DOI: 10.17117/na.2016.12.02.040

<http://ucom.ru/doc/na.2016.12.02.040.pdf>

Поступила (Received): 25.12.2016

Гоголева Е.А. Решение контактной задачи при статико-импульсной обработке тяжело нагруженных поверхностей деталей машин

**Gogoleva E.A.
Solution of the contact problem under the static-pulse treatment of highly loaded surfaces of machine parts**

Представлено решение контактной задачи при взаимодействии инструмента с поверхностью детали в результате статико-импульсной обработки (СИО). Проведен анализ характера контакта инструмента с поверхностью с точки зрения силовых и геометрических параметров. Дана оценка напряженного состояния в зависимости 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, энергетические характеристики

Гоголева Е.А.

Бакалавр

Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

г. Владимир, ул. Горького, 87

Presents the solution of the contact problem in the interaction of the tool with the surface of the part in the result of the static – pulse treatment (CIO). The analysis of the nature of the contact of the tool with the surface from the point of view of power and geometrical parameters. The estimation of the stress state depending on the energy characteristics of elastic-plastic contact and the process of formation of the surface layer. Provided the rationale for the calculations of the hardening from the point of view of the processes occurring in the surface layer at SIO. Installed the relationship of the operational characteristics of the surface layer hardened samples and quantification of constituents at SIO

Key words: static-pulse obrabotka, surface hardening, stress state, energy characteristics

Gogoleva E.A.

Bachelor

Vladimir state university named Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletovs

Vladimir, Gorkogo st., 87

Рассмотрим процесс динамического взаимодействия индентора и поверхности детали при статико-импульсной обработке.

Если начальное касание тел индентора и обрабатываемой детали осуществляется в одной точке и если расстояние z между телами в окрестностях

этой точки может быть аппроксимировано уравнением второго порядка, то контактная сила P в зависимости от сближения, а определяется:

$$P = ka^{1/2} \quad (1)$$

где k – коэффициент, зависящий от кривизны поверхности тел вблизи точки контакта и от свойств материала.

Значения k для различных случаев приведены 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 не квадрату, а более высокой степени расстояния r до этой точки.

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

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

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

где

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

Характер контакта между телами при различных значениях n представлен на рис. 1, 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. 1

рис. 2

Заменяемость P от a является «жесткой», т.е. производная $\frac{dP}{da}$ возрастает с увеличением a (рис2.), причем начальное значение этой производной равно нулю.

Только при очень плотном касании ($n \rightarrow \infty$) зависимость между P и a приближается к линейной.

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 в уравнении (1) определяются 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 статико-импульсной обработке (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 статико-импульсивной обработки (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 статико-импульсной обработке. Важно знать распределение энергии удара, величина которой позволит оценить характеристики упругопластического 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

Составляющие работ	Формула для определения	Обозначение Параметров	Величина Работ (Дж)	Процент от общей работы
Пластическая	$A_{пл} = \frac{a^2 H}{4\theta K} \sqrt{\frac{2\sigma_T(K-D)}{EK}}$	a=0,2 см H=0,03 см $\theta=10^{-7}$ кг/см ² D=2,8 $\sigma=3600$ кг/см ² K=3,7 E=2,1*10 ⁶ 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 =30кН m=H/a=0,0175 см W ₀ =0,1см b=0,4 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	$A_{тепл} = \frac{mV^2}{2} (1 - K_{уд}^2) * q$	m=6кг V=7м/с K _{уд} =0,987 q=10 Дж/мм	7..8	5%
Волновая	$A_{волн} = \rho * c * V * h * S$	c=5200м/с V=8,9*10 ⁶ м/с S=0,00157 м ² h=0,3м $\rho=7600$ Н/м ³	7..8	5%
Статическая	$A_{ст} = F_{ст} * h$	F _{ст} =30кН h=0,5мм	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.

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

Список используемых источников:

1. Путря Н.Н. Эксплуатационные свойства крестовин Труды ЦНИИ МПС. вып. 431 ВНИИЖТ // Совершенствование конструкций, параметров и качества стрелочных переводов. М.: Транспорт, 1971.
2. Райнхарт Д.Ж., Пирсон Д.Ж. Поведение металлов при импульсных нагрузках. М.: Иностранная литература, 1958. 296 с.
3. Рыковский Б.П., Смирнов В.А., Щетинин Г.М. Местное упрочнение деталей поверхности наклепом. М.: Машиностроение, 1988. 232 с.
4. 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.

© 2016, Гоголева Е.А.

Решение контактной задачи при статико-импульсной обработке тяжело нагруженных поверхностей деталей машин

© 2016, Gogoleva E.A.

Solution of the contact problem under the static-pulse treatment of highly loaded surfaces of machine parts