

УДК 621.774

**М. С. Шалаева<sup>1\*</sup>, Ю. Н. Логинов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Ревдинский завод ОЦМ, г Ревда

<sup>2</sup> Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

\*shalaevams@mail.ru

## ВЛИЯНИЕ ОТЖИГА НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ МЕДНЫХ ТРУБ

Выполнены измерения шероховатости внутренней поверхности медных труб по проходам волочения в двух вариантах: до и после отжига. Выявлено, что шероховатость повышается после проведения рекристаллизационного отжига. Такое явление объяснено зарождением и ростом новых зерен, имеющих свою форму поверхности. При последующем волочении эта форма поверхности разглаживается пластической деформацией.

*Ключевые слова:* Волочение, медные трубы, шероховатость, термическая обработка, рекристаллизация

**M. S. Shalaeva, Yu. N. Loginov**

## INFLUENCE OF ANNEALING ON THE ROUGHNESS OF A SURFACE OF COPPER PIPES

Roughness measurements of the inner surface of copper pipes along the drawing passes were performed in two versions: before and after annealing. It was revealed that the roughness increases after recrystallization annealing. This phenomenon is explained by the nucleation and growth of new grains having their own surface shape. With subsequent drawing, this surface shape is smoothed out by plastic deformation.

*Key words:* Drawing, copper pipes, roughness, heat treatment, recrystallization

Состояние внутренней поверхности медных труб предопределяет характеристики теплопередачи [1], поэтому является предметом изучения как со стороны потребителей [2], так и со стороны изготовителей [3].

С целью оценки влияния термообработки на качество внутренней поверхности труб был проведен следующий эксперимент. Медную пресс-заготовку из меди марки М2 по ГОСТ 859 подвергали волочению на самоустанавливающихся оправках на стане барабанного типа

ВСТ 1/1500. В процессе эксперимента в качестве смазки внутренней поверхности использовали масло Kubitrac 4092. По маршруту волочения от бухты труб в каждом проходе отбирали образцы. В продольном направлении образцов проводили измерения шероховатости внутренней поверхности  $Ra$ . Затем образцы подвергли отжигу в вакуумной печи при температуре  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 5,5 часов. После этого были вновь проведены измерения шероховатости. Как до, так и после отжига измерения проводили при следующих условиях: отсечка шага —  $0,8\text{ мм}$ , трасса укорочена (равна двум отсечкам шага). Назначили предел измерений —  $10\text{ мкм}$ , погрешность  $\pm 0,011\text{ мкм}$ . Шероховатость измеряли на профилометре модели 170622, степенью точности 2 по ГОСТ 19300–86. Принцип действия профилометра — электронный, метод измерения — контактный. Для отбрасывания резко выделяющихся (аномальных) результатов испытания был применен критерий Смирнова.

Как видно из данных, приведенных на рис. 1, параметр шероховатости после отжига становится больше, т. е. деформированное состояние обеспечивает лучшее состояние поверхности, чем отожженное. Например, если дополнительно усреднить средние значения параметра шероховатости по проходкам, то до отжига получим величину  $0,3$ , а после отжига  $0,6$ , т. е. шероховатость в среднем увеличилась в два раза.

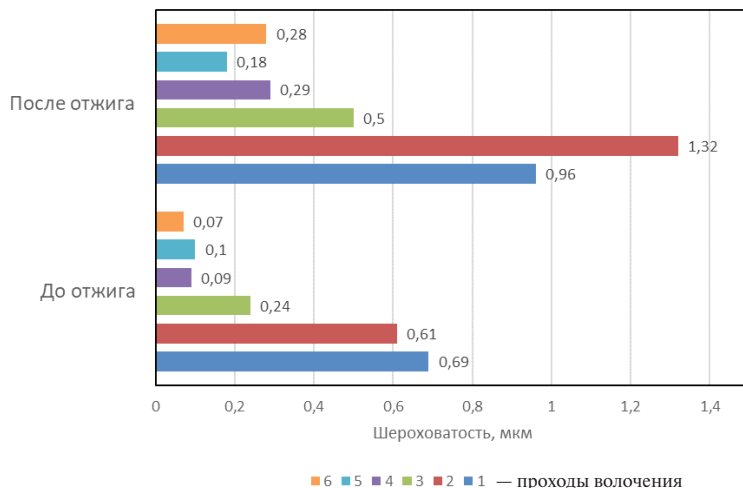


Рис. 1. Значения шероховатости до и после отжига

Увеличение параметра шероховатости после отжига (рис. 2) нельзя объяснить появлением окалины или окислением поверхности, по-

скольку термическая обработка осуществляется в вакууме. Одна из гипотез, объясняющих такое видоизменение топографии поверхности, может быть сформулирована на основе анализа процесса рекристаллизации. Металл на стадии волочения разглаживается волочильным инструментом, что обеспечивает невысокий уровень шероховатости. В результате рекристаллизации при отжиге возникают новые зерна, их границы, выходящие на поверхность, не совпадают с контуром старых границ. При последующем росте зерен образуется более неровная поверхность, чем была до отжига. Дополнительным фактором может явиться изменение текстуры заготовок по проходам волочения и термической обработки [4].

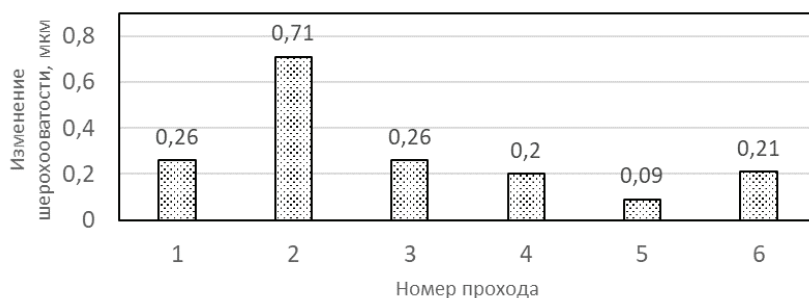


Рис. 2. Изменение шероховатости до и после отжига по проходам волочения

Таким образом, промышленный эксперимент показал, что шероховатость внутренней поверхности медных труб после проведения вакуумного отжига имеет тенденцию к повышению, что необходимо учитывать в технологии производства этого вида изделий.

### Литература

1. Kotthoff S. Heat transfer and bubble formation on horizontal copper tubes with different diameters and roughness structures / S. Kotthoff, D. Gorenflo // *Heat and Mass Transfer / Waerme- und Stoffuebertragung*. 2009. V. 45 (7). P. 893–908.
2. Surface roughness of the channels of industrial copper tubes / A. E. Poberezkin [et al] // *Chemical and Petroleum Engineering*. 1989. V. 25 (9). P. 504–507.
3. Логинов Ю. Н., Шалаева М. С. Эволюция микронеровностей внутренней поверхности медных труб при волочении // *Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия*. 2014. № 3. С. 39–44.
4. Расчет деформаций и экспериментальное исследование текстуры в нагартованной медной проволоке / Ю. Н. Логинов [и др.] // *Деформация и разрушение материалов*. 2011. № 5. С. 38–44.