

USE OF ELASTIC WAVE REFLECTION MECHANISM FOR DETERMINING CONTACT STRESSES IN SHROUDED TOOLS

M. Mikhovski^{1*}

¹*V.A. Belyi Metal Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus, 4 Akad. G. Boncheva st., Sofiya, Republic of Belarus.*

*Corresponding author. E-mail: nntdd@abv.bg ; address for correspondence: ul. Akad. G. Boncheva 4, 000000, Sofiya, Republic of Belarus. Tel.: +35929797120.

The paper presents an ultrasonic method for determining the acting mechanical stresses in the matrix-band contact layer in the shrouded tools for pressing. It also deals with a physical model based on the theory of wave propagation in porous laminated structures. The results of monitoring the shrouded tools are presented.

Key words: shrouded tools, ultrasonic waves, contact stresses.

References

1. Kortenski Kh., Marinov M., Mikhovski M., Pushev G., Manolova V. *Method for determining contact stresses in shrouded tools*, inventor's certificate 26905 MPK 601N29/04.
2. Marinov M., Petkanchin L., Pushev G., Kostov G., Mikhovski M., Manolova V.. *Device for determining contact stresses in shrouded tools*, inventor's certificate 37491 MPK 601N29/04.
3. Trenie, iznashivanie i smazka. Kn.2 (Friction, Wear & Lubrication. Vol 2). Ed.: I.V. Kragelskii, V.V. Alisin. Moscow, Mashinostrenie Publ., 1979. 358 p. (In Russian).
4. Demkin N.V. *Kontaktirovanie scherokhovatykh poverkhnostei (Contact of Rough Surfaces)*. Moscow, Nauka Publ., 1970, 226 p. (In Russian).
5. Mikhovski M. Investigation of possibility for non-destructive testing the iron-based powder materials. Ph. D. diss., Taganrog, 1973.
6. Brekhovskikh L.M. *Volny v sloistykh sredakh (Waves in Stratified Medium)*. Moscow, AN SSSR Publ., 1957. 343 p. (In Russian).

УДК 620.179.16:53.082.4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ОТРАЖЕНИЯ УПРУГИХ ВОЛН ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В БАНДАЖИРОВАННЫХ ИНСТРУМЕНТАХ

М. Миховски^{1*}

¹ Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого Национальной академии наук Беларуси», София, ул. акад. Г. Бончева, бл. 4, Болгария

*Ответственный автор. Электронная почта: nntdd@abv.bg; адрес для переписки: ул. акад. Г. Бончева, 4, София, Республика Болгария. Телефон: +35929797120.

В работе представлены ультразвуковой метод определения действующих механических напряжений в контактном слое матрица-бандаж в бандажированных инструментах для прессования и физическая модель метода, разработанного на основе теории распространения упругих волн в слоистых структурах. Приведены результаты контроля бандажированных инструментов.

Ключевые слова: бандажированные инструменты, упругие волны, контактные напряжения.

1. Введение

Надежность инструмента для обработки металлов и сплавов пластическим деформированием зависит от изнашивания и разрушения пуансонов и матриц. Износостойкость инструмента определяется использованной сталью, технологической смазкой, шероховатостью поверхностей и температурой в рабочей зоне. Разрушение инструмента связано прежде всего с величиной и характером распределения механических напряжений. В бандажированных инструментах для пластической деформации разрушение пуансона наблюдается редко. Обычно в матрицах возникают трещины, ориентированные в продольном и в поперечном направлениях. Путем применения бандажирования матрицы можно оптимизировать уровень механических напряжений и обеспечить долговечную и эффективную работу инструмента.

Существуют различные методы определения механических напряжений в контактном слое между матрицей и бандажом. Большое практическое применение имеет ультразвуковой метод исследования контактного взаимодействия. В этом методе используется зависимость параметров (прежде всего затухания и скорости) ультразвуковой волны, которая отражается от контактного слоя, от акустических характеристик этого слоя. В [1, 2] описаны ультразвуковой метод и аппаратура для неразрушающего контроля действующих контактных напряжений в инструментах, предназначенных для холодного деформирования. Информативным параметром является амплитуда сигнала, отраженного от контактного слоя.

2. Акустическая модель метода

Акустическая модель для описания явлений, происходящих в контактной зоне при нагружении плоскопараллельных пластин, разработана с учетом трибологических явлений [3, 4], особенностей распространения упругих волн в пористых материалах [5] и теории распространения упругих волн в слоистых средах [6].

На плоскую границу двух однородных изотропных сред с одинаковыми акустическими свойствами падает продольная упругая волна. Шероховатость поверхностей контактирующих сред приводит к образованию контактной зоны, размер которой

значительно меньше размеров соприкасающихся сред и длины волны. Из-за наличия контактной зоны происходит частичное отражение и прохождение упругой волны во вторую среду. Амплитуды падающих и отраженных упругих волн обозначены соответственно A и A_0 , причем $A_0 = AR$, R – коэффициент отражения слоя.

При исследовании контактных явлений в трех пластинах, подвергнутых механическому деформированию, информационными сигналами являются:

$$\begin{aligned} A_0 &= AR_{1,2}; \\ A_{00} &= AD_{1,2}D_{2,1}R_{2,3}, \end{aligned} \tag{1}$$

где $R_{i,k}$ – коэффициент отражения от контактного слоя между пластинами i и k , $D_{1,2}$, $D_{2,1}$ – коэффициенты прохождения ультразвуковых волн на границах 1 и 2, 2 и 1 пластин. При отсутствии контактного слоя считается, что $R = 1$ и $A = A_0$. A_{00} – амплитуда отраженного сигнала на границе 2–3, $R_{2,3}$ – коэффициент отражения на границе 2–3.

Согласно [6], для случая нормального падения упругой волны на слой зависимость амплитудного коэффициента отражения R от слоя описывается следующим выражением:

$$R^2 = \frac{(m^2 - 1)^2}{4m^2 \operatorname{ctg} 2\pi \delta_x f / c_x + (m^2 + 1)^2}, \tag{2}$$

где $m = z_x/z$; $z_x = \rho_x c_x$; $z = \rho c$ – акустические сопротивления; ρ_x , ρ , c_x , c – плотности и скорости распространения упругих продольных волн в контактном слое и в прилегающих средах; f – частота упругой волны; δ_x – толщина контактного слоя.

Слой между средами 1 и 2 рассматривается как пористая среда, состоящая из статистической совокупности упругих частиц. Если со стороны прилегающих сред на граничный слой действует равномерно распределенная сила P , изменяющаяся от нуля до заданного значения P_k , то происходит изменение акустических характеристик слоя, равномерное по всей его протяженности. Величина силы P_k всегда может быть выбрана так, что акустические параметры прилегающих сред будут оставаться постоянными при действии силы $P < P_k$. Передача давления через граничный слой реализуется через множество единичных контактов дискретных частиц слоя, причем давление в этих точках контакта значительно превышает величину среднего давления на контактный слой. Согласно современным представлениям о деформировании нагруженного контактного слоя в условиях трения покоя [3, 4] его уплотнение проходит в три стадии: уплотнение из-за скольжения и деформирования крупных неровностей, уплотнение за счет деформирования приконтактных областей и уплотнение при деформировании больших объемов слоя. В слое действуют контактные напряжения $\sigma = P/s$, где s – площадь контактирующих пластин.

Слой характеризуется толщиной (δ), пористостью (p), плотностью (ρ) и скоростью распространения продольных упругих волн (c). Индексы 0 и x соответствуют характеристикам ненагруженного слоя и для слоя с приложенной нагрузкой P соответственно. Для пористых сред зависимости между акустическими характеристиками можно выразить следующим образом:

$$\begin{aligned} c_x &= c/(1 - ap_x), & c_0 &= c/(1 - ap_0), \\ \rho_x &= \rho/(1 - p_x), & \rho_0 &= \rho/(1 - p_0), \end{aligned} \tag{3}$$

где a – постоянная величина, определяемая экспериментально. Исследование изменения геометрических характеристик контакта двух шероховатых сред в условиях нагружения показывает, что толщина слоя изменяется по закону [3, 4]:

$$\delta_x = \delta_0 [1 - F(P)]. \quad (4)$$

Функциональные зависимости $F(P)$ получены экспериментально для случаев контакта двух сред с различной шероховатостью и волнистостью, для сред с различными механическими характеристиками в условиях упругого и пластического деформирования при однократном и многократном нагружении. Следовательно, эта функция известна, если имеются данные о механических характеристиках прилегающих сред, микрогеометрии контактирующих поверхностей и режимах нагружения. Толщина слоя δ_0 определяется исходя из соображений [3, 4] для различных случаев контактного взаимодействия.

В процессе деформирования контактного слоя изменяются толщина и пористость слоя, а его масса сохраняется. Следовательно, для контактного слоя может быть записано следующее равенство:

$$\rho_x \delta_x = \rho_0 \delta_0. \quad (5)$$

После подстановки (3) и (4) в (2) зависимости пористости, плотности и скорости распространения упругих волн в слое от приложенной нагрузки принимают вид:

$$\rho_x = \rho A/B, \quad p_x = 1 - A/B, \quad c_x = cB/M, \quad (6)$$

$$A = 1 - p_0, \quad B = 1 - F(P), \quad M = B(1 - a) + aA.$$

Амплитудный коэффициент отражения упругих волн от контактного слоя, с учетом сделанных преобразований, определяется по формуле:

$$R^2 = \frac{(A^2 - M^2)^2}{4A^2M^2 \operatorname{ctg} 2\pi \delta M / c + (A^2 + M^2)^2}. \quad (7)$$

На рис. 1 представлена часть результатов расчетов изменения коэффициента отражения упругих волн ΔR для случая пластического деформирования контактных областей в условиях однократного нагружения. Кривые даны для различных частот (3, 6 и 12 МГц) упругих волн, для различных степеней шероховатости контактирующих поверхностей и толщин контактного слоя δ и пористости при условии, что шероховатость контактирующих поверхностей одинакова.

На рис. 2 представлена расчетная зависимость $\Delta R = F(\sigma)$ для случая однократного нагружения плоскопараллельных пластин из стали 40X и X12M твердостью 40 – 50 HRC. Расчеты сделаны для частоты ультразвукового сигнала 12 МГц, $\delta_0 = 9,4$ мкм и $p_0 = 0,55$. Точками обозначены результаты эксперимента определения ΔR при нагружении пяти пар пластин. Различие экспериментальных и расчетных данных не превышает 0,2 дБ.

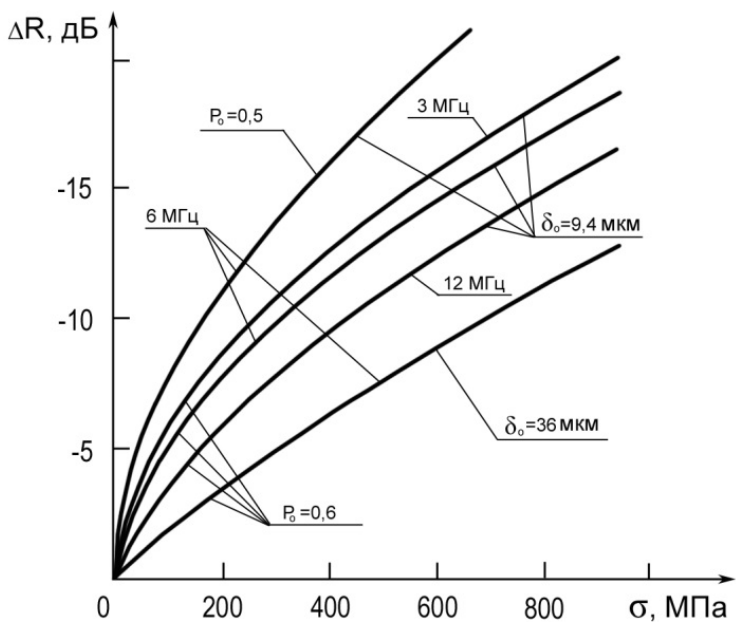


Рис. 1. Изменение коэффициента отражения ΔR при нагрузке пластин в зависимости от частоты f , толщины слоя δ и пористости p

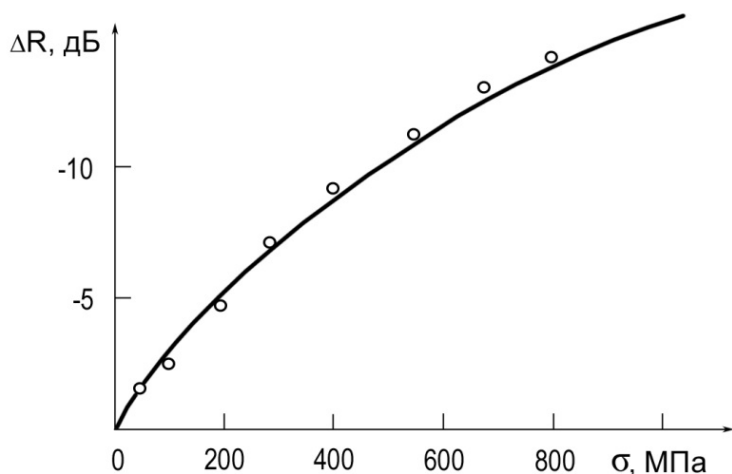


Рис. 2. Калибровочная кривая $\Delta R = F(\sigma)$ для контактного слоя стали X12M и стали 40X

Анализ полученных результатов показывает хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных, что дает основание использовать принятую акустическую модель в экспериментах, связанных с получением калибровочных зависимостей для определения действующих контактных напряжений в инструментах для холодной объемной деформации.

Исходя из полученных результатов можно рекомендовать оптимизацию выбора рабочих частот с целью увеличения чувствительности ультразвукового неразрушающего метода определения контактных напряжений.

3. Аппаратура. Методика. Результаты

На рис. 3 представлена блок-схема разработанной специализированной аппаратуры контроля бандажированных инструментов для изготовления болтов. Она включает ультразвуковой дефектоскоп (1) с ультразвуковым преобразователем (2), электродвигатель (3), синхронизатор работы электродвигателя (4) и регистрирующее устройство (5).

Контролируемый инструмент закрепляется на направляющих в стойке. Аппаратура обеспечивает вращательное движение инструмента и поступательное движение ультразвукового преобразователя. С целью повышения точности измерения параметров отраженного от контактного слоя ультразвукового сигнала реализован щелевой контакт в локальной иммерсионной ванне между преобразователем и объектом контроля. Специальная схема регистрации обеспечивает измерение амплитуды сигнала с погрешностью не более 0,005 мВ. Управление механизмом измерительного стенда, регистрация измеряемых параметров и определение контактных давлений по заранее вводимым калибровочным зависимостям для контролируемых одно- и двухбандажных инструментов осуществляются с помощью персонального компьютера.

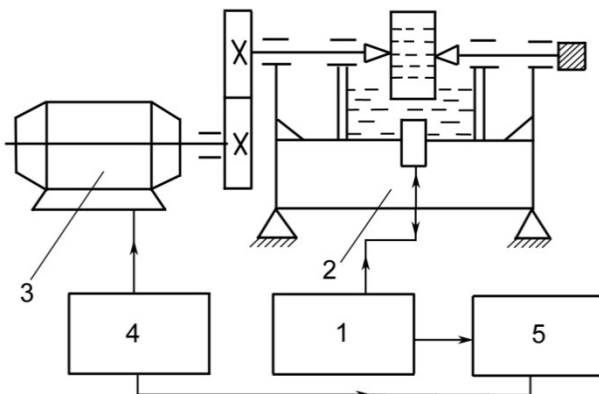


Рис. 3. Блок-схема установки контроля бандажированных инструментов для изготовления болтов:

1 – ультразвуковой дефектоскоп, 2 – ультразвуковой преобразователь, 3 – электродвигатель, 4 – синхронизатор работы электродвигателя, 5 – регистрирующее устройство

На рис. 4 и 5 представлены результаты распределения контактных механических напряжений одно- и двухбандажного инструмента соответственно. Обозначения σ_{b-b} и σ_{b-m} относятся для распределения напряжений на границах бандаж–бандаж и бандаж–матрица соответственно.

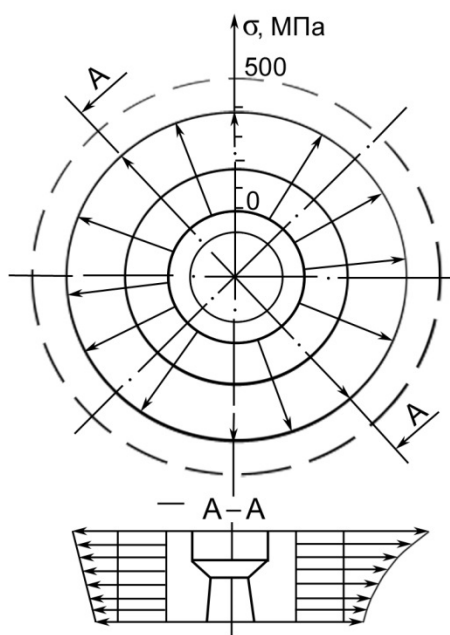


Рис. 4. Распределение контактных механических напряжений в однобандажном инструменте

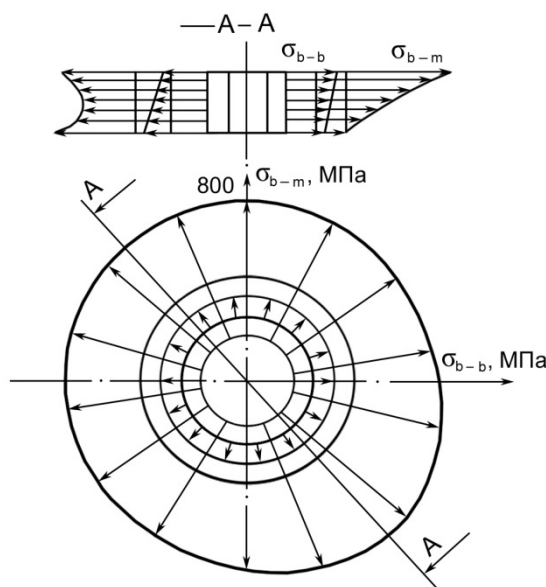


Рис. 5. Распределение контактных механических напряжений в двухбандажном инструменте: σ_{b-b} – для распределения напряжений на границах бандаж–бандаж, σ_{b-m} – для распределения напряжений на границах бандаж–матрица

4. Заключение

Разработанная методика и аппаратура защищены патентами и внедрены на специализированных заводах в Болгарии, России и Венгрии. Ультразвуковая аппаратура была отмечена золотой медалью на ярмарке в Лейпциге.

Литература

1. Кортенски Х., Маринов М., Миховски М., Пушев Г., Манолова В. Метод для определения контактного напряжения в бандажированных инструментах: а.с. 26905. № МПК 601 N29/04.
2. Маринов М., Петканчин Л., Пушев Г., Костов Г., Миховски М., Манолова В., Устройство для определения контактных напряжений в бандажированных инструментах: а.с. 37491 МПК 601 N29/04.
3. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. В 2 кн. / Под ред. И. В. Крагельского, В. В. Алисина. – М.: Машиностроение, 1978 – 1979.
4. Демкин Н. Б. Контактное взаимодействие шероховатых поверхностей. – М.: Наука, 1970. – 226 с.
5. Миховски М. Исследование возможности неразрушающего контроля порошковых металлургических материалов на основе железа: дис. канд. техн. наук. – Таганрог: ТРТИ, Таганрог, 1973.
6. Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах. – М.: АН СССР, 1957. – 343 с.