

характер изменения: 1 – усадки; 2 – температуры; 3 – импульсного тока

**Рисунок – Диаграмма быстропротекающего процесса порошковой электроконтактной наплавки**

Для регистрации быстропротекающих высокотемпературных процессов при конденсаторной сварке и наплавке система регистрации может дополняться фотоэмиссионным пирометром, использующим в своей конструкции фотоэмиссионный умножитель ФЭУ–175М, обеспечивающий за счет модуляции фототока временное разрешение порядка 1–2 мкс.

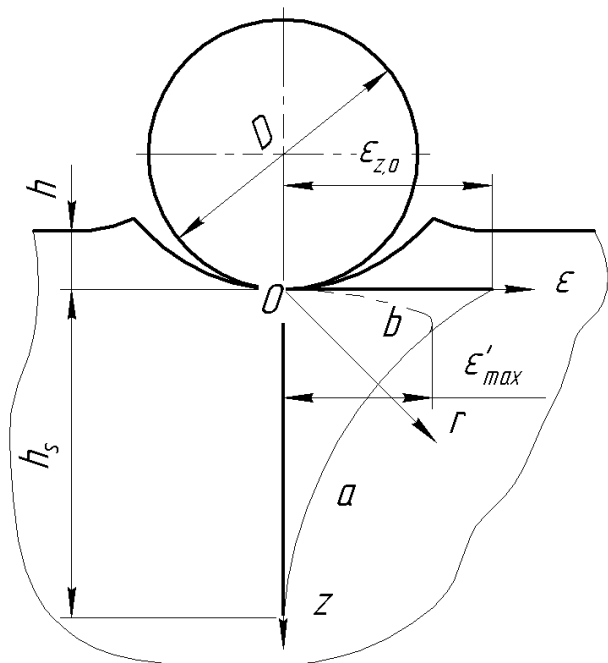
УДК 621.787.4.048.6

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ УДАРНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ**

В.В. Клубович, д-р техн. наук проф., академик,  
В.А. Томило д-р техн. наук, Е.В.Хрущев  
Белорусский национальный технический университет  
(г. Минск, Республика Беларусь)

Существует множество способов повышения эксплуатационных характеристик поверхностей и деталей в целом. С целью повышения усталостной прочности и финишной отделки поверхности деталей, они подвергаются поверхностному пластическому деформированию (ППД). ППД с наложением ультразвуковых колебаний достаточно новый и не изученный способ формирования в поверхностном слое сжимающих остаточных напряжений. В настоящей статье рассматривается упругопластическое взаимодействие сферического индентора с плоской поверхностью контртела.

Интенсивность деформации, возникающей в зоне контакта двух тел, характеризует физическое состояние материала в локальном объеме и, в частности, определяет его запас пластичности, а следовательно, и долговечность детали при контактном нагружении. При поверхностном упрочнении деталей методом ППД с ультразвуком интенсивность деформации определяет эффективность процесса упрочнения.



**Рисунок 1 – Распределение деформации**

Между тем, в литературе сведения о характере распределения интенсивности деформации в районе упругопластического контакта весьма разноречивы. Многие исследователи отмечают, что при отсутствии трения в контакте максимум деформации находится в центре контакта и непрерывно убывает по мере удаления от поверхности в глубь тела (линия *a* рисунок 1) [1,2]. По данным других авторов, например [3] интенсивность деформации в ряде случаев максимальна на некоторой глубине (линия *b* на рисунок 1).

Рассмотрим приближенное аналитическое решение задачи о распределении интенсивности остаточной деформации в точках оси вдавливания *z*, проходящей через центр поверхности контакта

упругого сферического индентора с плоской границей упругопластического контртела. Предполагается, что трение в контакте отсутствует, а вне контакта граница среды остается плоской. Имеется в виду такая стадия деформирования, когда отпечаток полностью сформировался на всей поверхности контакта.

В результате работы получена формула для интенсивности контактной деформации

$$\varepsilon_{i,0} = 2,4^3 \sqrt{\left(\frac{h}{k^2 R_{np}}\right)^2 \left(\frac{B}{A}\right)^{0,2}} . \quad (1)$$

Для круглого отпечатка в случае внедрения сферы диаметром  $D=2R$ ,  $R_{np}=R$ ,  $A/B=1$ ,  $k=1$  и

$$\varepsilon_{i,0} = 2,4 \left(\frac{h}{R}\right)^{2/3} . \quad (2)$$

Глубина *h* при которой  $\varepsilon_{i,0}$  равно заданной величине, будет

$$h = 0,27 R \varepsilon_{i,0}^{3/2} . \quad (3)$$

Приведенные выше соотношения дают возможность прогнозировать и программировать физико–механические (глубину  $h_s$  и интенсивность  $\varepsilon_i$  деформации материала) и геометрические (глубину *h* и радиус *R* отпечатка) парамет-

ры ультразвукового ударного воздействия сферическим индентором на упрочняемую плоскую поверхность, при ППД.

### Литература

1. Кудрявцев, И.В. Внутренние напряжения как резерв прочности в машиностроении / – М.: Машгиз, 1951. – 278 с.

2. Хейфец, С.Г. Аналитическое определение глубины наклепанного слоя при обкатке роликами стальных деталей, Тр. ЦНИИТМАШа № 49, – М.: Машгиз, 1952. – с. 7–17.

3. Смирнов, В.А. Аналитическое определение остаточных напряжений и деформаций в процессе обработки деталей. – Изв. вузов. Машиностроение №1, 1977. – с. 150–155.

УДК 621.793

## ПОВЫШЕНИЕ СВОЙСТВ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ В ПРОЦЕССЕ ПРИРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

М.А. Белоцерковский<sup>1</sup>, канд. техн. наук, А.И. Камко<sup>2</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

<sup>2</sup>Гомельский завод литья и нормалей

(<sup>1</sup>г. Минск, <sup>2</sup>г. Гомель, Республика Беларусь)

**Введение.** Работа посвящена разработке и исследованию методов, использующих деформационные структурно–фазовые превращения и метастабильные состояния, обеспечивающие комплексное улучшение физико–механических и эксплуатационных свойств покрытий, нанесенных на детали узлов трения скольжения. Основной особенностью технологий является протекание определенных фазовых превращений и структурных изменений в поверхностных слоях не на стадии нанесения покрытий и упрочняющих обработок, а в основном на начальной стадии эксплуатации.

**Цель исследований.** Целью исследований явилось изучение возможности повышения качества деталей узлов трения, эксплуатирующихся в условиях высоких удельных нагрузок, путем обеспечения в процессе работы сопряжений протекания деформационных фазово–структурных превращений в поверхностных слоях газотермических покрытий.

**Материалы и методики исследований.** Для формирования покрытий были использованы методы газопламенного проволочного распыления и гиперзвуковой металлизации. Распылялись проволоки из сталей мартенситного (сталь 40X13) и аустенитного (сталь 12X18Н10Т) классов. Для модифицирования покрытий в процессе трибомеханического взаимодействия использовалась смазка ИТМОЛ–150Н с алмазосодержащим пакетом присадок «УДАГ», а также смазка И–20А, наполненная шихтой алмазосодержащей «ША» или алмазо–