиционных материалов за счет введения в полимерную матрицу различных модификаторов [1].

Что бы существенно повысить триботехнические и механические свойства полимерных композиционных материалов, нужно создать технологию получения этих материалов путем повышения уровня внешнего энергетического воздействия и активации компонентов непосредственно при синтезе полимерных композиционных материалов.

Одним из способов активации порошковых полимерных материалов является введение низкочастотных ультразвуковых колебаний непосредственно в процессе прессования изделия, в результате чего это приводит к интенсификации процессов переработки, снижению энергоемкости оборудования и существенному повышению качества получаемых изделий.

Влияние низкочастотных ультразвуковых колебаний на структуру, механические и триботехнические свойства полимерных композиционных материалов на основе политетрафторэтилена еще изучено не полностью, исследования в этой области являются актуальными [2,3].

Однако применение энергии ультразвуковых колебаний для различных технологических процессов, сдерживается низкой эффективностью ультразвуковых инструментов (волноводов) [4,5,6]. Для повышения эффективности ультразвуковых волноводов наряду с выбором рациональных схем генераторов, применением преобразователей с повышенными магнитострикционными свойствами немаловажное значение имеет согласование системы, состоящей из генератора, преобразователя, инструмента и технологической нагрузки [7].

Существует ряд подходов к повышению эффективности ультразвуковых инструментов:

- разработка систем обратной связи, обеспечивающих автоматическую настройку частоты системы и стабилизацию амплитуды колебаний;
- рациональное конструирование ультразвукового инструмента, улучшение акустического контакта инструмента с преобразователем, конструирование ультразвукового инструмента с учетом влияния технологической нагрузки при прессовании изделий на резонансные размеры [8,9].

Анализ экспериментов, проведенных в лаборатории показал, что устойчивость колебаний ультразвуковых волноводов, используемых при прессовании материалов, во многом зависит от характера и величины технологической нагрузки, а также от формы и размеров ультразвуковой инструмента.

В связи с этим при конструировании ультразвукового инструмента становится необходимым учитывать характер и величину технологической нагрузки.

Стержневой ультразвуковой инструмент связан с источником колебаний и является для данного источника механическим сопротивлением. Это сопротивление, называемое входным, зависит от марки и структуры материала, из которого изготовлен ультразвуковой инструмент, а также от величины самой технологической нагрузки [10,11].

Сопротивление активной нагрузки, как и затухание энергии в материале преобразователя и ультразвуковом инструменте, уменьшают уровень передаваемых к нагрузке ультразвуковых колебаний (амплитуду колеблющегося рабочего торца ультразвукового волновода).

Реактивная нагрузка сказывается на изменении частоты ультразвуковых колебаний всей системы, что выводит ультразвуковую систему из режима резонанса. При этом увеличиваются потери ультразвуковой энергии в акустической системе, резко уменьшает амплитуда колебаний ультразвукового инструмента. Определение величины входного сопротивления является важным фактором при конструировании ультразвуковых инструментов, а также дает возможность найти необходимые размеры ультразвуковой системы с

учетом рабочей нагрузки и тем самым повысить устойчивость колебательной системы при прессовании изделий из полимерных композиционных материалов [12,13].

Используя методику расчета ультразвукового инструмента с учетом технологической нагрузки можно применить для сложных составных ультразвуковых инструментов, которые обладают рядом преимуществ по сравнению с ультразвуковыми концентраторами обычных типов (рис. 1)[14].



Рисунок 1 – Общий вид ультразвукового инструмента

Необходимо отметить, что стержневой концентратор фасонной формы можно представить в виде последовательных, акустически жестко соединенных элементов, площадь поперечного сечения которых изменяется по экспоненциальному закону[15,16]. Длины последней ступени ультразвукового инструмента из условия резонанса акустической системы в целом (размеры предыдущих ступеней, частота колебаний, физические свойства материала и реактивная составляющая сопротивления нагрузки) полагаются известными (рис. 2).

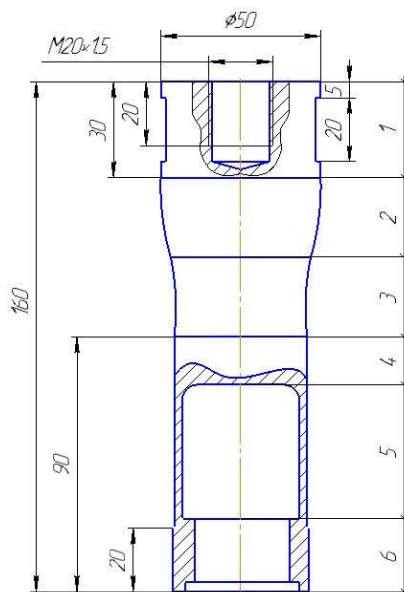


Рисунок 2 – Схема ультразвукового инструмента для прессования ПКМ

Разработана программа расчета шести ступенчатого ультразвукового инструмента для прессования полимерных композиционных материалов (рис. 3).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Dвх1=	0,05000000000000	Dвх2=	0,05000000000000	Dвх3=	0,04200000000000	Dвх4=	0,04200000000000
2	двых1=	0,05000000000000	двых2=	0,04200000000000	двых3=	0,04200000000000	двых4=	0,04200000000000
3	L1=	0,01800000000000	L2=	0,01200000000000	L3=	0,04200000000000	L4=	0,018898386005
4	C1=	5129,000000000000	C2=	2160,000000000000	C3=	5150,000000000000	C4=	5150,000000000000
5	p1=	7800,000000000000	p2=	7462,000000000000	p3=	4520,000000000000	p4=	4520,000000000000
6	λ1=	24,500625101110	λ2=	58,177641733144	λ3=	24,400719639532	λ4=	24,400719639532
7	α1=	0,00000000000000	α2=	14,529448928732	α3=	0,00000000000000	α4=	0,00000000000000
8	β1=	1,00000000000000	β2=	1,00000000000000	β3=	1,00000000000000	β4=	1,00000000000000
9	K1=	1,00000000000000	K2=	0,904320468621	K3=	-0,133450922986	K4=	-1,410498245186
10	P1=	0,00000000000000	P2=	74,778046996616	P3=	38,293191383615	P4=	17,100591864990
11	Ky1=	0,00000000000000	Ky2=	-0,158870146412	Ky3=	-1,679164577602	Ky4=	-1,875012675819
12	M1=	1,00000000000000	M2=	1,00000000000000	M3=	1,190476190476	M4=	1,190476190476
13	E1=	205191799800,000000000000	E2=	34814707200,000000000000	E3=	119881700000,000000000000	E4=	119881700000,000000000000
14	F1=	0,001963495408	F2=	0,001963495408	F3=	0,001385442360	F4=	0,001385442360
15								
16	F=	20000,000000000000						
17								
18	L=	0,090898386005						

Рисунок 3 – Программа расчета ультразвукового инструмента в Excel

Рассчитываем волновое число для всех участков:

$$\lambda = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{c}$$

$$\lambda = 24,2033$$

Рассчитываем показатели экспоненты:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\ln\left(\frac{D_1}{D_2}\right)}{L}}$$

$$\alpha_2 = 14,53$$

$$\alpha_3 = -14,53$$

$$\beta = \sqrt{1 - \left(\frac{a^2}{\lambda^2}\right)}$$

$$\beta = 1$$

Показатель экспоненты на 1,4,5,6 участках равен 0, т.к. они цилиндрической формы.

Рассчитываем длину четвертого, пятого и шестого участка:

$$K_2 = a = \cos(\beta_1 \lambda_1 L_1) - \frac{P_1}{\beta_1 \lambda_1} \sin(\beta_1 \lambda_1 L_1) = 0,9$$

$$P_2 = b = \frac{E_1 F_1}{E_2 F_2^0} \beta_1 \lambda_1 (K_1 \sin(\beta_1 \lambda_1 L_1) + \frac{P_1}{\beta_1 \lambda_1} \cos(\beta_1 \lambda_1 L_1)) - K_2 \cdot \left(\alpha_1 \frac{E_1 F_1}{E_2 F_2^0} - \alpha_2\right) = 74,78$$

где $K_1 = 1, P_1 = \alpha$.

$$K_3 = h = K_2 \cdot \cos(\beta_2 \lambda_2 L_2) - \frac{P_2}{\beta_2 \lambda_2} \sin(\beta_2 \lambda_2 L_2) = -0,13$$

$$P_3 = d = \frac{E_2 F_2}{E_3 F_3^0} \beta_2 \lambda_2 (K_2 \cdot \sin(\beta_2 \lambda_2 L_2) + \frac{P_2}{\beta_2 \lambda_2} \cos(\beta_2 \lambda_2 L_2)) - K_3 \cdot \left(\alpha_2 \frac{E_2 F_2}{E_3 F_3^0} - \alpha_3\right) = 38,3$$

$$L = \frac{1}{\beta_5 \lambda_5} \cdot \left\{ \arctg \left[\frac{(\alpha_5 + \psi_5) \cdot K_5 - P_5}{K_5 \beta_5 \lambda_5 + \frac{P_5}{\beta_5 \lambda_5} \cdot (\alpha_5 + \psi_5)} \right] + \pi_n \right\} = 0,0909 = 90 \text{ (мм)}$$

В результате проведенной работы был сконструирован шести ступенчатый ультразвуковой инструмент для прессования полимерных композиционных материалов на основе политетрафторэтилена.

Библиографический список

1. Машков Ю.К. Влияние энергии ультразвуковых колебаний на структуру и свойства полимерных композиционных материалов/ Машков Ю.К., Еремин Е.Н., Негров Д.А.// *Материаловедение*. –2013. –№ 3. –С. 42-45.
2. Негров Д.А. Разработка технологии изготовления подшипников скольжения из композиционного материала на основе политетрафторэтилена / Д. А. Негров, Е. Н. Еремин// *Вестник машиностроения*. – 2012. –№1, – С. 49-51.
3. Негров Д.А. Разработка ультразвукового инструмента для изготовления изделий из полимерных композиционных материалов/ Негров Д.А., Еремин Е.Н., Мирошниченко О.М.// *Технология машиностроения*. –2012. –№ 5. –С. 44-47.
4. Кропотин О.В. Создание полимерного антифрикционного нанокompозита на основе политетрафторэтилена с повышенной износостойкостью/ Кропотин О.В., Машков Ю.К., Кургузова О.А.// *Омский научный вестник*. – 2013. –№ 2 (120). –С. 86-90.
5. Машков Ю.К. Формирование структуры и свойств антифрикционных композитов модификацией политетрафторэтилена полидисперсными наполнителями/ Машков Ю.К., Кропотин О.В., Шилько С.В., Егорова В.А., Чемисенко О.В.// *Материаловедение*. 2015. № 1. С. 22-25.
6. Кропотин О.В. Влияние углеродных модификаторов на структуру и износостойкость полимерных нанокompозитов на основе политетрафторэтилена/ Кропотин О.В., Машков Ю.К., Егорова В.А., Кургузова О.А.// *Журнал технической физики*. –2014. Т. 84. –№ 5. –С. 66-70.
7. Аргунова А.Г. Повышение эксплуатационных характеристик антифрикционных материалов путем модифицирования наноструктурными оксидами алюминия/Аргунова А.Г., Охлопкова А.А., Петрова П.Н.// *Химия: образование, наука, технология* –2014. –С. 201-206.
8. E.N. Eremin, D.A. Negrov Development of a technology for the fabrication of articles made of complex-modified polytetrafluoroethylene for dry friction assemblies // *Chemical and Petroleum Engineering*, Vol. 49, Nos. 9–10, January, 2014 (Russian Original Nos. 9–10, Sept.–Oct., 2013). DOI: 10.1007/s10556-014-9822-0
9. Негров Д.А. Исследование влияния энергии ультразвуковых колебаний на структуру композиционного материала/ Негров Д.А., Еремин Е.Н., Путинцев В.Ю.// *Справочник. Инженерный журнал с приложением*. 2014. № 7 (208). С. 3-5.

10. Негров Д.А. Повышение коэффициента усиления и частотной устойчивости ультразвуковой волноводной системы/ Негров Д.А., Ерёмин Е.Н.// Омский научный вестник. 2012. № 2 (110). С. 94-97
11. Негров Д.А. Технология изготовления деталей узлов трения из полимерных композиционных материалов/ Негров Д.А., Путинцев В.Ю., Передельская О.А., Наумова А.В.//Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение 2015.Т. 15.С.13-19.
12. Негров Д.А. Влияние параметров ультразвукового прессования на механические и триботехнические свойства структурно-модифицированного политетрафторэтилена / Д.А. Негров, Е.Н. Еремин // Омский научный вестник. – 2009, – №2(80). – С. 58–60.
13. Негров Д.А. Исследование влияния ультразвуковых колебаний на структуру и механические свойства полимерного композиционного материала / Д.А. Негров, Е.Н. Еремин // Омский научный вестник. 2011. № 2. С. 17 – 20.
14. Негров Д.А. Ультразвуковые колебательные системы для синтеза полимерных композиционных материалов: монография/ Д.А. Негров, Е.Н. Еремин, А.А. Новиков, Л.А. Шестель. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2012. – 132 с. : ил.
15. Негров Д.А. Исследование влияния энергии ультразвуковых колебаний на структуру композиционного материала/ Негров Д.А., Еремин Е.Н., Путинцев В.Ю. Проблемы машиностроения Томск, 2013. С. 123-126.
16. Негров Д.А. Влияние ультразвукового воздействия на механические свойства политетрафторэтилена, модифицированного нитридом бора/ Негров Д.А., Еремин Е.Н., Путинцев В.Ю., Передельская О.А., Маталасова А.Е. // Омский научный вестник. 2014. № 1 (127). С. 110-113.