

Изобретение относится к области машиностроения, в частности к способу изготовления многослойных листовых композиционных материалов, и может быть использовано при изготовлении деталей камеры сгорания газотурбинных и ракетных двигателей.

Известен способ изготовления многослойных листовых композиционных материалов [Кладницкий Е.И., Ботвиновский В.Е., Банас Ф.П. и др. Армирование обечаек жаровых труб камер сгорания ГТД //Авиационная промышленность. - 1977. - № 9. - С. 26-29], включающий сборку открытого с торцов пакета из чередующихся листов матрицы и армирующих волокон, контактную роликовую сварку по всей поверхности пакета при непрерывном вращении роликов и при прерывистом пропускании импульсов тока сварки для формирования последовательных единичных сварных взаимоперекрывающихся точек. Полученный материал отжигают для снятия сварочных напряжений.

Известен также способ изготовления многослойных листовых композиционных материалов [Авт. св. СССР № 311513, кл. В 23 К 11/06, 28.04.69, опублик. 22.05.73, БИ № 22], выбранный нами за прототип, включающий сборку закрытого с торцов пакета из чередующихся листов матрицы и армирующих волокон с последующим его вакуумированием или заполнением инертным газом, контактную роликовую сварку по всей поверхности пакета при непрерывном вращении роликов и при прерывистом пропускании импульсов тока сварки для формирования последовательных единичных сварных взаимоперекрывающихся точек. Полученный материал отжигают для снятия сварочных напряжений.

Недостатком приведенных способов является низкие значения прочности и пластичности композиционного материала в случае использования в качестве матрицы листов из тугоплавких сплавов (например, ниобий-титановых или ниобиевых), требующих применения жестких режимов сварки. Снижение прочности и пластичности композиционного материала в данном случае происходит за счет разупрочнения армирующих волокон из тугоплавких материалов вследствие их перегрева в процессе сварки.

В основу изобретения поставлена задача усовершенствовать способ изготовления многослойных листовых композиционных материалов путем уменьшения максимальной температуры нагрева армирующих волокон в процессе сварки, что приведет к повышению прочности и пластичности композиционного материала в целом.

Для достижения указанного технического результата в известном способе изготовления многослойных листовых композиционных материалов, включающем сборку пакета из чередующихся листов матрицы и армирующих волокон, контактную роликовую сварку по всей поверхности пакета при прерывистом пропускании импульсов тока сварки предусмотрено дополнительное пропускание тока подогрева во время паузы между импульсами тока сварки. Пропускание тока подогрева позволяет осуществить предварительный нагрев матрицы в зоне сварки до температур ее размягчения и последующее пластическое течение материала матрицы под действием усилия сжатия электродов в промежутки между тугоплавкими волокнами. Образование проплавленной зоны происходит за счет пропускания импульса тока сварки. При этом электрический ток распределяется по всей площади зоны сварки, включающей сечения как армирующих волокон, так и промежутков между ними. В способе-прототипе же сварка осуществляется путем прерывистого пропускания лишь импульсов тока сварки. При использовании тугоплавких матричных сплавов для образования зоны проплавления необходимо применять жесткие режимы сварки, характеризующиеся мощными импульсами тока с относительно небольшой продолжительностью (0,02-0,04 с). При этом в начальный период образования сварного соединения весь мощный импульс тока проходит через сечение только армирующих волокон. Естественно, что плотность сварочного тока через сечения волокон в данном случае значительно больше, чем в предлагаемом способе. Поэтому волокна кратковременно нагреваются до значительно больших температур, что в свою очередь приводит к заметной потере прочности и пластичности не только самих волокон [3], но и композиционного материала в целом. При этом в зависимости от типа свариваемого пакета (закрытый или открытый с торцов)предусмотрены следующие отличительные признаки:

а) ток подогрева во время паузы пропускают непрерывно (в случае пакета закрытого с торцов с последующим вакуумированием или заполнением инертным газом), что позволяет снизить максимальную температуру импульсного нагрева армирующих волокон за счет уменьшения переходного электрического сопротивления в зоне контакта между матрицей и армирующими волокнами;

б) ток подогрева во время паузы пропускают несколькими прерывистыми импульсами (в случае пакета открытого с торцов) с целью снижения максимальной температуры нагрева армирующих волокон за счет уменьшения переходного электрического сопротивления в зоне контакта между матрицей и армирующими волокнами, а также уменьшения степени окисления матрицы и волокон в зоне сварного соединения.

На фиг. 1 представлен график зависимости тока сварки  $I_c$  и тока подогрева  $I_n$  от времени  $\tau$  при непрерывном пропускании тока подогрева; на фиг. 2 - график зависимости тока сварки  $I_c$  и тока подогрева  $I_n$  от времени  $\tau$  при пропускании тока подогрева несколькими прерывистыми импульсами.

Предлагаемый способ изготовления многослойных листовых композиционных материалов реализовали следующим образом.

Собирали пакет закрытого типа из чередующихся листов матрицы и армирующих волокон, состоящий из двух наружных листов ниобиевого сплава (марки НБПЛ) толщиной 0,5 мм, двух внутренних листов титанового сплава (марки ВТ1-0) толщиной 0,1 мм и средней армирующей сетки из однонаправленных вольфрамовых волокон (марки ВР-273ВГ) диаметром 0,3 мм, переплетенных тонкими молибденовыми волокнами. Собранный пакет помещали в вакуумную камеру, откачивали воздух и заваривали по контуру герметичным швом. Затем осуществляли сварку пакета по всей поверхности на машине для шовной сварки МШ-3201 (предварительно оборудованной дополнительным блоком регулирования импульсов тока подогрева) методом последовательного наложения взаимоперекрывающихся сварных швов с перекрытием предыдущего шва последующим на 25-50%. При сварке прерывисто пропускали импульсы тока сварки. Во время паузы между импульсами тока сварки дополнительно пропускали ток подогрева, при этом ток подогрева пропускали непрерывно (фиг. 1).

Режимы подогрева и сварки пакета закрытого типа приведены в табл. 1

После сварки проводили отжиг в вакууме для снятия сварочных напряжений при температуре 750°C. Результаты испытаний композиционного материала на прочность и пластичность приведены в табл. 2. Как видно из таблицы при дополнительном пропускании тока подогрева увеличивается кратковременная прочность в 1,2 раза и пластичность в 4 раза в сравнении с прототипом за счет уменьшения максимальной температуры нагрева армирующих волокон.

Данный способ можно применять и для пакетов открытого типа. При этом ток подогрева необходимо пропускать несколькими прерывистыми импульсами, что значительно повышает пластичность и прочность композиционного материала за счет уменьшения степени окисления матрицы и волокон при сварке.

Режимы сварки пакета открытого типа и результаты испытаний полученного композиционного материала приведены в табл. 1 и 2 соответственно.

**Т а б л и ц а 1**

**Режимы подогрева и сварки пакетов закрытого и открытого типа**

№ п/п	Наименование	Ед. измер.	Подогрев		Сварка
			Ток подогрева пропускают непрерывно (закрытый пакет)	Ток подогрева пропускают несколькими прерывистыми импульсами (открытый пакет)	
1	Напряжение	В	7,45	7,45	7,45
2	Ток	кА	5,0–5,2	1-й импульс 4,2–4,3 2-й импульс 10,4–10,7	16,1–16,4
3	Продолжительность включения тока	с	Непрерывно между импульсами тока сварки	1-й импульс 0,12 2-й импульс 0,08	0,04

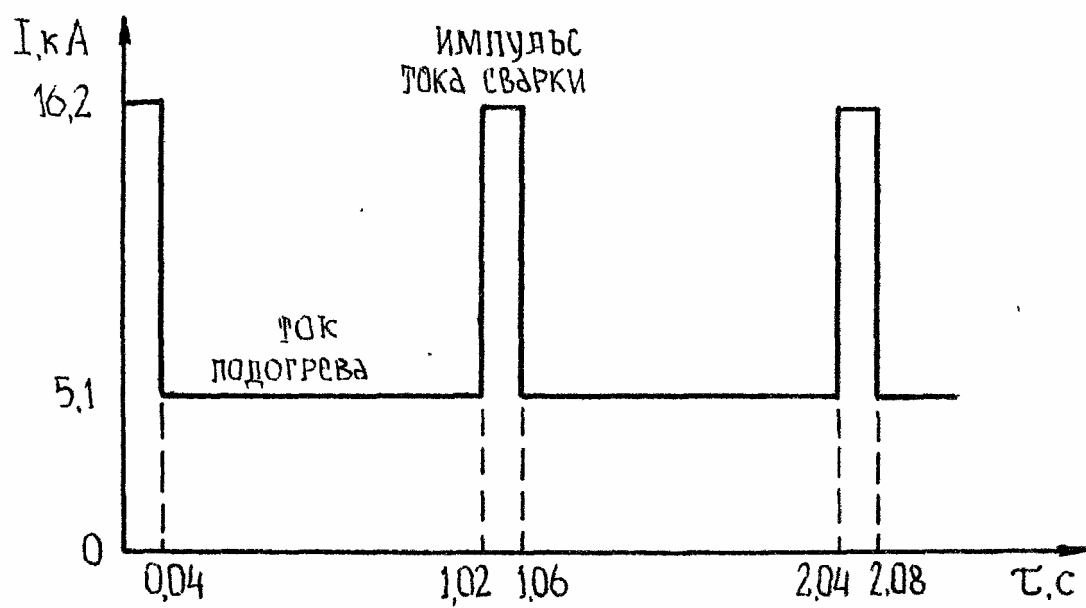
Продолжение табл. 1

№ п/п	Наименование	Ед. измер.	Подогрев		Сварка
			Ток подогрева пропускают непрерывно (закрытый пакет)	Ток подогрева пропускают несколькими прерывистыми импульсами (открытый пакет)	
4	Продолжительность паузы	с	0	1-я пауза 0,3 2-я пауза 0,24 3-я пауза 0,24	1,0 (открытый пакет) 0,98 (закрытый пакет)
5	Скорость сварки	мм/с	—	—	0,375
6	Усилие сжатия электродов	кН	—	—	57

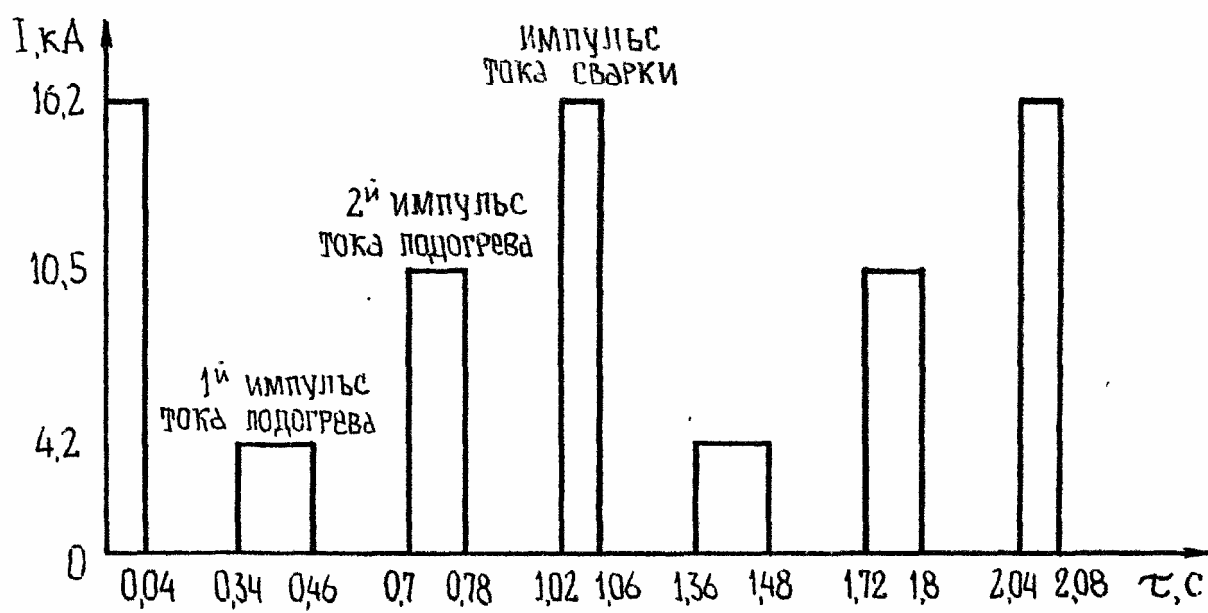
Таблица 2

Результаты испытаний на прочность и пластичность композиционных материалов, полученных после сварки пакета закрытого и открытого типа

№ п/п	Способ получения композиционного материала	Ток подогрева	$\sigma$ , МПа	$\delta$ , %
1	Известный способ (прототип)	—	260–280	8–9
2	Изобретение	Ток подогрева пропускают непрерывно (закрытый пакет) Ток подогрева пропускают несколькими прерывистыми импульсами (открытый пакет)	330–340	35–37



Фиг. 1



Фиг. 2