

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

MATHEMATICAL MODELLING OF LASER WELDING OF TEXTILE THERMOPLASTIC FABRICS

М.А. ЧИЖИК, Л.Ф. НЕМИРОВА, М.Н. МОСКОВЦЕВ
M.A. CHIZHIK, L.F. NEMIROVA, M.N. MOSKOVITSEV

(Омский государственный институт сервиса)
(Omsk Stat Institute of Service)

E-mail: margarita-chizhik@rambler.ru, luba.nemirova@mail.ru, mnorthwind@gmail.com

В статье рассмотрены различные математические модели сварных соединений текстильных термопластичных материалов и процессов их лазерной сварки. На моделях исследованы взаимосвязи параметров сварки и свойств получаемых сварных соединений, установлены режимы получения сварного соединения с заданными показателями свойств.

The article deals with various mathematical models of welded seams of textile thermoplastic fabrics and the processes of their laser welding. These models allowed for studying the interrelation of welding parameters and the properties of obtained welded seams. The modes of obtaining a welded seam with specified properties characteristics were determined.

Ключевые слова: моделирование, лазерная сварка, сварное соединение, регрессионная модель, геометрическая модель, прочность, термопластичные текстильные материалы, режимы сварки.

Keywords: modelling, laser welding, welded seam, regression model, geometrical model, durability, thermoplastic textile fabrics, welding modes.

Лазерная технология является одной из перспективных и применяется при обработке различного рода материалов. Этому способствуют возможности гибкого управления параметрами технологического процесса и получения соединений, обладающих уникальным комплексом свойств. В процессе производства одежды сварка применяется для улучшения качества выпускаемого ассортимента товаров, к которому предъявляются повышенные требования безопасности и надежности. Однако экспериментальные исследования процесса лазерной сварки связаны со значительными материальными затратами, поэтому их целесообразно дополнять исследованиями на математических моделях.

Целью работы, выполняемой в ОГИС, является получение моделей, адекватно

описывающих процессы сварки и позволяющих прогнозировать свойства сварных соединений и устанавливать оптимальные режимы их получения.

Процесс лазерной сварки характеризуют следующие параметры: мощность лазерного излучения f_0 , Вт; скорость сварки v , м/мин; расстояние от среза сопла до обрабатываемой поверхности l , м; давление газа g , МПа; радиус луча лазера r_0 , м (рис. 1 – схема процесса лазерной сварки текстильных термопластичных материалов). Варьируя параметры, задают различные режимы, позволяющие получать сварные швы с различными показателями свойств.

На моделях изучают процесс сваривания и свойства получаемого соединения. Во многом исследования базируются на физической интерпретации тепловых явлений,

сопровождающих процесс взаимодействия лазерного излучения с поглощающими средами [1...5]. Получены модели на основе закона Гука [6] и регрессионного анализа [7].

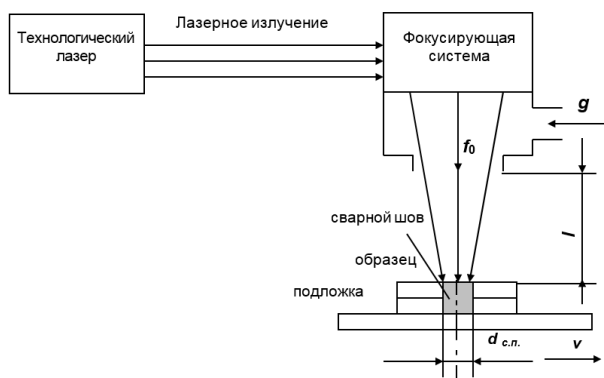


Рис. 1

Так, модель [1] устанавливает зависимость потребной мощности лазерного излучения f_0 от свойств материалов и технологических режимов сварки:

$$f_0 = \sqrt{2\pi} r_0 v c \gamma \Delta T h e^{\frac{y^2}{2r_0^2}}, \quad (1)$$

где c – удельная теплоемкость материала, Дж/кг·град; γ – плотность материала, кг/м³; ΔT – разность температур между критической (температурой плавления) и начальной, град; h – высота обрабатываемого настила, м.

В работе [6] на основе уравнения (1) получено уравнение расчета ширины сварного шва b , м, при определенной мощности излучения:

$$b = \frac{0,25A\ell}{65 + \sqrt{20f_0 - 375}} \cdot \exp\left(-\frac{\ell^2}{2(65 + \sqrt{20f_0 - 375})^2}\right),$$

где $A = \frac{f_0}{\sqrt{2\pi v c \gamma \Delta T \ell}}$.

Модель прочности сварного шва, построенная на основе закона Гука, описывается дифференциальным уравнением:

$$P = Ed(C''f_0 + D''f_0 + E'')\sqrt{\ell} \exp\left(-\frac{\ell^4}{8(\sqrt{300f_0 - 1775} - 45)^4}\right),$$

где P – разрывная нагрузка шва, Н; d – длина шва, м; C'' , D'' , E'' – эмпирические константы.

Значения эмпирических констант C'' , D'' , E'' устанавливают из системы линейных уравнений в зависимости от расстояния до поверхности обрабатываемого материала и мощности лазерного излучения. Однако при изменении материала в каждом конкретном случае требуется заново решать дифференциальное уравнение и систему линейных

уравнений, что является отдельной трудоемкой математической задачей.

В работе [7] исследованы изменения прочности шва от технологических параметров сварки, и на основе экспериментальных данных получены уравнения регрессии.

Зависимость разрывной нагрузки шва от скорости сварки и расстояния до поверхности настила $P = f(v; \ell)$ при постоянной мощности излучения $f_0 = 50$ Вт описана полиномом 2-й степени:

$$P = 24,93 + 80,62v + 26,16\ell - 45,88v^2 - 877,7v\ell - 1,465 \cdot 10^4 v^2.$$

Эта модель справедлива для прогнозируемой прочности сварного соединения с $P = 73,0...130,0$ Н, полученного для искус-

ственной кожи (Винилискожа-Т галантерейная) в следующих интервалах параметров: скорость $v = 0,3...1,2$ м/мин с интервалом

0,25 м/мин; мощность $f_0 = 23...57$ Вт с интервалом 10 Вт; расстояние $\ell = 36 \cdot 10^{-3}...104 \cdot 10^{-3}$ м с интервалом $20^{-3} \cdot 10$ м. График полученной регрессионной зависимости представлен на рис. 2 (график регрессионной зависимости $P = f(v, \ell)$ при $f_0 = 50$ Вт).

При исследовании комплексного влияния параметров лазерной сварки на прочность сварного шва с использованием математических методов планирования эксперимента получена следующая модель ротатбельного плана второго порядка [6]:

$$\hat{Y}_1 = 122,881 - 21,814x_1 + 35,458x_2 - 20,953x_3 + 1,25x_1x_3 + 21,50x_2x_3 + 19,28x_1^2 - 18,403x_2^2 - 7,9953x_3^2,$$

где управляемые (основные) параметры: x_1 – скорость сварки; x_2 – мощность лазерного излучения; x_3 – расстояние от среза сопла до поверхности обрабатываемых материалов; выходной параметр (критерий оптимизации): \hat{Y}_1 – разрывная нагрузка шва.

В результате оценки данной модели по дисперсии воспроизводимости $S_{(y)}^2$ установлено, что она не позволяет прогнозировать результаты с требуемой точностью при доверительной вероятности 0,95.

Таким образом, все рассмотренные математические модели построены для одного критерия, трудоемки в расчетах и не обеспечивают прогнозирование с требуемой точностью.

На практике часто возникает необходимость получения сварных соединений, удовлетворяющих сразу нескольким критериям. Например, швы гидрозакитной одежды, рыбацких плащей, защитных фартуков из синтетических и полимерных материалов должны одновременно обеспечивать требуемые герметичность, прочность и жесткость соединения.

Для решения такой задачи применено геометрическое моделирование, суть которого заключается в определении оптимальной области параметров для заданных значений критериев на многомерном чертеже [8].

Для построения геометрических моделей разработана программа "Гиперпуск"

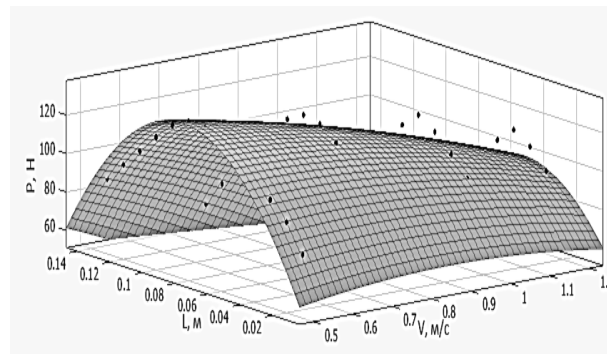


Рис. 2

[9]. В программе по результатам эксперимента получают исходный набор точек, на основе которых выполняется построение аппроксимирующих и (или) интерполирующих функций, формирующих *гиперповерхность взаимосвязи свойств сварного соединения и технологических параметров его получения*. Затем задают показатели качества (свойств) сварного соединения, через которые проходят *гиперплоскости уровня*. На модели устанавливают пересечение гиперповерхности и гиперплоскостей, которое и определяет область параметров получения требуемого соединения.

Геометрическая многомерная модель процесса лазерной сварки для искусственной кожи представлена на рис. 3, 4 совокупностью графиков.

Регулируемые параметры технологического процесса: скорость сварки; мощность лазерного излучения; расстояние от среза сопла до обрабатываемой поверхности.

Критерии эффективности процесса: ширина и прочность шва, высота обрабатываемого настила.

Рассмотрим полученную модель. Характеристики материала: основа – 100 % ВХ; покрытие – одностороннее на основе ПВХ; M_s – 290 г/м²; толщина – $0,38 \cdot 10^{-3}$ м; P_0 – 465 Н, P_y – 396 Н; прочность связи пленочного покрытия с основой – 0,5 кН/м. Механические свойства определяли по действующим стандартам.

Модель получена для следующих значений параметров: давление газа постоянное $g = 0,1 \dots 0,12$ МПа; скорость $v = 0,5 \dots 1,25$ м/мин с интервалом $0,25$ м/мин; мощность $f_0 = 10 \dots 50$ Вт с интервалом 10 Вт; расстояние $\ell = 10 \cdot 10^{-3} \dots 140 \cdot 10^{-3}$ м с интервалом $10^{-3} \cdot 10$ м.

Анализ геометрической модели показывает, что для искусственной кожи могут

быть получены сварные соединения в настиле высотой $h = 3,5 \cdot 10^{-3} \dots 8,0 \cdot 10^{-3}$ м с прочностью $P = 60 \dots 135$ Н и шириной шва $b = 0,5 \cdot 10^{-3} \dots 7,0 \cdot 10^{-3}$ м. Точность модели установлена по критерию Стьюдента с уровнем значимости $0,05$.

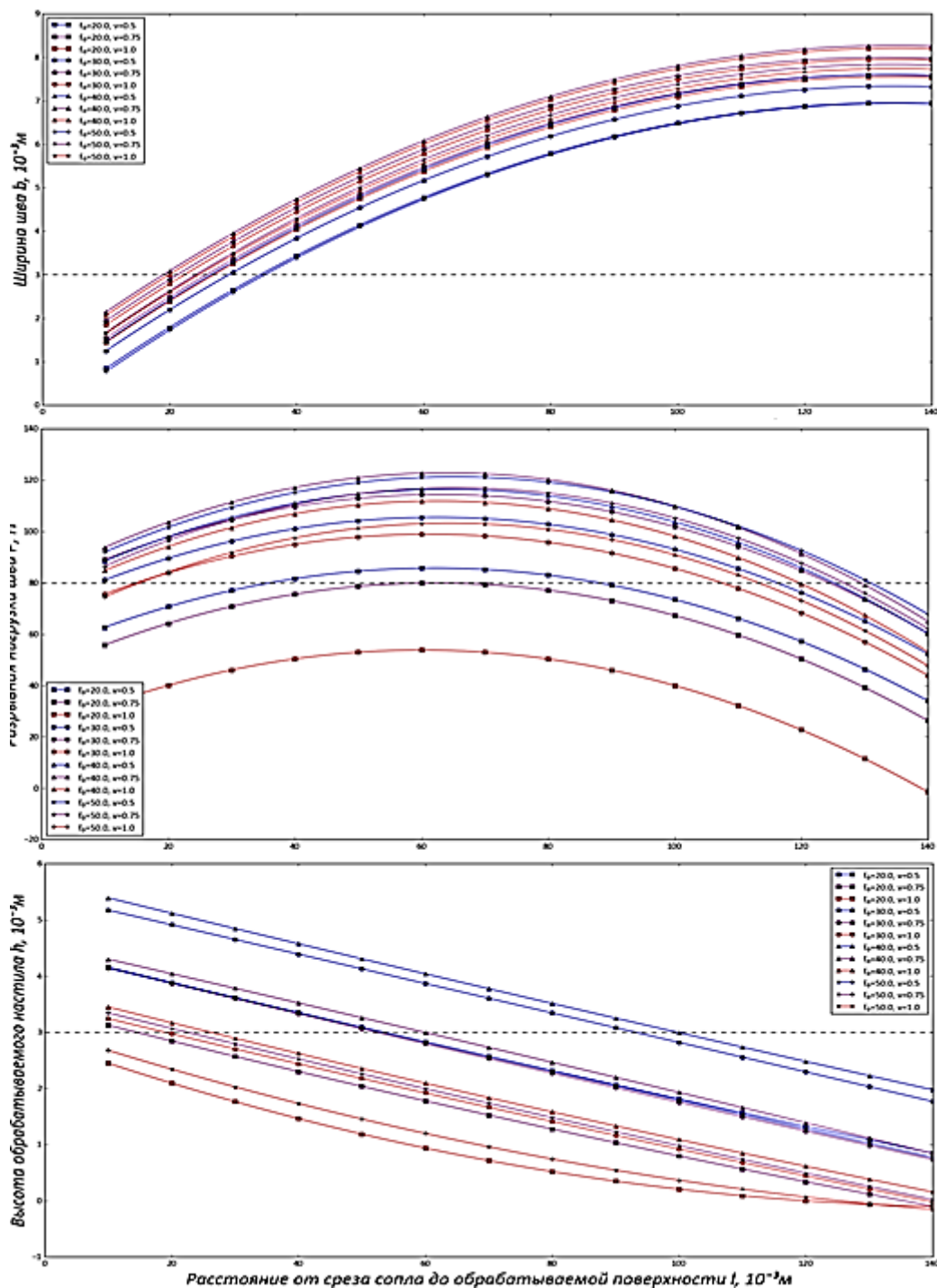


Рис. 3

Зададим критерии качества: шов шириной $b = 3 \cdot 10^{-3}$ м с прочностью более 80 Н должен быть получен в настиле высотой $h = 3 \cdot 10^{-3}$ м. Определим параметры его получения. Для этого на модели (рис. 3) зададим

гиперплоскости соответствующих уровней (P , b и h), пересечение которых с кривыми гиперповерхности определяет искомую точку $N(N_1, N_2)$ (рис. 4).

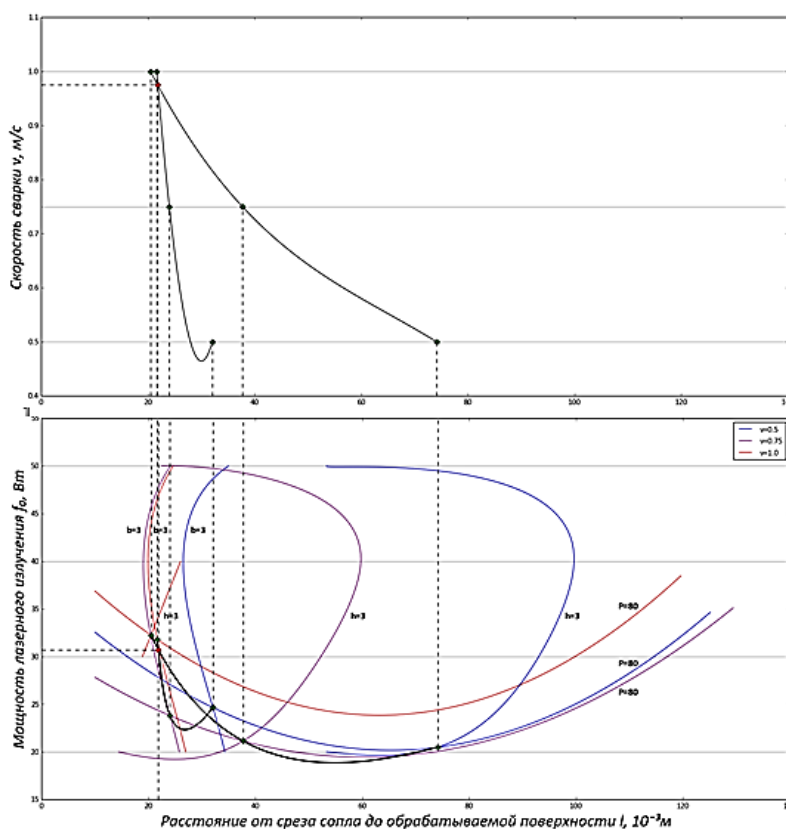


Рис. 4

По модели установим, что сварной шов с прочностью $P = 80$ Н и более, шириной $b = 3 \cdot 10^{-3}$ м может быть получен в настиле высотой $h = 3 \cdot 10^{-3}$ м при следующих параметрах сварки: $v^N = 1,0$ м/мин; $f_0^N = 30$ Вт и $l^N = 22,0 \cdot 10^{-3}$ м.

ВЫВОДЫ

1. Лазерная технология является одной из перспективных и применяется в обработке различного рода материалов. На практике часто возникает необходимость получения сварных соединений, удовлетворяющих сразу нескольким критериям.

2. Математические модели процесса лазерной сварки термопластичных текстильных материалов, построенные для одного критерия, трудоемки в расчетах и не обес-

печивают прогнозирование с требуемой точностью.

3. Методом геометрического моделирования построена модель процесса сварки для искусственной кожи с ПВХ покрытием, на которой установлена область технологических параметров получения сварного шва, одновременно удовлетворяющего нескольким показателям качества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сухова Т.Н. Разработка технологии лазерной сварки материалов для швейных изделий: Дис. ... канд. техн. наук. – Ленинград : ЛИТЛП им. С. М. Кирова, 1990.
2. Базюк Г.П. Резание материалов лучом лазера // Технический прогресс в швейной промышленности. – М., 1968. С. 129...134.
3. Виноградов Б.А., Король Л.И., Бояркин К.Е., Дегтярев Е.Ф. Физико-технологическая модель ла-

зерного разрушения тканей // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1987, № 1. С.107...112.

4. Дегтярев Е.Ф. Воздействие лазерного излучения на ткани с учетом их влагосодержания: Дис. ... канд. техн. наук. – Л. : ЛИТЛП, 1988.

5. Рыкалин Н.Н., Углов А.А. Теплофизические процессы при взаимодействии лазерного излучения с поглощающими средствами // Изв. АН СССР. Сер. Физика. – 1982. Т. 46, № 6. С. 1018...1025.

6. Чижик М.А. Прогнозирование свойств соединений деталей швейных изделий, выполненных методом лазерной сварки: Дис. ... канд. тех. наук. – СПб.: СПГУТД, 1995.

7. Чижик М.А., Волков В.Я. Моделирование процессов соединения деталей швейных изделий. – Омск: ОГИС, 2010.

8. Чижик М.А. Графическая модель оптимизации параметров ниточного соединения деталей одежды // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 5. С. 86...90.

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014610165. "Гипер-спуск" / М.А. Чижик, М.Н. Московцев, Д.П. Монастыренко, Д.В. Доркин; заявитель и патентообладатель Чижик Маргарита Анатольевна. – № 2013618421/69; заяв. 19.07.2013; дата регистрации 09.01.2014.

REFERENCES

1. Suhova T.N. Razrabotka tehnologii lazernoj svarki materialov dlya shvejnyh izdelij: Dis. ... kand. tehn. nauk. – Leningrad : LITLP im. S. M. Kirova, 1990.

2. Bazyuk G.P. Rezanie materialov luchom lazera // Tehniceskij progress v shvejnoj promyshlennosti. – M., 1968. S. 129...134.

3. Vinogradov B.A., Korol L.I., Boyarkin K.E., Degtyarev E.F. Fiziko-tehnologicheskaya model lazernogo razrusheniya tkanej // Izv. vuzov. Tehnologiya legkoj promyshlennosti. – 1987, № 1. S.107...112.

4. Degtyarev E.F. Vozdejstvie lazernogo izlucheniya na tkani s uchedom ih vlagosoderzhaniya: Dis. ... kand. tehn. nauk. – L. : LITLP, 1988.

5. Rykalin N.N., Uglov A.A. Teplofizicheskie processy pri vzaimodejstvii lazernogo izlucheniya s pogloshayushimi sredstvami // Izv. AN SSSR. Ser. Fizika. – 1982. T. 46, № 6. S. 1018...1025.

6. Chizhik M.A. Prognozirovaniye svojstv soedinenij detalej shvejnyh izdelij, vpolnennyh metodom lazernoj svarki: Dis. ... kand. teh. nauk. – SPb. : SPGUTD, 1995.

7. Chizhik M.A., Volkov V.Ya. Modelirovaniye processov soedineniya detalej shvejnyh izdelij. – Omsk: OGIS, 2010.

8. Chizhik M.A. Graficheskaya model optimizacii parametrov nitochного soedineniya detalej odezhdy // Izv. vuzov. Tehnologiya tekstilnoj promyshlennosti. – 2013, № 5. С. 86...90.

9. Svidetelstvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2014610165. "Giper-spusk" / M.A. Chizhik, M.N. Moskovcev, D.P. Monastyrenko, D.V. Dorkin; zayavitel i patentoobladatel Chizhik Margarita Anatolevna. – № 2013618421/69; zayav. 19.07.2013; data registracii 09.01.2014.

Рекомендована кафедрой конструирования и технологии изделий легкой промышленности. Поступила 18.02.16.