

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ СОВМЕСТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ С УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Введение. В известных применениях лазерной технологии - таких, как наплавка, легирование полезный эффект достигается за счет оплавления поверхностного слоя изделия. При этом имеют место нежелательные сопутствующие факторы, не позволяющие в полной мере использовать преимущества лазерной обработки. К таким нежелательным факторам относят наличие после лазерной обработки остаточных растягивающих напряжений, ведущих к деформации детали и большой шероховатости, требующей последующей механической обработки.

Одним из способов разрешения указанных недостатков может быть сочетание процессов деформации с лазерной обработкой. При этом возможно использование следующих последовательностей:

- схемы, при которых деформацию осуществляют после лазерной обработки;
- схемы, при которой дополнительную пластическую деформацию металла производят в зоне, примыкающей к области теплового воздействия.

Наиболее целесообразно использовать в качестве метода пластической деформации ультразвуковые колебания [1]. При реализации второй схемы, целесообразно определить наиболее эффективную область введения ультразвуковых колебаний, где температура металла находится выше точки M_n - начала мартенситного превращения, т.е. в зоне высокой пластичности, что позволит повысить результативность поверхностного пластического деформирования.

Величина шероховатости после лазерной обработки зависит от распределения температуры на обрабатываемой поверхности, которое, в свою очередь, зависит от распределения энергии по сечению луча лазера [2].

Для получения экспериментальных данных по распределению тепловых полей на поверхности образцов была проведена серия опытов, с которых рассматривались следующие распределения энергии по сечению луча лазера: равномерное, кольцевое и ступенчатое. Использовали призматические образцы размерами 60x20x10 мм из стали X18N10T. Лазерную обработку проводили на установке непрерывного действия ЛГН-702. Изменение распределения плотности мощности по лазерному пятну обеспечивалось разъюстировкой концевых зеркал резонатора. Схема достигаемого распределения энергии по пятну и цик-

лограмма подвода энергии в зону обработки приведены на рис.1. Контроль проводился по глубине следа, полученного при кратковременном воздействии на органическое стекло.

Результаты экспериментов. Основной причиной появления остаточных растягивающих напряжений являются термические напряжения, обусловленные высокими скоростями охлаждения зоны обработки из жидкой фазы и возникающих при этом значительным градиентом температур по глубине слоя. Вначале на определенную точку поверхности будет воздействовать часть луча с высокой плотностью мощности. По мере продвижения луча, эта же точка станет подвергаться воздействию второй зоны луча с пониженной плотностью мощности (Рис.1).

В режимах лазерной обработки варьировались: диаметр луча $d = 1 - 4$ мм, $V = 100 - 800$ мм/мин, соотношение плотностей мощности второй и первой зон лазерного пятна $q_2/q_1 = 0.3 - 1.0$, соотношение продолжительности воздействия второй и первой зон $t_2/t_1 = 0.3 - 0.7$. Оценка тепловых полей при различных условиях проводилась путем решения прямой нестационарной и нелинейной задачи теплопроводности с граничными условиями 2-го рода и с движущейся границей фазового перехода (задача Стефана), при этом были получены различные параметры изменения распределения энергии в зоне термического воздействия (характеризующие изменения, которые вызываются варьированием распределения мощности по площади пятна q_2/q_1), на основании которых построены графики распределения температур при лазерной обработке (Рис.3). В расчете математической модели рассматривалось тело в виде прямоугольного параллелепипеда размерами $X \times Y \times Z$, состоящее из m -слоев различного состава. В начальный момент времени поле температур в теле описано зависимостью координат $T_0 = f(X, Y, Z)$, K . С этого момента на поверхность тела начинает действовать лазерный луч диаметром D и мощностью $W = \epsilon W_n$, где W и W_n – соответственно поглощенная телом тепловая мощность и полная мощность лазерного излучения, Вт.

В результате неравномерного распределения энергии в луче плотность поглощенная телом мощность q (Вт/м²) зависит в общем случае от координат т.е.

$$\begin{aligned} q &= f(X, Y), \\ \text{при этом} \quad W &= \int_S q dS, \end{aligned} \quad (1)$$

где S – площадь лазерного пятна, м².

Начальное положение центра луча на поверхности тела задано координатами X_0, Y_0 , а положение центра в текущий момент времени определяется параметрическими выражениями:

$$Y = Y_0; X = X_0 + V(\tau - \tau_0),$$

где V – скорость перемещения луча, м/с.

Процесс распространения тепла в теле определяется следующими уравнениями:

Для точек вне границы фазового перехода – дифференциальным уравнением Фурье:

$$C \frac{dT}{d\tau} = \frac{d}{dX} \left(\lambda \frac{dT}{dX} \right) + \frac{d}{dY} \left(\lambda \frac{dT}{dY} \right) + \frac{d}{dZ} \left(\lambda \frac{dT}{dZ} \right) \quad (2)$$

для точек с поглощением (выделением) теплоты фазового перехода (плавления-затвердевание):

$$(C + L) \frac{dT}{d\tau} = \frac{d}{dX} \left(\lambda \frac{dT}{dX} \right) + \frac{d}{dY} \left(\lambda \frac{dT}{dY} \right) + \frac{d}{dZ} \left(\lambda \frac{dT}{dZ} \right). \quad (3)$$

В основу алгоритма положен метод конечных разностей. Это обусловлено его широкой апробацией, многомерностью задачи, малой величиной ношения диаметра лазерного луча к размерам обрабатываемой детали, широким варьированием (на порядок) этого отношения для одной и той же детали и требованием высокой пространственной разрешимости изотерм. Алгоритм решения сконструирован по консервативной локальной формуле (3) за пределами твердо-жидкого состояния. В качестве шаблона для каждого из локально-одномерных временных подслоев принят шеститочечный шаблон, определяющий неявную схему. Задаваемая пользователем значимость α текущего временного слоя может меняться в пределах от 0 (явная схема) до 1 (чисто неявная схема).

Одной из особенностей разработанного алгоритма является задание сетки с переменным шагом, сгущающимся по направлению к зоне теплового воздействия. При этом по каждой из трех координат устанавливается от одной и более зон, характеризующихся размером, количеством пространственных шагов и соотношением размеров крайних шагов в зоне из условия изменения последовательных шагов по арифметической прогрессии. Задание гиперболической зависимости оказалось менее предпочтительным в силу неприемлемо малых значений показателя степени, удовлетворяющих заданному соотношению размеров крайних шагов.

Для вычисления теплофизических свойств на текущем временном слое используется итерационный процесс. На «нулевом» приближении задействуются теплофизические свойства из предыдущего временного слоя. Количество итераций по каждой координате (на каждом локально-одномерном временном подслое) задается пользователем.

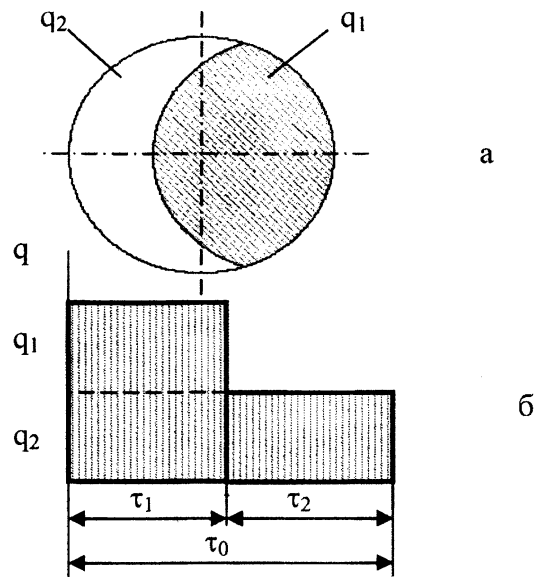
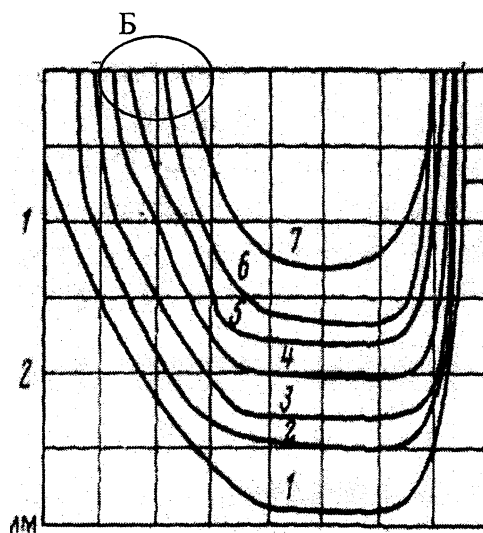


Рис.1. Схема распределения энергии по сечению лазерного луча (а) и циклограмма «ступенчатого подвода» (б)



T, K : 1 - 720, 2 - 820, 3 - 920, 4 - 1020, 5 - 1120, 6 - 1220, 7 - 1400

Рис.2. Осевое продольное сечение теплового поля при лазерной обработке



Рис.3. Распределение температур при лазерной обработке

При постановке задачи был сделан ряд допущений и упрощений. Например, не учитывалась динамика движения расплава, теплоотдача в окружающую среду. Поэтому математическая модель дала довольно приближенные значения абсолютных величин размеров ванны расплава и изотерм. Но она позволяет достаточно точно оценивать характер тех изменений, которые вызываются варьированием распределения мощности по площади пятна.

Характерные осевые продольные сечения тепловых полей, возникающих при лазерном оплавлении покрытия при распределении, обеспечивающем «ступенчатый» подвод энергии в зону обработки, представлен на рис. 2. При этом зона высокой пластичности (в которой наиболее целесообразно вводить ультразвуковые колебания для пластической деформации металла) с температурой 1100-900 К приходится на область «Б».

Заключение. Анализ результатов, показывает, область, в которой наиболее целесообразно вводить ультразвуковые колебания для пластической деформации металла для различных режимов лазерной обработки приходится на область с температурой 1100-900 К и расстоянием от оси луча 1,38 – 1,96 мм (рис.3, область А), т.е. распределение энергии по сечению луча не оказывает существенного влияния на зону высокой пластичности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Синдеев В.И., Исакова Г.А. Особенности формирования поверхностного слоя деталей при лазерно-ультразвуковом воздействиих / Физика и химия обработки материалов/ 1988, №6, с.59-64.
2. Чачин В.Н., Кардаполова

М.А., Спиридонов Н.В., Девойно О.Г., Лазнев В.К. Снижение трещинообразования при оплавлении покрытий из самофлюсующихся сплавов лазерным лучом // Физика и химия обработки материалов/ 1991, №1, с.125-131.3. Гурев Д.М., Медников С.И., Ямщиков С.В., Балашов И.А. Лазерно-ультразвуковое легирование поверхности серого чугуна титаном // Физика и химия обработки материалов/ 1993, №3, с. 109-116. 4. Kykin S.F., Kykin A.S., Devoyno O.G., Kalenik A.M. The analysis of process on laser hardening with the subsequent ultrasonic surfaseplastik deforming // International Conference TOOLS 2002/P/51.

УДК 621.312

Луговой В.П.

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА КАЧЕСТВО ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСТРУЗИИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Одним из важнейших направлений интенсификации производственных процессов в электротехнической промышленности является использование наукоемких технологий в производственных процессах, среди которых применение ультразвуковых колебаний занимает значительное место. Исследования по использованию ультразвука в процессе вулканизации кабельных изделий и при экструдировании кабельных оболочек высоковязкими эластомерами, проведенные ранее, показали их высокую эффективность. Большой вклад в исследование процесса экструзии внесли М.Калинин и В.М.Соколов (ТомНИКИ) [1, 2], разработавшие и исследовавшие принципиально новые конструкции головок экструдеров с наложением ультразвука, а также предложившие основы математического аппарата для обобщения полученных результатов. В предложенном ими устройстве ультразвуковые колебания возбуждались в рабочей зоне с помощью магнестрикционного преобразователя, соединенного с корпусом головки. Жесткое механическое соединение корпуса с формообразующими инструментами позволило сконцентрировать энергию колебаний в рабочей зоне. Однако значительные массы корпуса и рабочих инструментов экструдера не позволили эффективно использовать энергию ультразвуковых колебаний, в связи, с чем в конструкции было предусмотрено одновременное использование от двух до четырех источников колебаний, что не позволило решить вопрос о направленности действия ультразвука в рабочей зоне. В исследованиях с целью устранения этих недостатков были рассмотрены другие варианты возбуждения направленных колебаний в инструменте посредством одного преобразователя.