

STUDY OF THE PARAMETERS OF THE DEFORMATION BUREAU FOR STATIC-PULSE TREATMENT OF MACHINE PARTS

Kokoreva O.G.¹, Fadeev P.O.² (Russian Federation) Email:
Kokoreva333@scientifictext.ru

¹Kokoreva Olga Grigoryevna - Associate Professor, Candidate of Technical Sciences,
DEPARTMENT PORT LIFTING AND TRANSPORT MACHINES AND ROBOTICS;

²Fadeev Philipp Olegovich – Student,
FACULTY OPERATION OF THE WATER TRANSPORT INFRASTRUCTURE,
MOSCOW STATE ACADEMY OF WATER TRANSPORT,
MOSCOW

Abstract: in this paper, we consider the contact problem when an instrument is exposed to the surface of a sample during a static pulse processing (SIO). The analysis of the nature of the interaction of the tool with the surface in terms of power and geometric parameters is carried out. The dependence of the stressed state on the energy characteristics of the elastoplastic contact and on the formation of the surface layer is estimated. A substantiation of the calculations of hardening from the point of view of the processes occurring in the surface layer during SIO is provided. The interrelation between the operational characteristics of the surface layer of hardened samples and the quantitative evaluation of the energy components in SIO is established.

Keywords: static-pulse processing, hardening of the surface, stress state, indenter, power characteristics, contact task, surface plastic deformation, mechanical characteristics, surface layer, center of deformation.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ ПРИ СТАТИКО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Кокорева О.Г.¹, Фадеев Ф.О.² (Российская Федерация)

¹Кокорева Ольга Григорьевна – доцент, кандидат технических наук,
кафедра портовых подъемно-транспортных машин и робототехники;

²Фадеев Филипп Олегович – студент,
факультет эксплуатации инфраструктуры водного транспорта,
Московская государственная академия водного транспорта,
г. Москва

Аннотация: в данной работе представлено рассмотрение контактной задачи при воздействии инструмента на поверхность образца в процессе статико-импульсной обработки (СИО). Проведен анализ характера взаимодействия инструмента с поверхностью с точки зрения силовых и геометрических параметров. Дана оценка зависимости напряженного состояния от энергетических характеристик упругопластического контакта и процесса формирования поверхностного слоя. Предоставлено обоснование расчетов упрочнения с точки зрения процессов, протекающих в поверхностном слое при СИО. Установлена взаимосвязь эксплуатационных характеристик поверхностного слоя упрочненных образцов и количественной оценки энергетических составляющих при СИО.

Ключевые слова: статико-импульсная обработка, упрочнение поверхности, напряженное состояние; индентор, энергетические характеристики, контактная задача, поверхностная пластическая деформация, механические характеристики, поверхностный слой, очаг деформации.

СИО разделяется на два этапа:

- 1) статическое воздействие на индентор;
- 2) динамическое воздействие.

Рассмотрим особенности динамического воздействия индентора на поверхности образца при СИО.

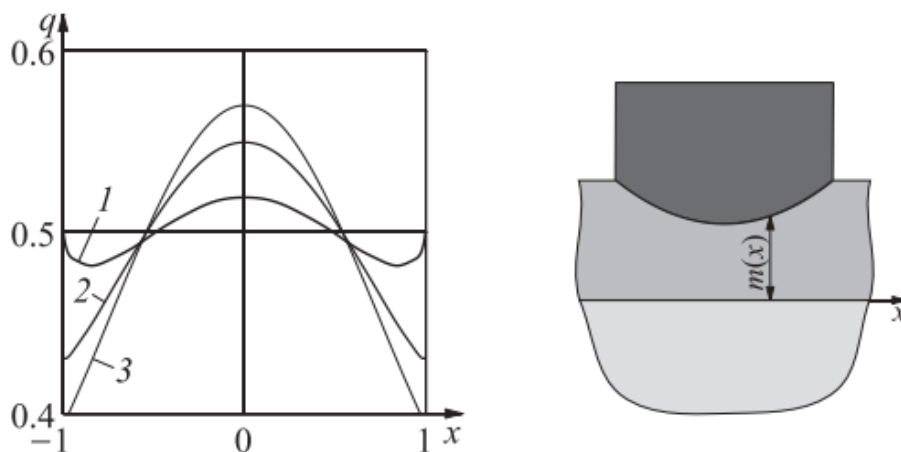


Рис. 1. Распределение нагрузки для толщины слоя $m(x) = 0,7 + 0,4x^2$

Представим функцию $m(x)$ как:

$$m(x) = 0,7 + 0,4x^2,$$

т.е. толщина слоя по краям больше толщины слоя в центре. Максимум распределения контактных напряжений изменит свое положение и будет находиться не по краям, а в центре, причем график будет иметь вид синусоиды, трансформирующейся в выгнутую вверх параболу [3].

Если начальное касание тел индентора и обрабатываемой детали осуществляется в одной точке и если расстояние Z между телами в окрестностях этой точки может быть выражено уравнением второго порядка, то контактная сила P в зависимости от сближения a определяется:

$$P = k\sqrt{a} \quad (1)$$

где k - коэффициент, зависящий от кривизны поверхности тел вблизи точки контакта и от свойств материала. Значение k для различных случаев приведено в справочных материалах.

И.Я. Штаерманом получено решение контактной задачи для того случая, когда расстояние Z между телами, сведенными до соприкосновения с удаленными от точки первоначального контакта, растет пропорционально расстоянию a в степени $2n$ до этой точки.

$$\text{Если } Z = Ar^{2n} \quad (2)$$

то сила P , соответствующая сближению тел a , вычисляется по формуле:

$$P = ka^{\frac{2n+1}{2n}} \quad (3)$$

$$\text{где } k = \frac{2n}{2n+1} \times \frac{E}{1-\mu^2} \times \sqrt[2n]{\frac{1 \times 3 \times 5 \dots (2n-1)}{2 \times 4 \times 6 \dots 2n}} \quad (4)$$

Характер контакта между телами при различных значениях n представлен на рис. 2, из которого видно, что чем выше значение n , тем плотнее начальное касание между телами.

Из приведенных соотношений видно, что сближение тел a , обусловлено их местным упругим смятием, всегда нелинейно и связано с величиной контактной силы P .

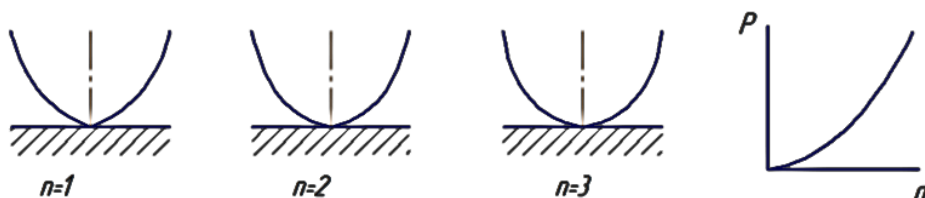


Рис. 2. Характер контакта между телами при различных значениях n

Зависимость P от a является «жесткой», т.е. производная $\frac{dP}{da}$ возрастает с увеличением a (рис.2), причем начальное значение этой производной равно нулю. Только при очень плотном касании ($n \rightarrow \infty$) зависимость между P и a приближается к линейной [2].

Практически поверхности контактирующих тел в зоне контакта имеют обычно либо сферическую форму, либо представляют собой более или менее хорошо пригнанные плоскости.

Первый случай соответствует зависимости контактной силы от местного смятия по формуле (1), а второй случай соответствует весьма полному касанию, при котором эта зависимость может приближенно считаться линейной:

$$P = k_m a \quad (5)$$

При сферической форме поверхности контакта коэффициент k_v в уравнении (1) определяется по формулам Герца; при плотном касании коэффициент весьма мал по сравнению с коэффициентом статической податливости самой контактируемой системы.

В качестве основной гипотезы при учете местных деформаций при СИО принимается, что связь между контактным давлением и местным смятием при ударе такая же, как и в статических условиях, т.е. определяется формулами (1), (2) или (3) в зависимости от геометрии соударяющихся тел.

На основе этой гипотезы можно построить теорию соударения массивных свободно движущихся тел, общими деформациями которых пренебрегают по сравнению с местными.

Решение контактной задачи при взаимодействии инструмента с поверхностью детали в результате СИО сводится к исследованию основных параметров очага деформации, представленного в виде эллипсоида давления, данная задача решается аналитически на основе теории упругости. Поверхностное пластическое деформирование оказывает преобладающее влияние на формирование механических и эксплуатационных характеристик поверхностного слоя, степень которых зависит от изменения энергетического состояния этого слоя при СИО. Важно знать распределение энергии удара, величина которой позволит оценить характеристики упруго-пластического контакта и процесс формирования поверхностного слоя. При этом дается обоснование режимов упрочнения с точки зрения процессов, протекающих в поверхностном слое металла, то есть результат упрочнения будет зависеть от свойств материала, формы ударного импульса, размеров инструмента и энергии удара.

Определение соотношения указанных составляющих от суммарной работы при СИО представлено в таблице 1.

Таблица 1. Формулы составляющих работ

Составляющие работ	Формула для определения	Обозначение параметров	Величина работ (Дж)	Процент от общей работы
Пластическая	$A_{пл} = \frac{a^2 H}{4\theta K} \times \sqrt{\frac{2\sigma_T(K-D)}{EK}}$	$a=0,2\text{см}$ $H=0,03\text{см}$ $\theta=10^{-7}\text{кг/см}^2$ $D=2,8$ $\sigma=3600\text{кг/см}^2$ $K=3,7$ $E=2,1 \times 10^6\text{кг/см}^2$	55	35%
Упругая	$A_{упр} = \frac{\pi^2 P_0 a_1^2 b_1 W_0 K}{4mH_1}$	$P_0=30\text{кН}$ $m=H/a=0,0175\text{см}$ $W=0,1\text{см}$ $b=0,4\text{см}$	45	30%
Трения	$A_{тр} = JfP_0 \frac{K^2 a^2 b^2}{HD(K-D)}$	$J=0,002$ $F=0,3$	20	15%
Тепловая	$A_{тепл} = \frac{mV^2}{2} \times (1 - K_{уд}^2) \times q$	$m=6\text{кг}$ $V=7\text{м/с}$ $K_{уд}=0,987$ $Q=10\text{Дж/мм}$	7..8	5%
Волновая	$A_{волн} = \rho \times c \times V \times h \times S$	$c=5200\text{м/с}$ $V=8,9 \times 10^6\text{м/с}$ $S=0,00157\text{м}^2$ $h=0,3\text{м}$ $\rho=7600\text{Н/м}^3$	7..8	5%
Статическая	$A_{ст} = F_{ст} \times h$	$F_{ст}=30\text{кН}$ $H=0,5\text{мм}$	15	10%

Суммарная работа при упрочнении СИО определяется следующим образом:

$$A = A_{пл} + A_{упр} + A_{тр} + A_{тепл} + A_{волн} + A_{ст} \quad (6)$$

$A_{пл}$ – пластическая составляющая; $A_{упр}$ – упругая составляющая; $A_{тр}$ – составляющая трения; $A_{тепл}$ – тепловая составляющая; $A_{волн}$ – волновая составляющая; $A_{ст}$ – статическая составляющая [1].

Заключение: Таким образом, количественная оценка каждой составляющей работы позволяет определить эксплуатационные характеристики поверхностного слоя упрочненных образцов.

Список литературы / References

1. Райнхарт Д.Ж., Пирсон Д.Ж. Поведение металлов при импульсных нагрузках. М.: Иностранная литература, 1958 296 с.

2. Лазуткин А.Г., Киричек А.В., Лазуткин С.И., Соловьев Д.Л., Кокорева О.Г. Упрочнение статико-импульсной обработкой // Новые материалы и технологии в машиностроении и приборостроении. Пенза, 1996. С. 26-31.
3. Казаков К.Е. Контактные задачи деформирования и износа упругих и вязкоупругих тел со сложными свойствами и формой поверхности.: Дисс. канд. физ-мат. наук. Москва, 2007. 128 с.