possible to assert that nanodispersed titanium carbonitride Ti(CN) has the most effective influence on  $10\Gamma 2$  and  $10\Gamma 2C$  steels modifying process.

From theoretical point of view obtained experimental data represent the scientific novelty. The scientific trend of farther researches expect to study structure changes of steels modified by nanodispersed compositions.

## ПОЛУЧЕНИЕ РЕФРАКЦИОННОЙ НАНОДИСПЕРСНОЙ КОМПОЗИЦИИ С ЗАДАННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Одним из приоритетных направлений развития современного материаловедения являются наноматериалы и нанотехнологии. Конструкционные наноструктурные материалы занимают особое место между материалами с определенной структурой и характеристиками. Целью работы является изучение проблемы получения высокоплавких нанодисперсных композиций с индивидуальными кристаллографическими параметрами для модифицирования конструкционных сталей.

### УДК 621.924.9

# ВЛИЯНИЕ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ НА ПАРАМЕТРЫ КОНТАКТНОГО СЛЕДА ЛЕТЯЩЕЙ ДРОБИНКИ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Горик А.В., д.т.н., профессор, Ковальчук С.Б., к.т.н., Брикун А.Н. Полтавская государственная аграрная академия, г. Полтава Черняк Р.Е.

### ПрАТ «АвтоКрАЗ», г. Кременчуг

В основе изучения процессов механической обработки поверхностей изделий массовым потоком (струей) рабочих твердых частиц для упрочнения или очистки поверхностного слоя лежит та или иная теоретическая модель взаимодействия отдельного сферического тела (дробинки) с деформируемым плоским телом (преградой), создающим упругопластическое сопротивление поверхностного слоя проникновению атакующей дробинки. Интерес, в этом случае, вызывают кроме напряжений в контактной зоне также и деформации в виде оставленного отдельной дробинкой следа в форме лунки, геометрические параметры которых принимают в основу определения качества (состояния) обработанных струйно-факельным методом металлических поверхностей.

Решению таких вопросов посвящено много научных работ, которые нацелены как на описание ударного контакта с преградой отдельной частицы, так и массового струйного потока частиц с выходом на упрочнение или разрушение поверхностного слоя, очистку поверхностей, и оптимизации различных технологических процессов.

Большинство авторов в аналитических исследованиях склоняются к упругопластическому сопротивлению атакованной стальной преграды индентором [1-3] с экспериментальным обоснованием. Изменение динамической твердости в расчетах учитывают коэффициентом динамичности [4, 5], который требует дополнительных исследований. В этих работах, как правило, функция проникновения дробинки в атакованную поверхность устанавливается с помощью обобщенного коэффициента упругопластичности, который не дает четкого ответа на соотношение упругих и пластических контактных деформаций, формирующих параметры следа атакующей дробинки. В некоторых работах [1, 6] предлагается пренебрегать упругие деформации без количественной оценки принятого допущения.

В случае струйной обработки металлических поверхностей дробью диаметром  $0,8 \le d \le 2,0$  мм на скоростях атаки 100 м/с и более, в зоне контакта уже в самом начале внедрения дробинки в металле возникает пластическое течение, то есть, наблюдается фаза развитой пластической деформации. С этой точки зрения вызывает определенный интерес учет вязкоупругого сопротивления поверхностного слоя стальных изделий ударной атаке сферической дробинки и экспериментальная оценка меры влияния на результат упругих деформаций.

Экспериментальная часть решения задачи осуществлялось с использованием плоских прямоугольных образцов из стали 08сп, атакованных стандартными стальными шариками (дробинками) диаметром d = 4,366мм и массой  $m = 0,342 \cdot 10^{-3}$  кг по ГОСТ 3722-2014. Атакующую скорость дробинке придавали однозарядным пружинно-поршневым пневматическим пистолетом марки «ИЖ-53М», который был протестирован на предмет скорости вылета дробинки из дула. Для исследований был сконструирован специальный испытательный стенд. В результате такого одноразового испытания с помощью микроскопа МПБ-2 и микрометра определяли опытные размеры следа, оставленного дробинкой на образце при заданной скорости и разных углах атаки – от 20° до 90°.

Теоретическая часть исследований контактного сопротивления деформируемой поверхности при ударной атаке отдельной дробинки массой m базировалась на таких физических моделях: вязкоупругой, при движении дробинки по нормали к поверхности (вдоль оси y), и жесткопластической, при движении дробинки по касательной к поверхности (вдоль оси x).

В результате получены исходные дифференциальные уравнения, описывающие движение дробинки во время *t* ее внедрения

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{\gamma}{m} \frac{dy}{dt} + \frac{c}{m} y = 0, \qquad (1)$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -f_s R_y / m \,. \tag{2}$$

Эти уравнения, кроме уже известных величин, содержат:  $\gamma$  – коэффициент, характеризующий вязкое сопротивление; c – коэффициент, характеризующий упругое сопротивление материала атакуемой поверхности;  $f_s$  – коэффициент трения скольжения при пластической деформации, когда дробинку рассматриваем как жестко защемленное тело, вдавливаемое со скольжением в полупространство [1].

Нормальные  $R_y$  и касательные  $R_x$  давления связаны между собой, но можно упростить решение системы (1)-(2), если пренебречь влиянием касательных усилий на нормальные усилия, без существенной потери точности решения [7], что позволило разделить решение уравнений (1) и (2).

Определяющим является движение дробинки по нормали к поверхности, описываемое уравнением (1). График его решения представлен на рис. 1 (кривая 1) при реальных исходных данных процесса  $\gamma > 2\sqrt{mc}$ .



Рис.1. Графики функций y(t) ( $t_{h1,3}$  – время внедрения дробинки)

При графическом моделировании коэффициенты вязкого  $\gamma$  и упругого *с* сопротивления материала внедрению дробинки через прогнозируемый коэффициент  $k_{yn}$  доли упругого сопротивления, соотносились так:  $c = \gamma k_{yn} v_{0y} / y_{max} (1 - k_{yn})$ . Изменяя коэффициент  $k_{yn}$  в ожидаемом интервале  $(0 \le k_{yn} \le 0, 1)$ , достигали условия равенства теоретически максимального внедрения  $y_{max}$  и экспериментальной глубины следа  $h_{exp}$  (горизонтальная линия рис. 1), что позволило сделать выводы относительно влияния упругих деформаций на параметры следа.

Пренебрегая упругим сопротивлением  $(k_{yn} = 0)$ , получаем ожидаемые несколько завышенные результаты глубины внедрения дробинки (линия 2) по отношению к экспериментальной. Аналогичные результаты показывает и упругопластическая модель (линия 3) [2]. Объясняется это тем, что эти модели не в полной мере учитывают потери энергии летящей дробинки на упругое деформирование. Этого недостатка лишена кривая 1, функция которой влияние на силу сопротивления упругих деформаций учитывает коэффициентом  $k_{yn} = 0.04$ , установленным по экспериментальной глубине следа  $h_{exp} = 0,302 \, \text{мм}$ . Удовлетворительное совпадение границы глубины внедрения атакующей дробинки при вязком сопротивлении материала с экспериментальными ее значениями свидетельствует о незначительном (до 4%) влиянии при этом упругих деформаций, которыми при развитой пластической контактной деформации можно пренебрегать. Глубина внедрения, как основной результат использования энергии атакующей дробинки, может достоверно определяться за предложенными соотношениями вязкоупругого сопротивления, либо по упругопластической модели [2], которые дают удовлетворительный сравнительный результат.

[1] Мартьянова А. Е. Модель ударного контакта твердой абразивной частицы с пластичным материалом. Вестник Астраханского государственного технического университета. Астрахань, 2004. №1. С. 77-81.

[2] Gorik A. V., Zinkovskii A. P., Chernyak R. E., Brikun A. N. Elastoplastic deformation of the surface layer of machinery constructions on shot blasting. *Strength of Materials*. 2016. Vol. 48, № 5. P. 650-657.

[3] Новіков Ф. В., Анділахай О. О. Основи струминно-абразивної обробки дрібних деталей: монографія. Харків: Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. 348 с.

[4] Дрозд М. С., Матлин М. М., Сидякин Ю. И. Инженерные расчеты упругопластической контактной деформации. Москва: Машиностроение, 1986. 224 с. [5] Горик А. В., Ковальчук С. Б., Шулянский Г. А. Определение упругопластического коэффициента ударного взаимодействия сферического индентора с деформируемым полупространством. Восточно-европейский журнал передовых технологий. Харьков, 2013. – №1/7(61). С.56-59.

[6] Пановко Я. Х. Введение в теорию механического удара. Москва: Наука, 1977. 224 с. [7] Джонсон К. Механика контактного взаимодействия: Пер. с англ. Москва: Мир, 1989. 510 с.

### INFLUENCE OF ELASTIC DEFORMATIONS ON THE PARAMETERS A TRACE OF A ATTACKING PELLET ON A METAL SURFACE

The results of experimental and theoretical studies of the effect of elastic deformation in the contact interaction of a pellet attacking with a high speed and an attacked metal surface on the parameters of the contact wake are presented. For theoretical justification of the experimental results, a model of viscoelastic resistance of the surface layer attacked by a pellet with contact displacement along the normal to the surface is adopted. The results of comparing the obtained and known theoretical data with each other and with experimental studies are presented.