

10. Козел, А. Г. Влияние сдвиговой жёсткости основания на напряжённое состояние сэндвич пластины / А. Г. Козел // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2018. – Т. 332, № 6. – С. 25–34.
11. Нестерович, А. В. Напряжённое состояние круговой трехслойной пластины при осесимметричном нагружении в своей плоскости / А. В. Нестерович // Механика. Исследования и инновации. – 2019. – Т. 12, № 12. – С. 152–157.
12. Старовойтов, Э. И. Деформирование трехслойного стержня в температурном поле / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2013. – Т. 22, № 1. – С. 31–35.
13. Салицкий, В. С. Изгиб защемлённой по контуру круговой пятислойной пластины / В. С. Салицкий // Механика. Исследования и инновации. – 2022. – Т. 15, № 15. – С. 209–213.
14. Салицкий, В. С. Изгиб круговой пятислойной пластины / В. С. Салицкий // Теоретическая и прикладная механика. – Минск, 2023. – Вып. 38. – С. 234–239.
15. Лачугина, Е. А. Поперечные колебания пятислойной упругой круговой пластины с жесткими заполнителями / Е. А. Лачугина // Механика. Исследования и инновации. – 2022. – Вып. 15. – С. 212–219.
16. Лачугина, Е. А. Частоты собственных колебаний пятислойной круговой пластины / Е. А. Лачугина // Теоретическая и прикладная механика : междунар. науч.-техн. сб. – Минск : БНТУ, 2023. – Вып. 38. – С. 227–233.
17. Лачугина, Е. А. Свободные колебания пятислойной круговой пластины с легкими заполнителями / Е. А. Лачугина // Механика. Исследования и инновации. – 2023. – Вып. 16. – С. 111–116.

УДК 621.7.029

ПОВЕРХНОСТНО-ПЛАЗМЕННАЯ ЗАКАЛКА КАК КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ

М.В. Хеук

Брестский государственный технический университет, г. Брест, Беларусь

SURFACE PLASMA HARDENING AS A COMBINED METHOD OF SURFACE HARDENING

M.V. Kheuk

Brest State Technical University, Brest, Belarus

Аннотация. В статье рассмотрено влияние температуры на поверхность металла при локальном плазменном упрочнении поверхности и ее распределение по области обработки.

Ключевые слова: плазменный процесс, температурное поле, локальный источник нагрева, шероховатость.

Annotation. The article considers the effect of temperature on the metal surface during local plasma hardening of the surface and its distribution over the processing area.

Keywords: plasma process, temperature field, local heating source, roughness.

Одним из действенных способов повышения качества металлообрабатывающего инструмента и увеличения его рабочего ресурса является разработка новых способов упрочнения и придание специальных свойств поверхности с использованием методов и приемов инженерии поверхности. Существуют различные способы придания прочности поверхности инструментальных и штамповых сталей. Наиболее известными являются термическая закалка при высокоскоростном нагреве и охлаждении режущих кромок электронным или лазерным лучом [1], обработка компрессионными потоками плазмы, приводящая к перемешиванию поверхностных слоев и введение легирующих добавок [2].

При использовании данных методов происходит обработка всей поверхности инструмента. Однако, вопрос использования точечного управляемого источника для выполнения локального упрочнения только в зоне режущей кромки без дальнейшей механической обработки поверхности с возможностью нанесения тонкопленочного покрытия требует дальнейшего изучения.

Для исследования процесса распределения температур по поверхности металла при локальном плазменном упрочнении с помощью модифицированного плазмотрона использовался оптический измеритель температур ИТЗ-СМ, позволяющий считывать процесс изменения температуры в режиме реального времени.

В процессе исследований, подготовленные образцы из стали 6ХВ2С с параметром шероховатости $Ra = 1,6$ мкм, устанавливались на рабочий стол установки, на который подавался отрицательный потенциал генератора плазмы. Положительный потенциал подавался на вольфрамовый стержень плазмотрона для поджига и поддержки стабильной работы дуги. Процесс работы проходил в среде рабочего плазмообразующего газа (аргон) с подачей вокруг области упрочнения защитного газа (азот) для предотвращения окислительных процессов на поверхности обрабатываемого материала. Исследование проводилось при различных режимах обработки. В данной статье описан процесс для следующих параметров: $U = 18$ В, $I = 30$ А, $P_{Ar} = 0,22$ МПа, $P_{N_2} = 0,3$ МПа, $v = 15$ мм/с, $V_{Ar} = 0,3$ л/ч., $V_{N_2} = 0,08$ л/ч. Расстояние от генератора плазмы до поверхности образца составило 2 мм, обеспечивающее свободный выход защитного газа и стабильную работу плазменной дуги. Тепловая картина распределения температурного потока по поверхности образца с промежутком времени 1,5 с представлена на рисунке 1.

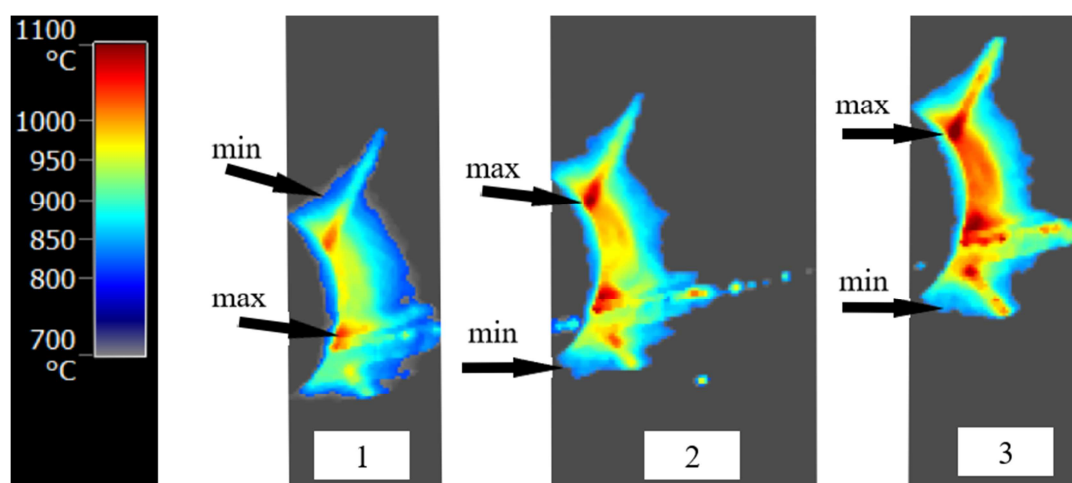


Рисунок 1 – Распределение температурного потока по поверхности образца

По результатам экспериментальных исследований установлен размер пятна нагрева. Для этого проведено наложение пятен для различных моментов времени с интервалом $t = 0,2$ с при скорости движения плазмотрона $v = 10$ мм/с. Установлено, что размер пятна (совокупность областей структурно-фазовых преобразований) составляет порядка 2 мм [3]. Параметр шероховатости до и после испытаний не изменился, т.к. исследовался режим обработки без оплавления поверхности.

В момент времени $t = 1,5$ с работы плазменного источника была зафиксирована градация температур в диапазоне (876–1094) °С, для $t = 3,0$ с – (852–1101) °С, для $t = 4,5$ с – (858–1138) °С. Точки минимума и максимума температур показаны на рисунке 1.

В процессе эксперимента наблюдалось появление серповидных участков от источника нагрева, а также области температурных изменений, сформированные потоками защитного газа на поверхности из-за дефектов керамического защитного элемента плазмотрона.

По результатам проведенных исследований выявлено, что метод локального упрочнения поверхности стали 6ХВ2С можно использовать как подготовительный этап для последующего нанесения градиентного покрытия в связи с отсутствием изменения параметра шероховатости поверхности и возможностью локального упрочнения режущих кромок инструмента без структурных изменений основного материала.

Список цитируемых источников

1. Karatas, C. Laser treatment of cemented carbide cutting tool / C. Karatas, B. S. Yilbas, A. Aleem // Journal of Materials Processing Technology. – 2007. – Vol. 183. – P. 234–240.
2. Formation of alloying layers in a carbon steel by compression plasma flows / V. V. Uglov [et al.] // Vacuum. – 2007. – Vol. 81. – P. 1341–1344.
3. Экспериментальное исследование температурных полей на поверхности материала при действии плазменной струи / А. И. Веремейчик [и др.] // Новые технологии и материалы, автоматизация производства : сб. статей / Брестский государственный технический университет. – Брест : БрГТУ, 2023. – С. 129–133.

УДК 539.3

**УРАВНЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ ТРЕХСЛОЙНОЙ КРУГОВОЙ ПЛАСТИНЫ
С ЛИНЕЙНО ИЗМЕНЯЮЩИМИСЯ НЕСУЩИМИ СЛОЯМИ**

А.В. Черняк

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

**EQUILIBRIUM EQUATIONS FOR A THREE-LAYER CIRCULAR PLATE
WITH LINEARLY CHANGING BEARING LAYERS**

A.V. Charnyak

Belarusian state university of transport, Gomel, Belarus

Аннотация. Исследуется осесимметричный изгиб круговой трехслойной пластины с внешними несущими слоями, линейно изменяющимися по толщине. Предполагается, что для внешних слоев справедливы кинематические гипотезы Киргофа. Для относительно толстого легкого заполнителя принимается гипотеза Тимошенко – деформированная нормаль остается прямолинейной, не изменяет своей длины и поворачивается на некоторый дополнительный угол. Получены уравнения равновесия, приведены граничные условия.

Ключевые слова: изгиб, трехслойная круговая пластина, переменная толщина слоев.

Annotation. We study the axisymmetric bending of a circular three-layer plate with external load-bearing layers that vary linearly in thickness. It is assumed that Kirgoff's kinematic hypotheses are valid for the outer layers. For a relatively thick lightweight filler, Timoshenko's hypothesis is accepted – the deformed normal remains rectilinear, does not change its length and rotates through some additional angle. Equilibrium equations are obtained and boundary conditions are given.

Keywords: bending, three-layer circular plate, variable layer thickness.

При работе трехслойных конструкций, содержащих жесткие и прочные внешние несущие слои и менее жесткий срединный заполнитель, отмечаются хорошие прочностные и жесткостные показатели при минимуме их весовых характеристик. Поэтому становится очевидной потребность в разработке эффективных методов расчета напряженно-деформированного состояния данного типа конструкций.

Деформирование и колебания трехслойных конструкций было исследовано в ряде работ. Так, например, монографии [1–4] посвящены разработке математических моделей статического и динамического деформирования трехслойных элементов конструкций со слоями постоянной толщины. В статьях [5–10] рассматривалось деформирование трехслойных стержней и оболочек при квазистатических нагрузках. Работы [11–13] посвящены статике и динамике трехслойных пластин со слоями переменной толщины.

Здесь приведены уравнения равновесия для трехслойной круговой пластины с несущими слоями, линейно изменяющимися по толщине $h_1 = h_2 = h_0(1 - r/2r_0)$. Задача решается в