

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА СТАНА ХПТ

### RESEARCH OF THE ACCURACY OF MANUFACTURING TOOL FOR THE COLD ROLLING PIPE MILL

А.А. Богатов, А.В. Серебряков, А.С. Циндраков, К.С. Ярославцев

ОАО «Первоуральский Новотрубный Завод»,  
ФГАОУ ВПО «Уральский Федеральный Университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», г.  
Екатеринбург, ул. Мира 19,  
[omd@mtf.ustu.ru](mailto:omd@mtf.ustu.ru)

#### Abstract

*In this work describes the methods of measurements and evaluation of precision manufacturing tools for the cold rolling pipe mill.*

При изготовлении прокатного инструмента станов холодной прокатки труб измерения осуществляются на каждом этапе технологического процесса с помощью штангенциркуля (диаметр, ширина, высота калибра, ширина ручья калибра), штангенглубомера (глубина и диаметр ручья калибра) и металлической измерительной рулетки (длина участков и зевов ручья). Важно отметить, что цена деления штангенциркуля и штангенглубомера составляет 0,01 мм, а измерительной рулетки – 1 мм, следовательно, точность указанных выше участков калибра будет находиться в пределах цены деления.

К современным приборам оценки точности можно отнести: приборы с применением цифровых технологий (электронные микрометры и штангенциркули), приборы с лазерными технологиями, а так же контактные электронные измерительные приборы. В данной работе выполнен сравнительный анализ точности измерения традиционными метрологическими средствами и с применением координатно-измерительной машины Brown & Sharpe Global Performance 07.10.07, которая представлена на рис. 1. Все измерения осуществляются с помощью:

- измерительной головки Renishaw OMP700 повышенной точности для измерения криволинейных поверхностей (рис. 2);

- программного обеспечения Delcam PowerInspect OMV для разработки измерительных программ и анализа результатов.

Комплекс позволяет производить пятикоординатные измерения с точностью до 1,5 мкм.



Рис. 1. Координатно-измерительная машина Global Performance 07.10.07.



Рис. 2. Моторизованная измерительная головка Renishaw OMP700.

Максимальные габариты измеряемой детали, мм: 700 x 1000 x 660.

Диапазон поворота головки в горизонтальной плоскости составляет  $\pm 180^\circ$ , при повороте в вертикальной плоскости от  $+90^\circ$  до  $-115^\circ$ . Оба угловых движения осуществляются с шагом  $5^\circ$ , т.е. доступно 2952 различных положения

щупа. Жесткая конструкция в сочетании с высоким крутящим моментом дают возможность использования удлинителей щупа до 300мм.

Совместно с ЭПК УРФУ были произведены измерения опытной пары валков стана ХПТ. Для измерения строится 3D модель валка, соответствующая расчету калибровки. Твёрдотельная модель построена с помощью программы «КОМПАС-3D V13» и представлена на рис. 3.

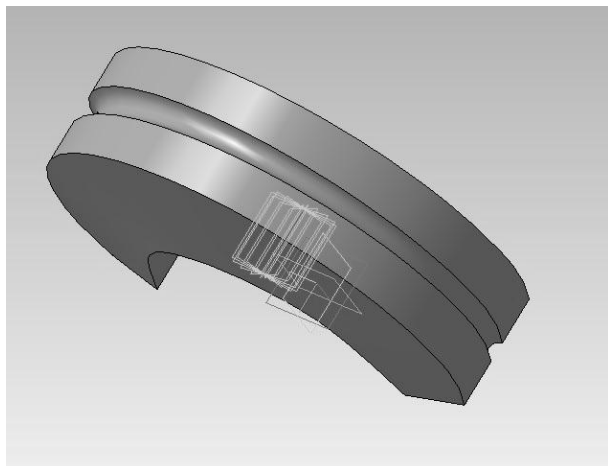


Рис.3. 3D модель валка стана ХПТ.

Калибровка валков стана ХПТ рассчитана по методике В.Г. Миронова, основным преимуществом которой является оптимизация под реальные условия производства нержавеющей холоднодеформированных труб.

Оценка точности изготовления валков достигается путем сравнения размеров 3D модели с реальными размерами валка в контрольных сечениях. В результате измерений машина выдает файл, с указанием точек, где есть отклонения результатов измерения от расчетных значений. Пример такого файла для одного из контрольных сечений представлен на рис. 4.

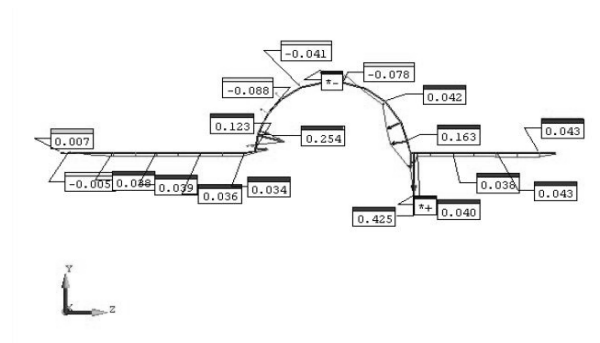


Рис. 4. Пример отклонения результатов измерений от расчетных значений

На рис. 4 показано поперечное сечение валка стана ХПТ, цифры отклонений представлены в мм.

Для того, что бы сделать вывод о точности изготовления опытной пары валков стана ХПТ был проведен статистический анализ результатов измерений, осуществленных на координатно-измерительной машине. Из результатов измерений выбраны 5 одинаковых произвольных сечений для первого и второго валка. Отклонения в этих сечениях представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Отклонения размеров измерений от расчетных для первого валка

сечения	отклонения размеров от расчетных, мм																			
1	0,007	-0,005	0,038	0,039	0,036	0,034	0,254	0,123	-0,088	-0,041	-0,078	0,042	0,163	0,425	0,040	0,038	0,043	0,043	0,028	0,036
2	-0,107	0,084	0,105	0,100	0,094	0,269	0,468	0,268	-0,071	-0,049	0,110	0,152	0,082	0,232	0,279	0,139	0,259	0,073	0,070	0,068
3	-0,152	-0,132	-0,122	-0,120	0,099	0,409	0,343	0,443	0,512	0,384	0,379	0,238	0,112	0,032	0,302	-0,078	0,301	-0,066	-0,053	-0,336
4	-0,014	-0,019	-0,014	0,398	-0,124	-0,069	-0,034	0,106	0,228	0,181	0,426	0,426	0,437	0,390	0,385	-0,042	-0,038	-0,035	-0,050	-0,003
5	0,044	0,037	0,028	0,401	0,305	0,290	0,367	0,389	0,390	0,330	0,122	0,196	0,115	0,014	-0,360	-0,078	0,020	0,012	0,016	0,005

Таблица 2

Отклонения размеров измерений от расчетных для второго валка

сечения	отклонения размеров от расчетных, мм																			
1	-0,043	-0,034	-0,051	0,029	-0,019	-0,017	-0,016	0,011	0,045	-0,080	0,034	0,073	0,056	0,182	0,042	0,023	0,117	-0,004	-0,142	-0,149
2	-0,010	-0,004	-0,007	0,067	0,331	0,184	0,183	0,278	0,383	0,341	0,425	0,439	0,436	0,430	0,255	0,427	0,120	0,019	0,027	0,031
3	-0,072	-0,071	-0,060	-0,056	-0,049	-0,460	0,404	0,481	0,351	0,278	0,187	0,021	-0,027	-0,128	-0,017	-0,009	-0,293	0,062	-0,036	0,128
4	0,045	0,070	0,040	0,199	0,386	-0,058	0,055	0,146	0,378	0,448	0,503	0,037	0,036	0,034	0,033	0,031	0,030	0,045	0,346	0,015
5	0,044	0,066	0,064	0,060	-0,027	0,136	0,416	-0,079	-0,014	0,088	0,216	0,106	0,233	0,054	0,056	0,064	0,021	0,052	0,037	0,088

Рассчитаем выборочное среднее арифметическое для каждого из выбранных сечений по формуле:

$$\bar{\delta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_i$$

где  $\delta_i$  – отклонение измерения от расчетного в i-ом сечении,  $N$  – количество измеренных отклонений в каждом сечении.

Результаты расчета выборочного среднего арифметического сведены в таблицу 3.

Таблица 3

Результаты расчета выборочного среднего арифметического

сечение	$\bar{\delta}$ для первого валка, мм	$\bar{\delta}$ для второго валка, мм
1	0,059	0,003
2	0,131	0,218
3	0,125	0,032
4	0,127	0,141
5	0,132	0,084

Далее рассчитаем выборочную дисперсию результатов измерений по формуле:

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\delta_i - \bar{\delta})^2$$

где  $\delta_i$  – отклонение измерения от расчетного в i-ом сечении,  $N$  – количество

измеренных отклонений в каждом сечении,  $\bar{\delta}$  – выборочное среднее арифметическое.

Результаты расчета выборочной дисперсии сведены в таблицу 4.

Таблица 4

Результаты расчета выборочной дисперсии

сечение	$S^2$ для первого валка, мм <sup>2</sup>	$S^2$ для второго валка, мм <sup>2</sup>
1	0,013	0,006
2	0,018	0,031
3	0,062	0,051
4	0,043	0,029
5	0,039	0,011

Для сравнения дисперсий каждой из 5 совокупностей воспользуемся критерием Кохрена, т.к. имеем равные объемы выборок. Воспользуемся общим алгоритмом, используемым для проверки статистических гипотез:

1)  $H_0: \sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_4 = \sigma_5 = \sigma^2$ ;

2)  $H_A: \sigma_{max}^2 = \sigma_3 \neq \sigma^2$ ;

3) Используем G-критерий;

4)  $G_{max1} = \frac{S_{max1}^2}{\sum_{i=1}^m s_i^2} = \frac{0,062}{(0,013+0,018+0,062+0,043+0,039)} = 0,354$ ;

$G_{max2} = \frac{S_{max2}^2}{\sum_{i=1}^m s_i^2} = \frac{0,051}{(0,006+0,031+0,051+0,029+0,011)} = 0,397$

5) Границы критической области можно установить по таблицам квантилей распределения Кохрена (G - распределения) для выбранного уровня значимости  $\alpha$ , числа сравниваемых дисперсий  $\nu_1=m$  и числа степеней свободы  $\nu_2=N-1$ .

Из таблиц квантилей распределения Кохрена  $G_{0,05;5;20} = 0,356$ , тогда

а) для первого валка:  $G_{max1} < G_{0,05;5;20}$ .

т.к.  $0,354 < 0,356$ , а значит, нулевую гипотезу принимаем, следовательно, все сечения изготовлены с одинаковой точностью, т.к. дисперсия отклонений результатов от расчетных одинакова для каждого сечения валка, а значит, необходимо применять современные средства измерения, которые позволят наиболее точно

определять основные конечные размеры валка и его ручья.

б) для второго валка:  $G_{max2} > G_{0,05;5;20}$ , т.к.  $0,397 > 0,356$ , а значит, нулевую гипотезу отвергаем, и можно сделать вывод о том, что точность изготовления этого валка в каждом его сечении разная, а, следовательно, существует необходимость в применении современного оборудования для производства инструмента станов ХПТ с целью более точного изготовления валков, а так же современных средств измерений для оценки их точности.