

*к.т.н., доц. Ершов В.М.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## **О ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТЕНЗОМЕТРИИ**

*Вироблене зіставлення результатів вимірювання напруг рентгєнівським і механічним методами при одноосному розтягуванні тонкого зразка в спеціальній приставці дифрактометра.*

*Показано цілком задовільний збіг результатів тензометрії вищє-названими методами.*

### **Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.**

Рентгеновский метод измерения остаточных напряжений в металлических заготовках и изделиях находит широкое применение в машиностроительной практике [1]. Однако и по настоящее время ведутся постоянные дискуссии о достоверности результатов рентгеновской тензометрии металлических изделий.

Проблема состоит в том, что часто на практике приходится сопоставлять значения остаточных напряжений, измеренных различными методами, например, механическими и рентгеновскими. Давно было замечено [2], что значения напряжений, измеренных рентгеновским методом, оказывались заниженными по сравнению с результатами механической тензометрии.

В настоящей работе поставлена задача сопоставления результатов рентгеновской тензометрии с уже известными напряжениями, полученными за счет одноосного растяжения тонкого образца в специальной приставке рентгеновского дифрактометра.

### **Анализ исследований и публикаций.**

Рентгеновский метод измерения упругих напряжений в металлических материалах основан на анализе смещения дифракционных линий под действием изменяющихся межплоскостных расстояний в кристаллической решетке [3]. Поэтому точность измерения напряжений зависит от целого ряда факторов, среди которых наиболее важным является модуль упругости материала. При механических измерениях напряжений, исследователи пользуются усредненными значениями упругих констант материала, а в рентгеновском методе приходится учитывать анизотропию модуля упругости, так как под действием напряжений изменение межплоскостных расстояний зависит от направления в кристаллической решетке [4].

Для учета анизотропии модуля упругости, в рентгеновском методе тензометрии приходится рассчитывать значения модуля упругости для тех кристаллографических направлений, по которым ведется регистрация дифракционных линий.

#### **Постановка задачи.**

Задачей настоящего исследования является сопоставление экспериментальных данных рентгеновской тензометрии с известными значениями напряжений в металлическом образце.

#### **Изложение материала и его результаты.**

Для рентгеновской тензометрии использовали дифрактометр ДРОН-1.5 с железным фильтрованным излучением трубки БСВ-8. Дифрактограммы образцов исследуемых материалов записывали на ленте потенциометра ЭПП-09 при малой скорости движения счетчика квантов (1 угловой градус в минуту).

В качестве исследуемых материалов были выбраны углеродистые и легированные стали с ОЦК решеткой: сталь 10, сталь У8 и сталь 03Н18К9М5Т. Для испытания материала с ГЦК- решеткой применили образцы из поликристаллического никеля.

Тонкие образцы (0.3-0.4 мм) испытуемых материалов подвергали одноосному растяжению на специально сконструированной автором приставке дифрактометра. Схема приставки приведена на рисунке 1.

Основной частью приставки является динамометр в жесткой массивной раме 1, которая крепится на специальном столике 2 винтами 3. Стол с рамой устанавливается в аксиальном гнезде гониометра ГУР-5 и закрепляется специальными винтами. В опорном основании рамы имеются пазы для юстировки приставки по оси рентгеновского пучка общепринятым методом.

Плоский образец 4 укрепляется в захватах 5 и 6 с помощью пластин и болтов 7. Нагрузка от пружины 8, сжимаемой натяжным винтом 9, передается на подвижный захват 5. Для уменьшения силы трения между головкой винта 9 и пружиной 8, стоит упорный подшипник 10.

Тарированная пружина 8 позволяет нагружать образец силой до 120 кг. Величина нагрузки замеряется по сжатию пружины с помощью линейки, укрепленной на раме 1 и подвижного нониуса со значением делений в 0.1 мм.

Все образцы исследуемых материалов перед испытанием проходили термическую обработку, которая включала в себя закалку и средний отпуск (стали 10 и У8) или закалку и старение (сталь 03Н18К9М5Т). Никелевые образцы упрочняли холодной пластической деформацией (прокаткой).

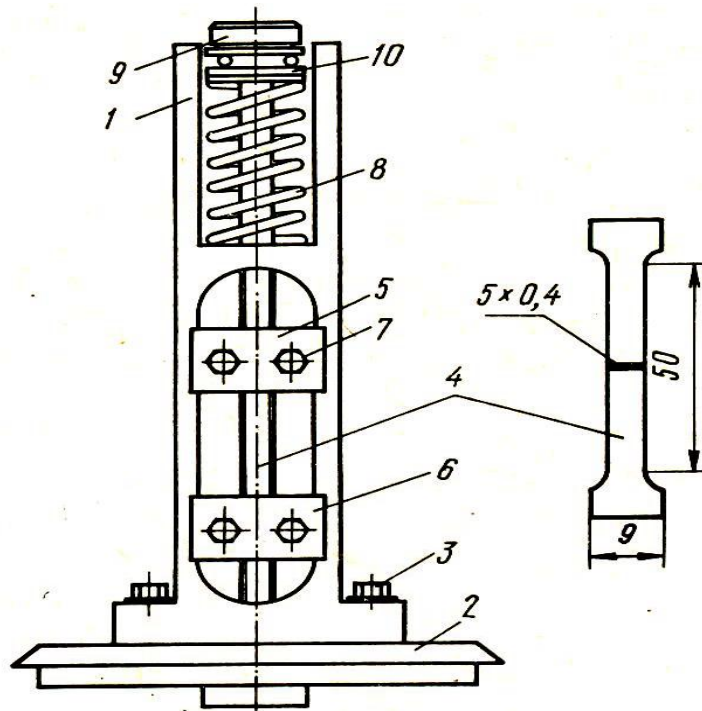


Рисунок 1.- Схема приставки к дифрактометру для изучения процесса деформации плоского образца.

Методика проведения испытания состояла в следующем. Приставку-динамометр устанавливали и юстировали на гониометре дифрактометра. Затем в захваты приставки устанавливали образец, а на его поверхность наносили тонкий слой эталонного вещества (никель, медь). Эталонное вещество давало возможность учесть возможное смещение поверхности образца при его нагружении.

Для рентгеновского измерения напряжений в образце использовали запись дифракционных линий под большими брэгговскими углами (65-75 градусов). Для сталей записывали дифракционную линию (220), а для никеля – (311) и (222) $K_{\alpha}$ . Величину угла отражения рентгеновского луча от атомных плоскостей образца находили по положению центра тяжести фигуры дифракционной линии. По смещению дифракционных линий нагруженного образца по отношению к положению линии ненагруженного его состояния, рассчитывали напряжения по формуле:

$$\sigma_p = E / \mu \cdot \text{ctg } \nu \cdot \Delta \nu ,$$

где  $E$  – нормальный модуль упругости;  $\mu$  - коэффициент Пуассона;  $\nu$ - угол отражения луча;  $\Delta \nu$  – величина углового смещения дифракционной линии, вызванная напряжениями.

Исходя из возможной погрешности в оценке угла отражения дифракционной линии ( 1 угловая минута), точность оценки напряжений была не хуже  $\pm 10$  МПа.

На рисунке 2 приведены результаты измерения напряжений в тонком образце исследуемых материалов при нагружении в приставке.

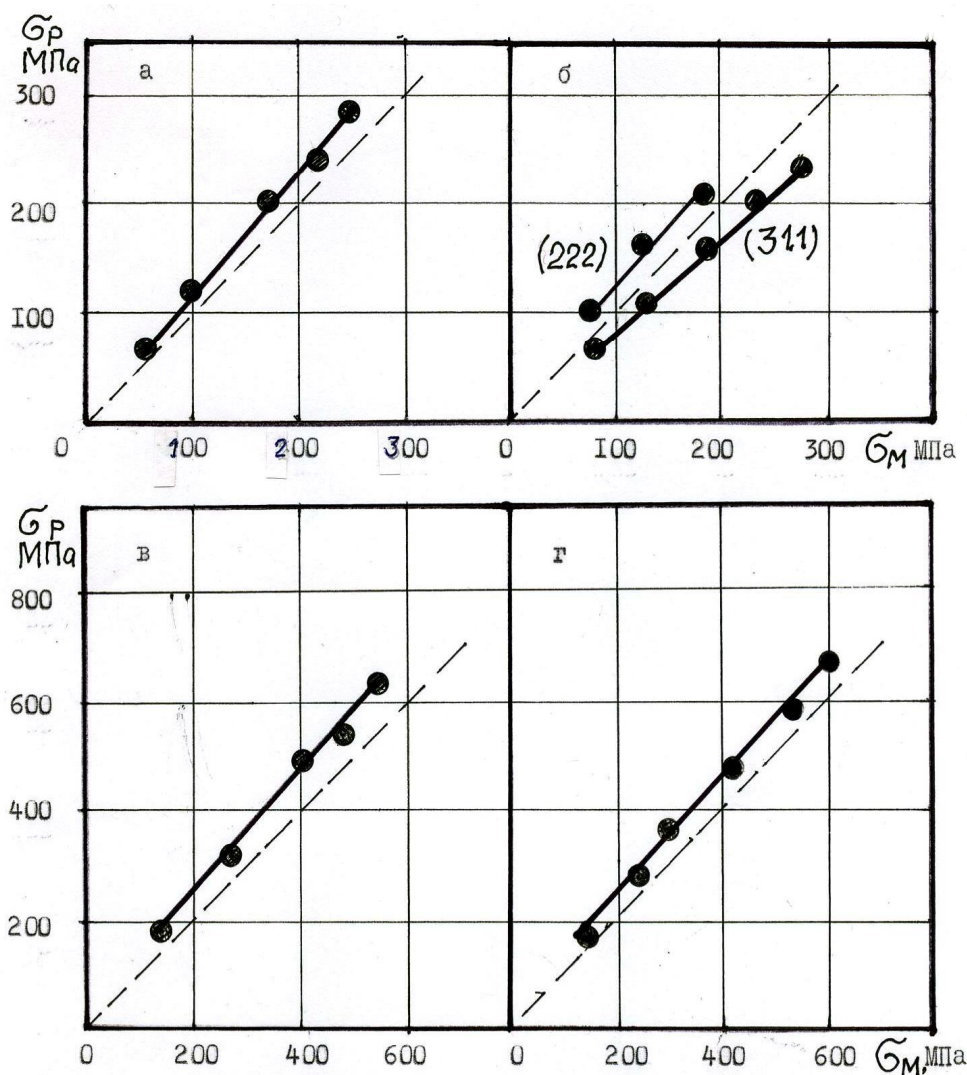


Рисунок 2. – Соотношение между напряжениями, созданными растяжением образца в приставке дифрактометра ( $\sigma_M$ ) и напряжениями, измеренными рентгеновским методом ( $\sigma_p$ ), для образцов из стали 10 (а), никеля (б), стали У8 (в) и стали 03Н18К9М5Т (г)

Здесь видно, что напряжения, измеренные рентгеновским методом, оказались несколько выше реальных значений, определенных механической нагрузкой на образцы (линия напряжений выше пунктирной линии соответствия). Как для углеродистых, так и для легированной стали, значения напряжений оказались на 10-15% выше реальных (рис. 2 а, в, г).

Причиной завышенных значений напряжений, измеренных рентгеновским методом, в первую очередь следует считать анизотропию

модуля упругости. Действительно, напряжения для никелевого образца, рассчитанные по двум различным дифракционным линиям, оказались по обе стороны от пунктирной линии соответствия сравниваемых методов (рис. 2 б). Поэтому, в рентгеновском методе расчета напряжений нужно использовать не усредненный модуль упругости, а модуль, вычисленный по упругим коэффициентам для заданного кристаллографического направления [5].

Второй причиной завышенных рентгеновских данных по напряжениям может быть то обстоятельство, что в условиях рентгеновской съемки на дифрактометре с фокусировкой по Брэггу-Брентано, дифракционные линии дают только те кристаллы, у которых отражающие плоскости параллельны поверхности образца. Другие же кристаллы, с отличной ориентировкой, могут создавать плосконапряженное состояние в образце, поэтому считается, что данным рентгеновским методом возможно измерение только суммы главных напряжений ( $\sigma_1 + \sigma_2$ ), а для определения составляющих этой суммы нужно применять метод  $\sin^2\varphi$ .

#### **Выводы и направления дальнейших исследований.**

В результате выполненных экспериментов было установлено, что рентгеновский метод тензометрии обладает способностью давать достоверные значения напряжений в металлических материалах и разница со значениями напряжений, измеренных механическими методами, не может превосходить 10-15%.

Применительно к возможностям дифрактометрической приставки, целесообразно произвести разделение главных напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ , используя метод  $\sin^2\varphi$ .

*Произведено сопоставление результатов измерения напряжений рентгеновским и механическим методами при одноосном растяжении тонкого образца в специальной приставке дифрактометра.*

*Показано вполне удовлетворительное совпадение результатов тензометрии вышеназванными методами.*

*Comparison of results of measuring of tensions by x-ray photography and mechanical methods at odnoosnom tension of thin standard in the special prefix of dyfraktometra is produced.*

*The fully satisfactory coincidence of results is shown tenzometryy afore-named methods.*

#### **Библиографический список.**

1. Подзей А.В., Сулима А.М. Технологические остаточные напряжения. – М.: Машиностроение. 1973. С. 216.

2. Сандлер Н.М. *Определение напряжений 1 рода (макронапряжений)*. Сб. *Рентгенография в физическом металловедении*. – М.: Металлургия. 1961. С. 151.

3. Комяк И.И., Мясников Ю.Г. *Рентгеновские методы и аппаратура для определения напряжений*. – Л.: Машиностроение. 1972. С. 88.

4. Русаков А.А. *Рентгенография металлов*. – М.: Атомиздат, 1978. С. 510.

5. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. *Механические свойства металлов*. – М.: Металлургия. 1979. С. 495.