

МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ

Приведені зведення про методики оцінки стану внутрішньої поверхні труб за допомогою вимірювань, виконаних в послідовності профілей поперечних перетинів за допомогою контактного датчика. Встановлені амплитудно-частотні характеристики відхилень макро- мікровідхилень. Для оцінки нерівномірності поверхні застосований показник ентропії зображень, отриманих за допомогою світлового і растрового мікроскопів.

Приведены сведения о методиках оценки состояния внутренней поверхности труб с помощью измерений, выполненных в последовательности профилей поперечных сечений с помощью контактного датчика. Установлены амплитудно-частотные характеристики отклонений макро- микроотклонений. Для оценки неравномерности поверхности применен показатель энтропии изображений, полученных с помощью светового и растрового микроскопов.

The information on techniques of the estimation of the condition of the internal surface of tubes. The measurements were executed in sequence of profiles of cross-section sections by means of the contact sensor. Amplitudno-frequency characteristics of deviations makro - microdeviations are established. The indicator of entropy of the images received by means of light and raster microscopes is applied to the estimation of non-uniformity of surfaces.

Введение

Состояние внутренней поверхности бесшовных труб, используемых в атомной и тепловой энергетике, в прецизионном машиностроении, в ряде других отраслей промышленности, в значительной мере определяет эксплуатационную надежность различного рода установок, работающих при повышенных давлениях, температурах, воздействии агрессивных сред.

В статье приводятся сведения, касающиеся методик, применявшихся в ГП «НИТИ» при проведении исследований закономерностей формирования внутренней поверхности холоднокатаных труб из сплава циркония, сквозная технология изготовления которых изложена в [1] и отработана с участием к.т.н. Буряк Т.Н. и Благовой В.А.

Проблеме повышения качества внутренней поверхности, анализу причин образования дефектов типа «седина», складок, трещин посвящены работы [2 - 15]. Неопределенность терминов, определяющих состояние поверхности, а также недостатки метрологического обеспечения ставят под сомнение достоверность полученных результатов. В

основном они базировались либо на оценках показателя R_a , находившегося с помощью профилографирования поверхности в продольном направлении, либо на результатах измерения глубины отдельных складок с помощью микроскопа. В некоторых работах вообще не проводились измерения, а выводы делались лишь на основе предположений.

При использовании щуповых методов исходными параметрами являются: направление трассы измерения, её длина, шаг дискретизации и характеристики фильтров. К каким ошибочным результатам может привести игнорирование этих параметров можно видеть на рисунке 1, где приведен снимок внутренней поверхности холоднокатаной трубы и показаны возможные направления измерений. Уже на основании этого рисунка можно утверждать о неприемлемости оценки состояния внутренней поверхности при традиционном продольном измерении.

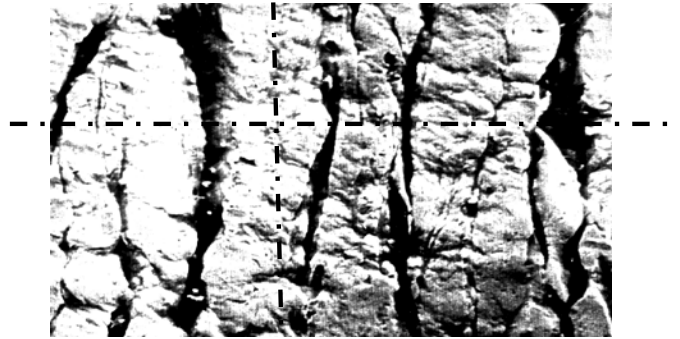


Рисунок 1 - Состояние внутренней поверхности холоднокатаной трубы $25 \times 1,5$ мм, сталь 0X18H10T, увеличение $\times 1000$.

Современные профилографы позволяют помимо общеизвестных характеристик R_a и R_z на основании одного измерения позволяют получать комплекс показателей, включая амплитудные, пространственные и гибридные характеристики. В последнее время получают развитие пространственные характеристики состояния поверхностей. Но в большинстве случаев они стандартизированы применительно к поверхностям, подвергнутым механической обработке, отличающихся относительно регулярными отклонениями. Механизм формирования внутренней поверхности катаных труб принципиально иной и требует иного подхода при проведении измерений

Для исследования структуры профилей поперечных сечений внутренней поверхности использовали измерительно-вычислительный комплекс, обладающий следующими характеристиками:

- измеритель - кругломер "Талиронд-3";
- контактный датчик - игла с радиусом закругления 1мкм.

- компьютер - процессор Intel Celeron, 851 МГц, 256 МБ ОЗУ.
система - Microsoft Windows XP Professional, версия 2002;
- минимальная дискретность измерения в поперечном сечении $\Delta = \pi * \text{диаметр сечения} / 3500$.
 - минимальная дискретность измерений в продольном направлении 0,05 мм;
 - погрешность измерения по амплитуде $\pm 0,5$ мкм;
 - объем измерительной информации для одного поперечного сечения 3500 значений, для трехмерного анализа до 500 000 значений.
- Алгоритм обработки измерительной информации следующих процедурах:
- масштабирование;
 - удаление аномальных значений;
 - центрирование, удаление трендов;
 - оценка автокорреляционных функций, определение наличия периодических компонент;
 - проектирование цифровых фильтров;
 - фильтрация измерительной информации;
 - нахождение оценок функций спектральной плотности;
 - вейвлет-анализ временных рядов;
 - оценка статистических характеристик;
 - графическое представление результатов вычислений.

Применение разработанной методики позволило определить структуру профилей поперечных сечений внутренней поверхности холоднокатаных труб широкого сортамента. На рисунке 2 приведена круглограмма поперечного сечения трубы размером 35Ч5 мм из сплава Zr1Nb, прокатанной на стане ХПТ55. Принципиальная особенность состоит в том, что профили поперечных сечений в общем случае нестационарные, содержат периодические и случайные составляющие.

Измерения, проведенные в последовательности поперечных сечений, показали, что такая нестационарность приводит к формированию продольно ориентированных углублений, которые могут служить концентраторами локальных деформаций при нагружении внутренним давлением. Применяемые в настоящее время традиционные методы контроля труб не в состоянии выявить такого рода размерные аномалии.

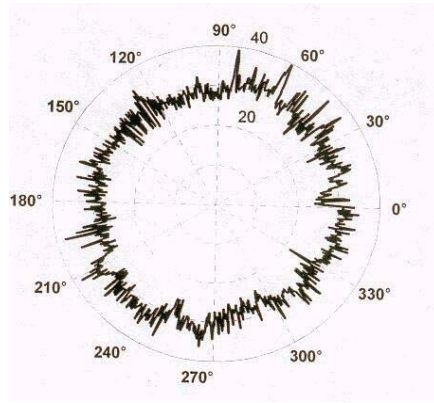


Рисунок 2 - Круглограмма поперечного сечения внутренней поверхности трубы размером 35×5 мм, сплав Zr1Nb.

О частотных характеристиках периодических составляющих можно судить на основе нормированной автокорреляционной функции, показанной на рисунке 3, и амплитудном спектре, приведенном на рисунке 4.

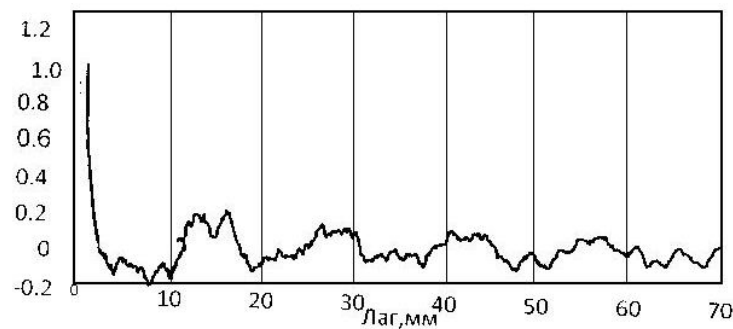


Рисунок 3 - Автокорреляционная функция профиля поперечного сечения внутренней поверхности трубы размером 9,1×0,7 мм из сплава Zr1Nb.



Рисунок 4 - Амплитудный спектр профиля поперечного сечения внутренней поверхности трубы размером 9,1×0,7 мм из сплава Zr1Nb.

На основе полученных результатов предложена следующая классификация составляющих отклонений профилей поперечных сечений катаных труб:

макроотклонения – низкочастотные компоненты с длиной периода в пределах 0,18 – 0,4 длины периметра и микроотклонения – высокочастотные составляющие, длина периода которых находится в интервале 0,001–0,5 мм.

Для оценки структуры микроотклонений, ширина которых меньше радиуса закругления иглы контактного датчика, использовали оптический метод. Он основан на анализе снимков поверхности, полученных с помощью оптических и растровых электронных микроскопов. Эта методика применялась для выявления взаимосвязи между микроструктурой сплава и микрорельефом поверхности, снимки которых приведены на рисунках 5а и 5б.

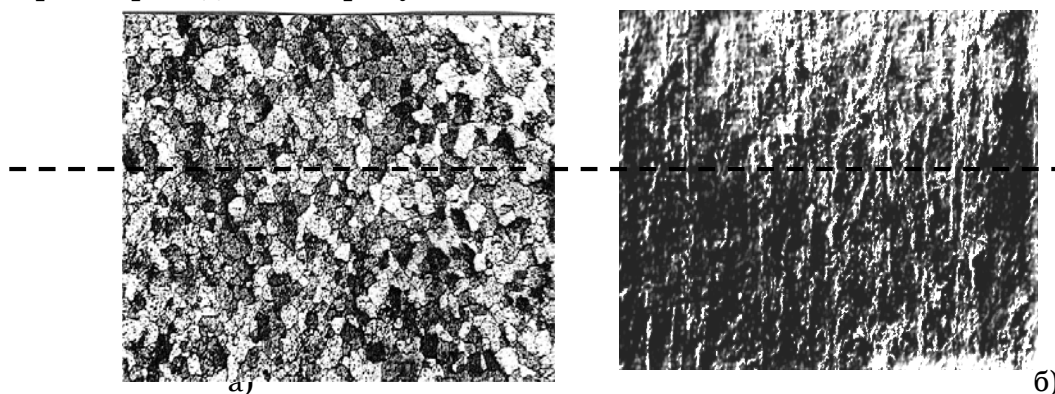


Рисунок 5а - Микроструктура труб размером 9,1×0,7 мм из сплава Zr1Nb при увеличении ×400, рисунок 5б снимок внутренней поверхности трубы размером 9,1×0,7 мм из сплава Zr1Nb при увеличении ×200.

Там же показано положение секущих, относительно которых определялись отклонения яркости, выраженное в пикселях. Последующая обработка полученных данных включала определение оценок нормированных автокорреляционных функций и амплитудных спектров. Последние показаны на рисунках 6а и 6б.

На основании полученных результатов установлена близость частот отклонений микроструктуры микрорельефа. Для выяснения причин размытости спектра микроструктуры в области низких частот проведена процедура выделения границ зерен с использованием оператора Прюита (Prewitt). Результаты приведены на рисунке 7.

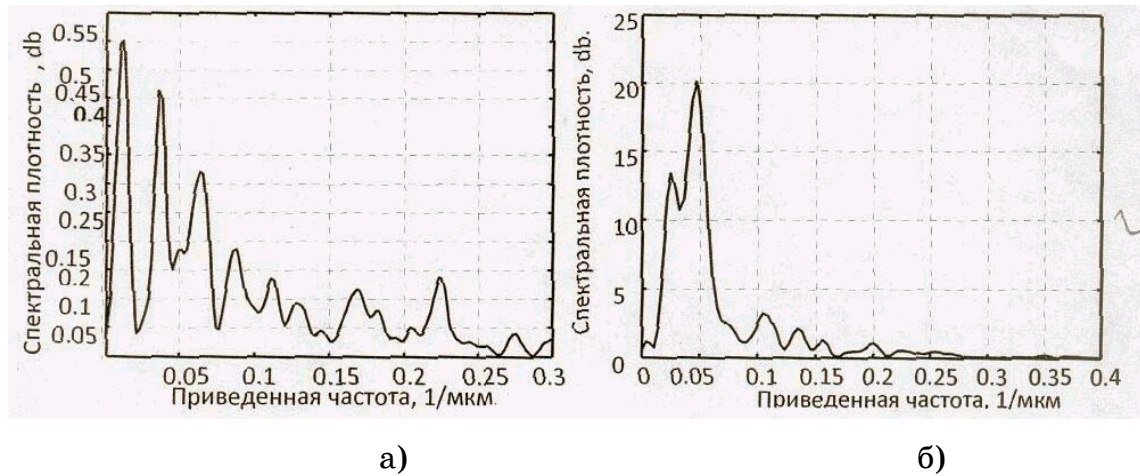


Рисунок 6а - Амплитудный спектр отклонений вдоль секущей микроструктуры, рисунок 6б - амплитудный спектр отклонений вдоль секущей микро-рельефа.

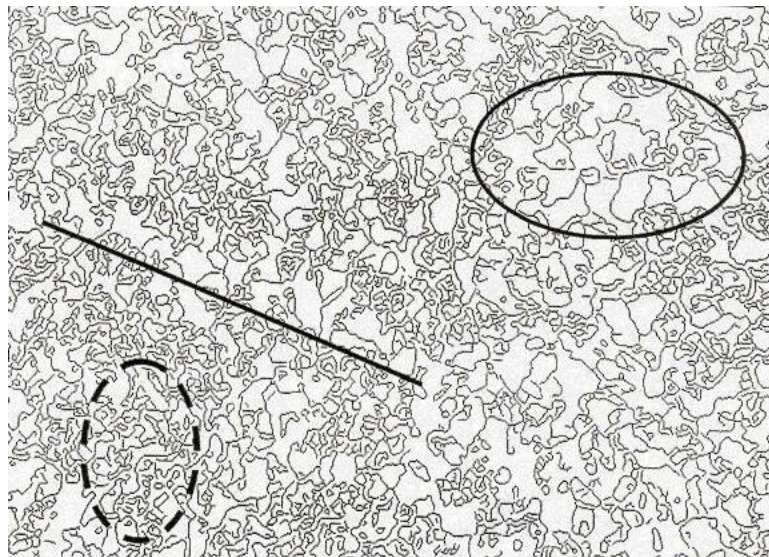


Рисунок 7 - Положение границ зерен, сплошная линия – зоны крупных зерен, пунктирная линия – зоны мелких зерен.

При изготовлении труб из сплавов циркония и титана для удаления дефектов внутренней поверхности применяют струйное травление смесью азотной и плавиковой кислот. Для оценки эффективности такой технологии использовали методику, основанную на определении величины энтропии изображения поверхности. Этот показатель является статистической характеристикой случайности, которую используют в информационных технологиях для характеристики текстуры изображения[16]. Для определения энтропии использовали выражение:

$$E = -\sum_0^{255} P(i) * \log_2 P(i)$$

где P - значения гистограммы отклонений изображения. Результаты оценки энтропии внутренней поверхности труб из сплава циркония в состоянии после прокатки и струйного травления приведены в таблице 1.

Таблица 1

Энтропия внутренней поверхности труб размером 17×1,9 мм, сплав Zr1Nb.

Характеристики.	Состояние поверхности.					
	После прокатки.			После струйного травления.		
Дискретность измерения, мкм	0,65	0,26	0,13	0,65	0,26	0,13
Размеры изображения, мкм.	345*546	150*220	75*110	337*550	146*220	72*110
Энтропия.	55,9	48,4	47,6	45,5	43,6	45,42

Полученные результаты дают основание делать вывод, что за счет струйного травления достигнуто некоторое улучшение внутренней поверхности, но, тем не менее, имеет место существенная неоднородность, которая может оказывать отрицательное влияние на эксплуатационные свойства труб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент на винахід. UA 81167 Україна, МПК В21С23/02. Спосіб виготовлення цирконієвих труб// Сокурєнко В.П., Вахрушева В.С., Сухомлин Г.Д. та ін. (ДП «НДТІ» ім. Я.Ю.Осади); заявка № а200600077, заявл. 03.01.2006, опубл. 10.12.2007, бюл. №20, 2007р.-3с.
2. Калибровка инструмента станов ХПТ, обеспечивающая лучшее использование пластичности прокатываемого металла и улучшение качества внутренней поверхности труб / О.А.Семенов и др. // Производство труб. Сб. трудов ВНИТИ. М., 1965, № 15.
3. К вопросу о распределении деформаций в обжимной зоне стана периодической прокатки труб / Кочегаров П.А.// Производство труб. Сб. трудов ВНИТИ. М., 1969, № 21, с. 48-53.
4. Калибровка инструмента станов ХПТ, обеспечивающая лучшее использование пластичности прокатываемого металла и улучшение качества внутренней поверхности труб / Семенов О.А., Левайнем В.Г., Беликов Ю.М., Дуплий Г.Д. // Производство труб. Сб. трудов ВНИТИ. М., 1965, № 15, с. 31-32.

5. Особенности дефектов типа «седина» на поверхности холоднокатаных труб / З.А.Кофф, Ю.М.Беликов, М.В.Попов и др. // Производство труб. Сб. трудов ВНИТИ. М., 1970, № 24,
6. / Новая технология производства особо толстостенных труб / Семенов О.А., М.В.Попов, О.А.Пляцковский, Р.Л.Заславский и др. - Металлургическая и горнорудная промышленность: Днепропетровск: 1970, № 5.
7. Зависимость качества холоднодеформированных толстостенных труб от состояния поверхностного слоя заготовки / Семенов О.А., М.В.Попов, Р.Л.Заславский и др. - Металлургическая и горнорудная промышленность: Днепропетровск, 1971, № 2.
8. Влияние деформации по диаметру и стенки на механические свойства. / М.В.Попов, О.А.Пляцковский, Р.Л.Заславский. - Металлургическая и горнорудная промышленность: Днепропетровск: 1974, № 3.
9. О допустимой степени редуцирования при прокатке особо толстостенных труб. / Семенов О.А., М.В.Попов, Р.Л.Заславский и др. - Металлургическая и горнорудная промышленность: Днепропетровск, 1974, № 5.
10. Способы предупреждения косых трещин на холоднокатаных трубах. /В.Р.Кучеренко, С.Н.Кекух, И.М.Обух-Швец и др. – Сталь, 1975, № 7, с.632 – 633.
11. Влияние редуцирования на качество внутренней поверхности труб при холодной прокатке./ В.Р.Кучеренко, Г.И.Хаустов, И.Ю.Коробочкин, С.Н.Кекух. – Металлургическая и горнорудная промышленность: Днепропетровск: Промінь, 1979, №2, с.19-13.
12. Кекух С.Н., Кучеренко В.Р., Дуплий Г.Д. Исследование причин появления складок и трещин на внутренней поверхности труб при прокатке на станах ХПТ. – в кн.: Теоретические проблемы прокатного производства: Тезисы докл. и сообщ. III Всесоюзн. науч.- техн. конф. Днепропетровск, ДметИ, 1980, с. 250.
13. Беликов Ю.М. Кинематические и технологические вопросы интенсификации процесса прокатки труб на станах ХПТ. Диссертационная работа на соискание ученой степени кандидата технических наук. Днепропетровск. 1967 г.
14. Заславский Р.Л. Исследование и совершенствование процесса производства холоднокатаных толстостенных труб. Диссертационная работа на соискание ученой степени кандидата технических наук. Днепропетровск. 1974 г.
15. Кекух С.Н. Разработка и внедрение рациональных режимов деформации и параметров калибровки для производства труб из нержавеющей сталей и сплавов с улучшенным качеством поверхности на станах холодной прокатки. Диссертационная работа на соискание ученой степени кандидата технических наук. Днепропетровск. 1986 г.