

## ОСОБЕННОСТИ ДЕФЕКТОВ ПРИ ПРОКАТКЕ ТОНЧАЙШИХ ЛЕНТ И ФОЛЬГ

**Н.Н. Татарников<sup>1</sup>**, [tatarnikov.n@yandex.ru](mailto:tatarnikov.n@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5233-9901>

**Б.Ф. Белелюбский<sup>2</sup>**, [nic\\_mgvmi@mail.ru](mailto:nic_mgvmi@mail.ru)

**В.С. Юсупов<sup>2,3</sup>**, [vsyusupov@mail.ru](mailto:vsyusupov@mail.ru)

<sup>1</sup> Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета, Рязань, Россия

<sup>2</sup> Московский политехнический университет, Москва, Россия

<sup>3</sup> Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН), Москва, Россия

**Аннотация.** Авторами анализируются основные причины образования дефектов и методы, предотвращающие появление брака. Правильный подбор необходимых режимов прокатки ленты усложняется вследствие особенностей прокатываемого материала с памятью формы – нитинола. Никелид титана обладает способностью присоединять газы (азот, кислород) и подвержен окислению.

В статье рассматриваются дефекты, образующиеся при прокатке на многовалковых станах. Среди них – двухсторонний гофр, коробоватость, появление пузырей, волнистость, разнотолщинность. Основные негативные факторы, являющиеся источниками возникновения указанных дефектов, могут быть парированы правильной профилировкой валков (волнистость), выставлением верных режимов обжатия (двухсторонний гофр), пересборкой основных узлов стана (биение, коробоватость).

При прокатке труднообрабатываемых материалов следует проводить анализ текстуры ленты для фиксации источников возникновения брака. Настройка прокатного оборудования должна включать в себя не только режимы прокатки (скорость, величина обжатия, натяжения на барабанах моталок), но и работу с рабочими валками, включающую высокоточную обработку поверхности бочек, шейки.

**Ключевые слова:** тончайшая лента, фольга, 20-валковый прокатный стан, валковый инструмент, технология прокатки, дефекты прокатки

**Для цитирования:** Татарников Н.Н., Белелюбский Б.Ф., Юсупов В.С. Особенности дефектов при прокатке тончайших лент и фольг // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2024. Т. 24, № 1. С. 30–34. DOI: 10.14529/met240104

Original article  
DOI: 10.14529/met240104

## FEATURES OF DEFECTS WHEN ROLLING THIN STRIPS AND FOILS

**N.N. Tatarnikov<sup>1</sup>**, [tatarnikov.n@yandex.ru](mailto:tatarnikov.n@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5233-9901>

**B.F. Beleyubsky<sup>2</sup>**, [nic\\_mgvmi@mail.ru](mailto:nic_mgvmi@mail.ru)

**V.S. Yusupov<sup>2,3</sup>**, [vsyusupov@mail.ru](mailto:vsyusupov@mail.ru)

<sup>1</sup> Ryazan Institute (branch) of Moscow Polytechnic University, Ryazan, Russia

<sup>2</sup> Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

<sup>3</sup> A.A. Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Abstract.** The authors analyze the main causes of their formation and methods preventing the appearance of scrap. Correct selection of necessary modes of strip rolling is complicated due to the peculiarities of the rolled material with shape memory – nitinol. Titanium nickelide has the ability to attach gases (nitrogen, oxygen) and is subject to oxidation.

The article deals with defects formed during rolling on multi-roll mills. Among them are double-sided corrugations, boxiness, bubbles, waviness, different thicknesses. The main negative factors that are sources of these defects can be counteracted by correct roll profiling (waviness), setting the right modes of compression (double-sided corrugation), reassembly of the main units of the mill (runout, boxiness).

When rolling hard-to-machine materials, sliver texture should be analyzed to identify sources of defects. Rolling equipment adjustment should include not only rolling modes (speed, compression value, tension on coiler drums), but also work with working rolls, including high-precision surface treatment of barrels and necks.

**Keywords:** thin strip, foil, 20-roll rolling mill, roll tool, rolling technology, rolling defects

**For citation:** Tatarnikov N.N., Belelyubsky B.F., Yusupov V.S. Features of defects when rolling thin straps and foils. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2024;24(1):30–34. (In Russ.) DOI: 10.14529/met240104

Для достижения требуемых показателей по точности и качеству при холодной прокатке тончайших лент необходимо выверять и соблюдать все аспекты технологии – от анализа напряжённо-деформированного состояния до контроля микрогеометрии инструмента и точностных параметров прокатного стана.

Одной из основных причин появления дефектов на поверхности ленты является нарушение технологических режимов. Немаловажной проблемой, влияющей на качество прокатываемой ленты, служит профилировка инструмента – рабочих валков. Необходимо обеспечить высокую точность, геометрию и шероховатость поверхности валков [1]. Текстура готовой нитиноловой ленты не должна иметь посторонних включений, поверхность – складок, надрывов и забоин. Конечная структура материала должна обеспечивать характеристики памяти формы.

Нитинол имеет низкую технологичность, что вызывает проблемы при прокатке. Титан, входящий в состав, способствует легкому присоединению азота и кислорода, вследствие чего происходит окисление. Из-за своих свойств нитинол плохо обрабатывается в холодном состоянии. Высокое значение упругости увеличивает силу трения и вызывает повышенный износ при контакте с валами.

В данной работе анализируются причины появления дефектов при холодной прокатке и предлагаются возможные решения проблем, возникающих при прокатке тончайших лент.

Для качественного анализа подобран подкат из меди МЗ ГОСТ 859-2011 и нитинола шириной 45 мм и толщиной 80 мкм. Прокатка производилась на двадцативалковом прокатном стане. Процесс прокатки и эксплуатация оборудования двадцативалковых станков имеют особенности по сравнению со станами холодной прокатки других типов, которые объясняются масштабным фактором.

Рассматриваемым критерием оценки прокатки являются показатели текстуры деформаций тончайшей ленты [2, 3].

На рис. 1 представлено состояние поверхности лент при прокатке без смазки. Анализ полученных результатов показал: возникновение пузырчатых выпуклостей диаметром 3–4 мм и высотой 0,1–0,3 мм, повторяющихся по всей длине. Внешний вид текстуры дефектов (см. рис. 1): видны полосы и двухсторонний гофр.

При анализе полученной ленты ненадлежащего качества выявлен дефект – двухсторонний гофр, образующийся в результате неверных режимов обжатия. Он является спе-

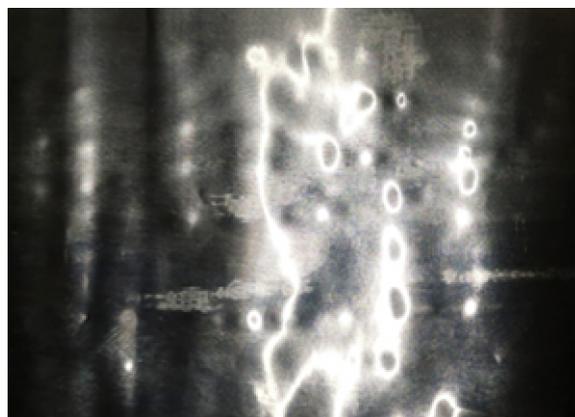


Рис. 1. Дефект «пузыри», двухсторонний гофр на поверхности ленты после прокатки  
Fig. 1. Defect “bubbles”, double-sided corrugation on the surface of the strip after rolling

цифическим дефектом. Текстура деформаций представляет собой местную волнистость ленты, проникающую на значительное расстояние ленты. Для устранения следует уменьшить обжатие на кромках ленты за счет осевого перемещения первых промежуточных валков с коническими скосами. Также из-за неправильного профиля валков наблюдается образование гофра в середине ленты.

Дефектная поверхность прокатываемой ленты определяется отклонением размеров от допустимых ГОСТом или техническими условиями. Искажения определяются наличием местных повреждений ленты и отклонениями параметров чистоты и микрогеометрии. Рассмотрим примеры дефектов по П.И. Полухину и др. [4], а также по А.В. Третьякову [5].

В ходе анализа текстуры дефектов прокатываемой ленты стоит выделить причины об-

разования. Волнистость представляет собой чередование выпуклостей и впадин на всем участке прокатываемой ленты. Причинами образования волнистости является недостаточная профилировка валкового инструмента при прокатке. При длительной обработке на двадцативалковом прокатном стане возникает износ рабочих валков, что способствует волнистости оси при прокатке рис. 2.

Дефектная коробоватость характеризуется кривизной в продольном и поперечном сечении. Прокатываемая лента имеет корытообразный вид. Корбоватость характеризуется чрезмерным трением валка о прокатываемую ленту. Увеличенная выпуклость валкового инструмента образующей рабочих валков показана на рис. 3.

Одним из типовых дефектов, наиболее встречающихся, является разнотолщинность ленты (рис. 4) [6]. Отклонения от допустимой

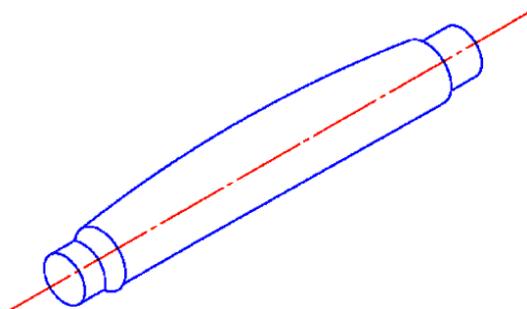


Рис. 2. Смещение центра оси валкового инструмента и текстура дефекта «волнистость»  
Fig. 2. Displacement of the center of the axis of the roll tool and the texture of the defect – waviness

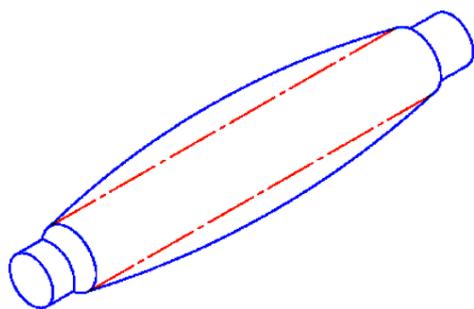


Рис. 3. Выпуклость валкового инструмента и текстура дефекта «корбоватость»  
Fig. 3. Convexity of the rolling tool and the texture of the defect – warpage

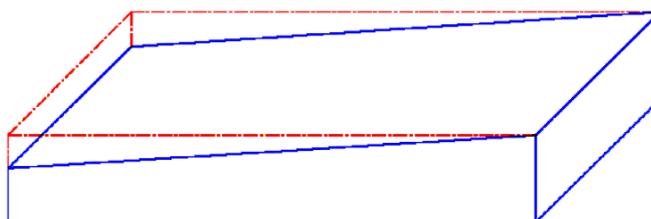


Рис. 4. Разнотолщинность прокатываемой ленты  
Fig. 4. Variation in thickness of the rolled strip

толщины ленты, превышающие по ГОСТу или техническим условиям, являются практически неисправимым браком. Для каждого прокатного стана существует предельная величина разнотолщинности, которую выравнивают в процессе прокатки в несколько проходов в случае исправимых предельных требуемых размеров ленты.

При недостаточной калибровке 20-валкового прокатного стана образуются зазоры в элементах нажимного устройства. Для устранения зазоров в клети стана предусматривают уравнивающие механизмы.

Биение валков характеризуется некачественной сборкой пирамиды валков и подшипников валковых роликов. Требуется пересборка механизма с повышенной точностью для устранения эффeктов.

## Выводы

Прокатка тончайших лент и полос является трудоемким и точным процессом. Требуется уделить строгое внимание к технологичности и микрогеометрии прокатных валков. Причиной проявления рассмотренных дефектов ленты являются в основном неправильно выбранные варианты и режимы обжата, профилирования валков и опорных роликов. Выбор других режимов профилирования валков и опорных роликов должен привести к предотвращению образования пузырчатости и гофра по всей длине ленты.

Анализ текстуры прокатываемой ленты создает возможность в будущем проанализировать возникаемые при холодной прокатке дефекты с целью продуктивного устранения недостатков технологии и своевременной настройки оборудования и инструмента.

## Список литературы

1. Русаков А.Д., Трайно А.И., Юсупов В.С. Исследование различных методов формирования микрогеометрии валков для холодной прокатки высокоточных полос и лент // Производство проката. 2007. № 12. С. 39–41.
2. Мазур В.Л., Добронравов А.И., Чернов П.П. Предупреждение дефектов листового проката. Киев: Техника, 1986. 141 с.
3. Салганик В.М., Коляда Т.В., Брусьянина А.И. Анализ факторов, влияющих на образование дефектов поверхности холоднокатаных полос // Сталь. 2008. № 2. С. 60–62.
4. Прокатка на многовалковых станах / П.И. Полухин, В.П. Полухин, А.Ф. Пименов и др. М.: Металлургия, 1981. 247 с.
5. Третьяков В.А., Тищенко Д.А. Обучение системы контроля качества поверхности распознаванию дефектов поверхности // Научно-техническая конференция физико-технологического факультета ЛГТУ. Липецк, 2004. С. 4–6.
6. Качество листов / В.Д. Дурнев [и др.]; под общ. ред. В.Д. Дурнева и А.И. Трайно. М.: Наука и технологии, 2008. 336 с.

## References

1. Rusakov A.D., Trajno A.I., Yusupov V.S. Investigation into various methods of forming the microgeometry of rolls for cold rolling of highly accurate strips and bands. *Rolling*. 2007;12:39–41. (In Russ.)
2. Mazur V.L., Dobronravov A.I., Chernov P.P. *Preduprezhdenie defektov listovogo prokata* [Prevention of defects in sheet metal]. Kyiv: Tekhnika; 1986. 141 p. (In Russ.)
3. Salganik V.M., Kolyada T.V., Brus'yanina A.I. Analysis of factors exercising influence upon formation of surface defects in cold rolled strips. *Steel*. 2008;(2):60–62. (In Russ.)
4. Polukhin P.I., Polukhin V.P., Pimenov A.F. et al. *Prokatka na mnogovalkovykh stanakh* [Rolling on multi-roll mills]. Moscow: Metallurgiya; 1981. 247 p. (In Russ.)
5. Tret'yakov V.A., Tishchenko D.A. [Training a surface quality control system to recognize surface defects]. In: *Nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya fiziko-tekhnologicheskogo fakul'teta LGTU* [Scientific and technical conference of the Faculty of Physics and Technology of LSTU]. Lipetsk; 2004. P. 4–6. (In Russ.)
6. Durnev V.D. et al. *Kachestvo listov* [Quality of rolled sheets]. Moscow: Nauka i tekhnologii; 2008. 336 p. (In Russ.)

*Информация об авторах*

**Татарников Николай Николаевич**, старший преподаватель кафедры энергетических систем и точного машиностроения, Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета, Рязань, Россия; [tatarnikov.n@yandex.ru](mailto:tatarnikov.n@yandex.ru).

**Белелюбский Борис Феликсович**, канд. техн. наук, доц. кафедры металлургии, Московский политехнический университет, Москва, Россия; [nic\\_mgvmi@mail.ru](mailto:nic_mgvmi@mail.ru).

**Юсупов Владимир Сабитович**, д-р техн. наук, Московский политехнический университет, Москва, Россия; заведующий лабораторией пластической деформации металлических материалов (№ 15), Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН), Москва, Россия; [vsyusupov@mail.ru](mailto:vsyusupov@mail.ru).

*Information about the authors*

**Nikolai N. Tatarnikov**, Senior Lecturer of the Department of Energy Systems and Precision Engineering, Ryazan Institute (branch) of Moscow Polytechnic University, Ryazan, Russia; [tatarnikov.n@yandex.ru](mailto:tatarnikov.n@yandex.ru).

**Boris F. Belelyubsky**, Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof. of the Department of Metallurgy, Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia; [nic\\_mgvmi@mail.ru](mailto:nic_mgvmi@mail.ru).

**Vladimir S. Yusupov**, Dr. Sci. (Eng.), Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia; Head of the Laboratory of Plastic Deformation of Metallic Materials (No. 15), A.A. Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; [vsyusupov@mail.ru](mailto:vsyusupov@mail.ru).

*Статья поступила в редакцию 09.12.2023*

*The article was submitted 09.12.2023*