

Контроль и испытания

УДК 534.16

DOI: 10.14529/engin230206

АВТОКОЛЕБАНИЯ НАТЯЖНЫХ СТАНЦИЙ ТРАВильНОГО АГРЕГАТА, СОВМЕЩЕННОГО СО СТАНОМ ТАНДЕМОМ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ 2000

**М.Л. Краснов¹, П.Л. Качурин¹, С.Г. Вишняков¹, Ю.И. Савченко²,
В.А. Васильев³, А.Ю. Ницкий⁴, А.И. Иванов³**

¹ ПАО ММК, г. Магнитогорск, Россия

² ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

³ НТЦ «СИГМА», г. Челябинск, Россия

⁴ ФГБОУ ВО «ЧелГУ», г. Челябинск, Россия

На многоклетевых станах холодной прокатки, совмещенных с непрерывным травильным агрегатом, автоколебания могут возникать не только на клетях стана, но и на натяжных станциях травильного агрегата. При этом на роликах натяжных станций появляются усталостные трещины, а на поверхности ролика, покрытой полиуретаном, – характерные дефекты.

Для контроля автоколебаний на подшипниковых опорах ролика установлены МЭМС-акселерометры. Сбор данных о вибросостоянии происходит параллельно с контролем технологических параметров. Для хранения данных используются базы данных временных рядов. Гибридная база данных позволяет синхронно обрабатывать как технологические, так и вибрационные параметры. При появлении нештатной ситуации можно построить зависимость автоколебаний от технологических параметров.

Используя результаты промышленного эксперимента, удалось получить характеристику трения прокатываемой полосы на ролике натяжной станции при малых скоростях движения полосы. При скоростях полосы от 0,5 до 1 м/с характеристика трения находится в переходном режиме, может быть как положительной, так и отрицательной. При отрицательной характеристике трения появляется неустойчивость (автоколебания), при положительной характеристике движение ленты стабилизируется.

Обработка сигнала проводилась с использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ). По спектральной характеристике можно определить количество полных циклов, действующих на колебательную систему. Имея достаточный объем информации во времени, можно рассчитать количество циклов и оценить остаточный ресурс до возникновения трещин на торцовых поверхностях ролика натяжной станции.

Ключевые слова: прокатка, травильный агрегат, натяжная станция, вибрация, чаттер, автоколебания, эксперимент.

Стан тандем объединяет травильный агрегат и стан холодной прокатки [1]. Полоса непрерывна и динамически объединяет травильный агрегат и стан (рис. 1). Исходной подготовкой стана холодной прокатки являются очищенные от окалины горячекатаные полосы толщиной 1,2–6,0 мм. Скорость установившегося процесса прокатки в последней клетке стана, совмещенного с травильным агрегатом, обуславливается скоростью движения полос подката через травильные ванны [2–4], толщиной подката травильного агрегата [5, 6] и толщиной прокатанной полосы [7, 8].

На боковых поверхностях ролика натяжной станции НС8 (рис. 2) при определенных условиях появляются трещины (рис. 3), а на поверхности полиуретанового слоя ролика – характерные полосы износа (рис. 4). Трещины и дефекты поверхности являются следствием возникновения автоколебаний. Автоколебания клетей стана холодной прокатки возникают при достижении критических скоростей – больше 20 м/с [9, 10], на полосах толщиной от 0,3 до 0,7 мм [11–14]. Состояние вибрационной диагностики прокатных станов подробно описано в работе [15]. Системы обнаружения автоколебаний (чаттера) и коррекция технологического режима приведены в работах [16, 17].

Для контроля вибрационного состояния натяжной станции 8 (НС8) травильного агрегата установлены МЭМС-акселерометры. Сбор данных о вибросостоянии происходит параллельно с

Контроль и испытания

контролем технологических параметров. Для хранения данных используются базы данных временных рядов.

На стане, совмещенном с травильным агрегатом, возникновение автоколебаний клеток стана не приводит к увеличению уровня вибраций на натяжных станциях травильного агрегата. И наоборот, появление автоколебаний натяжных станций травильного агрегата не сопровождается увеличением уровня вибрации на клетях стана.



Рис. 1. Стан тандем

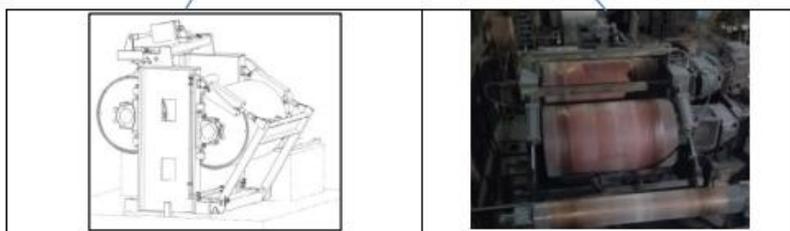


Рис. 2. Натяжная станция НС8



Рис. 3. Трещины на боковых поверхностях роликов



Рис. 4. Износ полиуретанового слоя роликов

В системе АСУ ТП стана существует интеллектуальная система диагностики появления и классификации дефектов. Примеры дефектов приведены на рис. 5.

Дефекты полосы разбиты на три класса – 1, 2, 3-й. Дефекты 3-го класса – это неметаллические включения, которые удаляются вырезанием достаточно большого куска протягиваемой ленты. Для этого стан останавливается, рабочие валки разводятся на 15 мм. При этом полоса освобождается и перематывается с первой моталки на вторую (рис. 6).



Рис. 5. Примеры дефектов: металлургические дефекты (пен, дыры и т. д.). Поверхностные дефекты (ржавые пятна, отсутствие смазки, пятна недотравления)

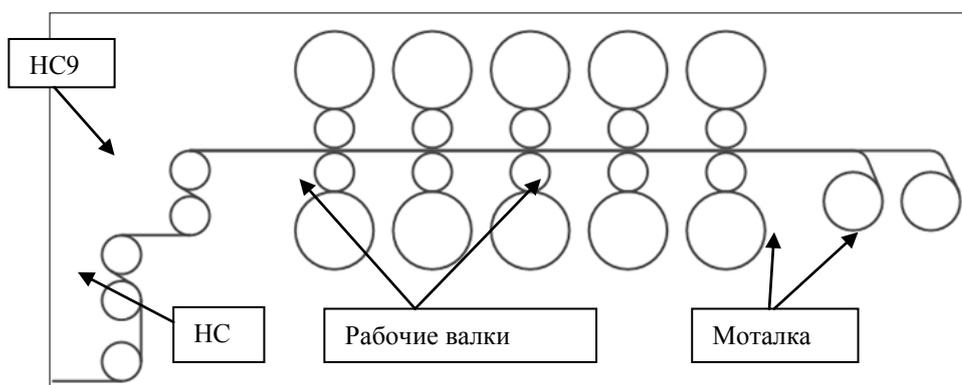


Рис. 6. Принципиальная схема прокатного стана тандема 2000 ММК

Автоколебания натяжных станций происходят, как правило, на подкате толщиной от 5 до 6 мм и скоростях от 0,5 до 1,0 м/с в момент протягивания полосы в клетях стана с целью удаления дефекта.

На рис. 7 показаны уровни вибрации для нормального режима прокатки и для режима автоколебаний. Существенное влияние на возникновение автоколебаний оказывает толщина подката. При подкате от 5,5 до 6 мм амплитуды автоколебаний максимальны. Толщины подката для нормального режима прокатки и для режима протягивания одинаковы и равны примерно 6 мм. Все клетки разводятся на одинаковую величину 15 мм. Разведение рабочих валков первой клетки и пятой клетки показано на рис. 8 и 9.

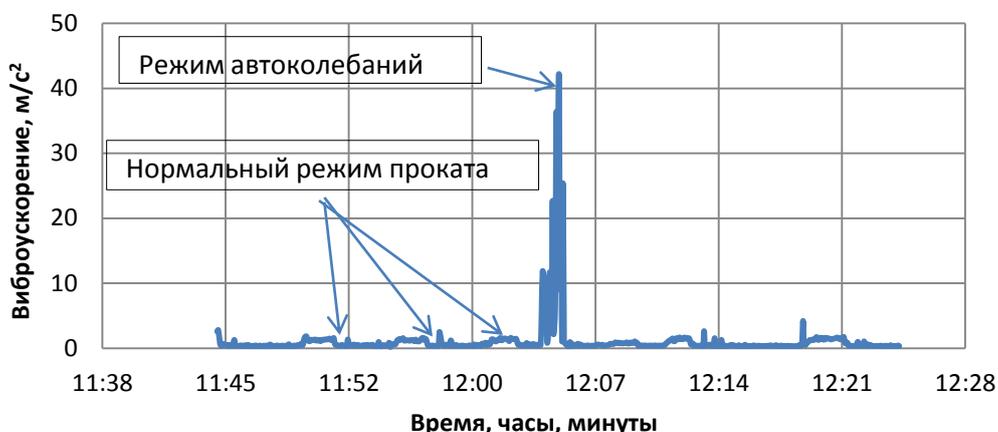


Рис. 7. Момент возникновения автоколебаний на подшипниках ролика натяжной станции травильного агрегата. Амплитуда виброускорения 42 м/с²



Рис. 8. Разведение рабочих валков первой клетки



Рис. 9. Разведение рабочих валков пятой клетки

При нормальной прокатке толщина полосы меняется и меняется скорость прокатки. На рис. 10 приведена скорость нормальной прокатки на первой клетке при толщине подката 6 мм, равная 4,3 м/с. Скорость нормальной прокатки на пятой клетке при той же толщине подката равна 7,5 м/с (рис. 11). Но в случае протягивания дефекта, так как рабочие валки разведены, толщина полосы во всех клетях остается постоянной. Скорость протягивания дефекта первой и пятой клетки одинакова и равна от 0,5 до 1,0 м/с (рис. 12). Причем максимальная скорость протягивания не превышает 1,0 м/с. Эта скорость фиксирована, выставляется автоматически.



Рис. 10. Скорость прокатки в первой клетке

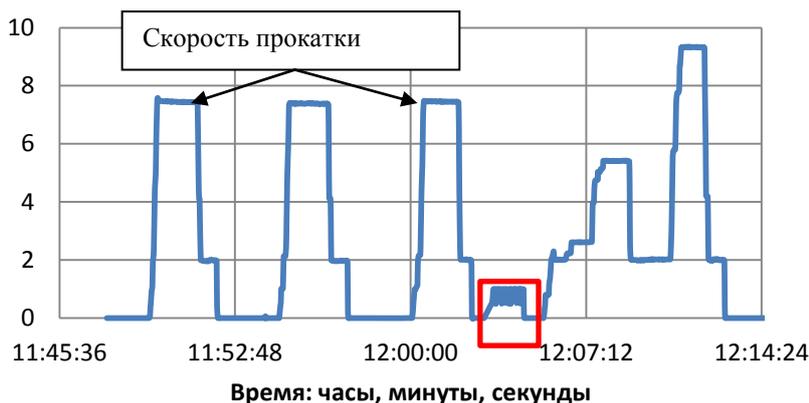


Рис. 11. Скорости прокатки пятой клетки

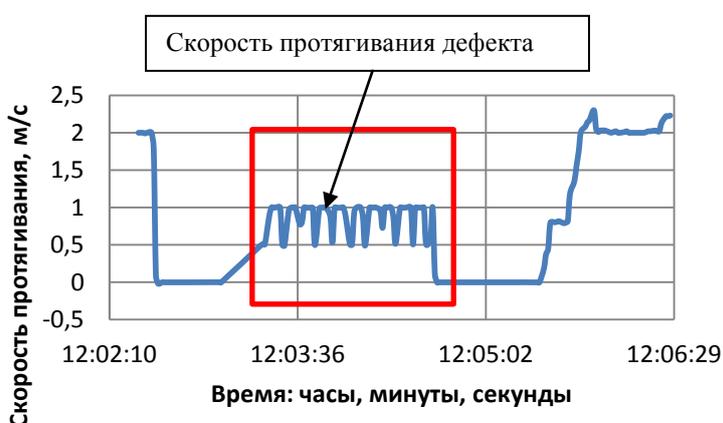


Рис. 12. Скорость протягивания дефекта пятой клетки

Линейная скорость ролика 2 натяжной станции 8 (НС8) при нормальной прокатке равна 3,6–3,7 м/с (рис. 13). Линейная скорость ролика 2 НС8 при протягивании дефекта примерно соответствует скорости протягивания первой клетки и пятой клетки соответственно, но неравномерна и максимальная скорость может быть больше 1,0 м/с (рис. 14).

Момент трения на ролик 2 НС8 при нормальной прокатке равен примерно 2000 Н/м (рис. 15). Момент трения ролика 2 НС8 при протягивании дефекта колеблется с амплитудой от –100 до +3000 Н/м.



Рис. 13. Линейные скорости ролика 2 НС8 при штатной прокатке полосы

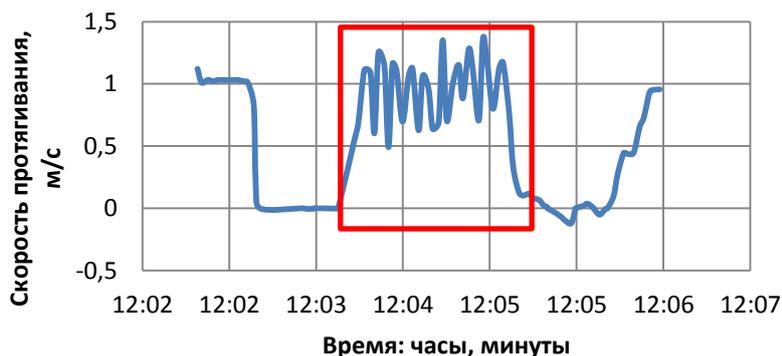


Рис. 14. Линейные скорости ролика 2 НС8 при протягивания дефекта



Рис. 15. Момент трения на ролике 2 НС8 при штатной прокатке полосы

Зная зависимости скорости протягивания дефекта и момента трения ролика 2 НС8 от времени, можно получить и зависимость момента трения от линейной скорости. Такая зависимость, нелинейная характеристика трения ролика НС8, приведена на рис. 16. Так как эта зависимость получена для большого промежутка времени, линии накладываются одна на другую, поэтому трудно увидеть зависимость характеристики. На рис. 17 приведена зависимость для короткого промежутка времени. Здесь четко видна как устойчивая, так и неустойчивая зоны характеристики.

Используя характеристику, приведенную на рис. 17, можно построить модель возникновения автоколебаний и определить условия устойчивой работы натяжной станции [18–20].

На рис. 18 приведены временные формы колебаний в трех взаимно перпендикулярных направлениях на подшипниковых опорах натяжной станции НС8 травильного агрегата. Измерения проводились в течение одной секунды. Количество точек измерения – 8000. На неустойчивой характеристике развиваются интенсивные автоколебания, на устойчивой ветви колебания затухают. Имея достаточный объем информации во времени, можно рассчитать количество циклов и оценить остаточный ресурс до возникновения трещин на торцовых поверхностях ролика натяжной станции.

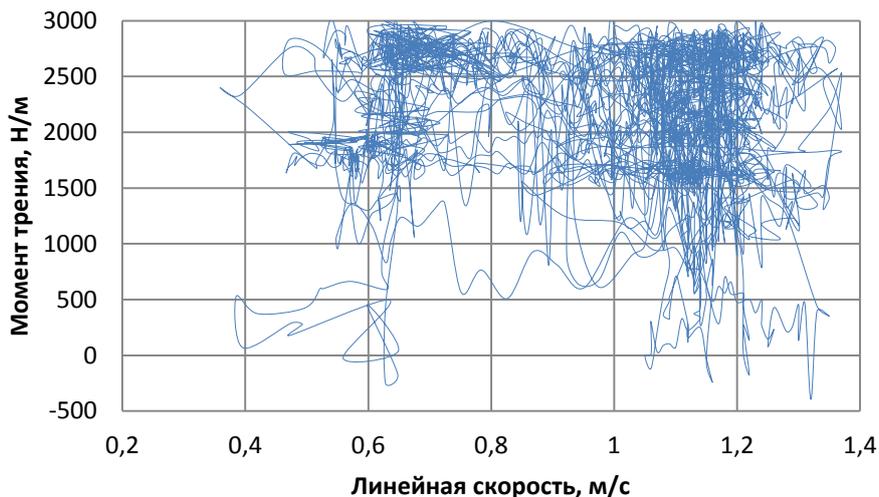


Рис. 16. Нелинейная характеристика трения НС8 в момент протягивания дефекта

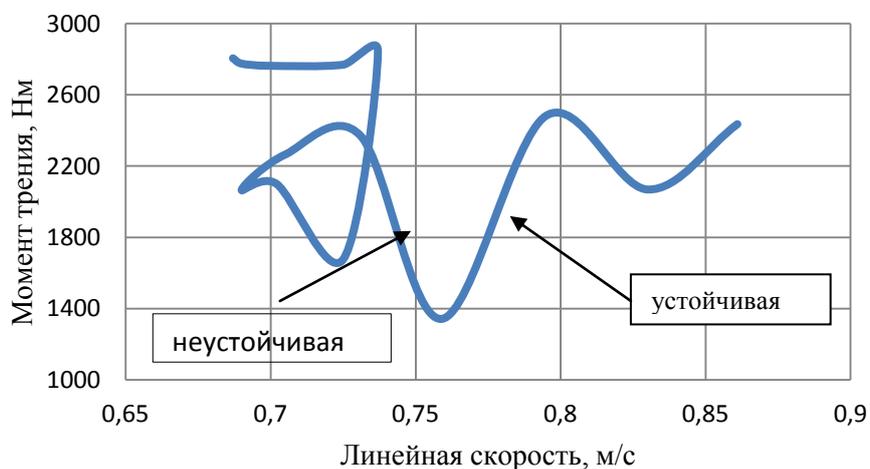


Рис. 17. Нелинейная характеристика трения НС8

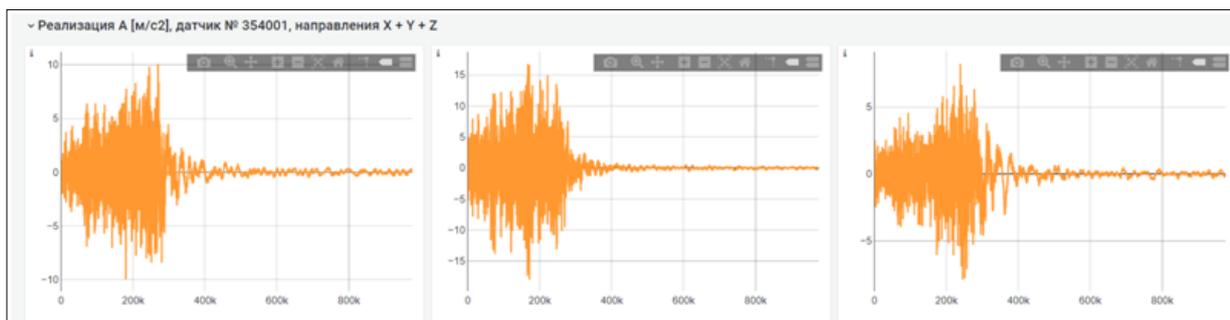


Рис. 18. Релаксационные колебания на подшипниковых опорах натяжной станции НС8

Выводы

Экспериментально получена характеристика трения прокатываемой полосы на ролике натяжной станции при малых скоростях движения полосы. При протягивании полосы со скоростью от 0,5 до 1 м/с характеристика трения находится в переходном режиме, может быть как положительной, так и отрицательной.

При отрицательной характеристике трения появляется неустойчивость (автоколебания), при положительной характеристике движение ленты стабилизируется.

Имея достаточный объем информации во времени можно рассчитать количество циклов и оценить остаточный ресурс до возникновения трещин на торцовых поверхностях ролика натяжной станции.

Литература

1. Минаев А.А., Коновалов Ю.В. Совмещение технологических процессов – одно из главных направлений развития металлургии // *Обработка металлов давлением: сб. науч. тр. Краматорск: ДГМА, 2012. № 4. С. 5–16. <http://ea.donntu.edu.ua/handle/123456789/16425>*

2. Румянцев М.И., Зелинов И.Д., Новицкий И.О., Зелинова Ю.А. Совершенствование модели настройки изгибно-растяжного окалиноромателя для автоматизированного проектирования скоростного режима непрерывно-тривального агрегата, совмещенного с прокатным станом // *Технические науки – от теории к практике. 2015. № 12 (48). С. 122–130.*

3. Василев Я.Д., Самокиш Д.Н., Замогильный Р.А., Железнов Д.В. Экспериментальное исследование влияния натяжения на силу прокатки и кривые пластичности при холодной прокатке // *Обработка материалов давлением. 2017. Т. 44. № 1. С. 192–198.*

4. Румянцев М.И., Завалицин А.Н., Колыбанов А.Н., Есипова О.Н. Обоснование натяжения полосы в цифровом двойнике стана холодной прокатки // *Черные металлы, 2021. №11. DOI: 10.17580/chm.2021.11.10*

5. Hu P.-A., Zhao H., Ehmann K.F. Third-octave-mode chatter in rolling. Part 1: chatter model // *Proc. Inst. Mech. Eng., Part B: J. Eng. Manuf. 2006. Vol. 220. P. 1267–1277. DOI: 10.1243/09544054B06804*

6. Yimin Sh., Xiao D., Yilin Yu., Mechevske K., Chen Ch. Characteristic recognition of chatter mark vibration in a rolling mill based on non-dimensional parameters of the vibration signal // *Journal of Mechanical Science and Technology 2014. Vol. 28(6), P. 2075-2080 DOI: 10.1007/s12206-014-0106-6*

7. Amer Y.A., El-Sayed A.T., El-Bahrawy F.T. Torsional vibration reduction for rolling mill's main drive system via negative velocity feedback under parametric excitation // *J. Mech. Sci. Technol. 2015. Vol. 29(4). P. 1581–1589. <https://doi.org/10.1007/s12206-015-0330-8>*

8. Analysis of chatter in tandem cold rolling mills/ Y Kimura, Y Sodani, N Nishiura, N Ikeuchi, Y Mihara // *ISIJ International. 2003. Vol. 43(1). P. 77–84. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.43.77>*

9. Yarita I Analysis of chattering in cold rolling for ultra-thin gauge steel strip // *Trans Iron Steel Inst Jpn. 1978. Vol. 18(1). P. 1–10. <https://doi.org/10.2355/isijinternational1966.18.1>*

10. Heidari A., Forouzan M.R., Akbarzadeh S. Effect of Friction on Tandem Cold Rolling Mills Chattering // *ISIJ International. 2014. Vol. 54(10). P. 2349–2356. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.54.2349>*

11. Heidari A., Forouzan M.R., Akbarzadeh S. Optimization of cold rolling process parameters in order to increasing rolling speed limited by chatter vibrations // *Journal of Advanced Research. 2011. Vol. 4. P. 27–34, <https://doi.org/10.1016/j.jare.2011.12.001>*

12. Heidari A., Forouzan M.R., Akbarzadeh S. Development of a Rolling Chatter Model Considering Unsteady Lubrication // *Department of Mechanical Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan. 2014. Vol. 54. P. 165–170. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.54.165>*

13. High-speed rolling by hybrid-lubrication system in tandem cold rolling mills/ Y. Kimura, N. Fujita, Y. Matsubara, K. Kobayashi, Y. Amanuma, O. Yoshioka, Y. Sodani // *J. Mater Process Technol. 2015. Vol. 21(6). P. 357–368. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2014.10.002>*

14. Zhao H., Ehmann K.F. Stability analysis of chatter in tandem rolling mills—part 1: single- and multi-stand negative damping effect // *J Manuf Sci Eng. 2013. Vol. 135(3). P. 031001–031001. <https://doi.org/10.1115/1.4024032>*

15. Веревнев В.В., Большаков В.И. Состояние вибрационной диагностики и мониторинга оборудования прокатных станков // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: сб. научн. тр. Днепропетровск: ИЧМ НАН Украины, 2006. Вып. 12. С. 267–281.*

16. Система обнаружения признаков развития «чаттера» и своевременной коррекции технологического режима непрерывной холодной прокатки полос/ И.Ю. Приходько, П.В. Крот,

Е.А. Парсенюк, П.П. Чернов, В.А. Пименов, Ю.А. Цуканов // Труды VII Конгресса прокатчиков. М., 2007. Т. 1. С. 115–123.

17. Крот П.В., Приходько И.Ю. Определение режима трения в очаге деформации при холодной прокатке полос по сигналам вибрации валков // Международная IX конференция «Фундаментальные и прикладные проблемы надежности и диагностики машин и механизмов». Институт проблем машиноведения (ИПМаш) РАН, 25–27 окт. 2009, СПб. С. 242–247.

18. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. М.: Машиностроение, 1976. 243 с.

19. Лушников Б.В. Компьютерное моделирование динамики элемента сухого некулонова трения // Известия Самарского науч. центра Росс. акад. наук. 2010. Т. 12, № 1 (2). С. 439–444.

20. Пожалостин А.А., Панишина А.В. Автоколебания в одномерных упругих системах с трением // Известия МГТУ «МАМИ». 2014. № 4(22). С. 71–75.

Краснов Максим Львович, начальник листопрокатного цеха № 11, ПАО ММК, г. Магнитогорск, krasnov.ml@mmk.ru

Качурин Павел Леонидович, заместитель начальника листопрокатного цеха № 11, ПАО ММК, г. Магнитогорск, kachurin.pl@mmk.ru

Вишняков Сергей Геннадьевич, начальник цеха ПРОКАТСЕРВИС 11 ООО «ОСК», ПАО ММК, г. Магнитогорск, vishnyakov.sg@mmk.ru

Савченко Юрий Иванович, к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика», ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, jura_sav@mail.ru

Васильев Виталий Альбертович, канд. техн. наук, зам. директора, НТЦ «СИГМА», г. Челябинск, vasilyev_va@list.ru

Ницкий Антон Юрьевич, научный сотрудник ФГБОУ ВО «ЧелГУ», г. Челябинск, nitskiy@list.ru.

Иванов Анатолий Иванович, научный сотрудник, НТЦ «СИГМА», г. Челябинск, ivanovanat88@gmail.com

Поступила в редакцию 18 мая 2023 г.

DOI: 10.14529/engin230206

SELF-OSCILLATION OF THE TENSION STATIONS OF AN ETCHING UNIT COMBINED WITH THE TANDEM COLD-ROLLING MILL 2000

M.L. Krasnov¹, krasnov.ml@mmk.ru

P.L. Kachurin¹, kachurin.pl@mmk.ru

S.G. Vishnyakov¹, vishnyakov.sg@mmk.ru

Yu.I. Savchenko², jura_sav@mail.ru

V.A. Vasilyev³, vasilyev_va@list.ru

A.Yu. Nitskiy⁴, nitskiy@list.ru

A.I. Ivanov³, ivanovanat88@gmail.com

¹ Magnitogorsk Iron and Steel Works, Magnitogorsk, Russian Federation

² Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, Magnitogorsk, Russian Federation

³ "SIGMA" Scientific Research Center, Chelyabinsk, Russian Federation

⁴ Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russian Federation

On multi-cage cold rolling mills combined with a continuous etching unit, self-oscillations can occur not only on the mill stands but also on the tensioning stations of the etching unit. Fatigue cracks can appear on the rollers of the tension stations, and characteristic defects can appear on the surface of the polyurethane-coated roller.

To measure self-oscillations, MEMS accelerometers are installed on the roller bearing supports. The collection of vibrational data takes place in parallel with the measurement of technological parameters. Time series databases are used for data storage. The hybrid database allows the simultaneous processing of technological and vibrational parameters. When an emergency situation occurs, it is possible to chart the dependence of self-oscillations on the technological parameters.

Using the results of an industrial experiment, it was possible to obtain the characteristic of the friction of the rolled strip on the roller of the tension station at low strip movement speeds. At band speeds from 0.5 m/s to 1 m/s, the friction characteristic is in a transient mode and can be either positive or negative. With a negative characteristic of friction, self-oscillation appears, with a positive characteristic, the movement of the belt stabilizes.

Signal processing was carried out using Fast Fourier Transform (FFT). According to the spectral characteristic, it is possible to determine the number of complete cycles acting on the oscillatory system. Having a sufficient amount of information in time, it is possible to calculate the number of cycles and estimate the residual resource before cracks appear on the end surfaces of the roller of the tensioning station.

Keywords: rolling, pickling unit, tension station, vibration, chatter, self-oscillations, experiment.

References

1. Minaev A.A., Konovalov Yu.V. [Combining Technological Processes is One of the Main Directions of Metallurgy Development] *Metal processing by pressure: collection of scientific tr. Kramatorsk: DGMA*, 2012. No. 4. pp. 5–16. <http://ea.donntu.edu.ua/handle/123456789/16425> (in Russ.)
2. Rummyantsev M.I., Zelinov I.D., Novitsky I.O., Zelinova Yu.A. [Improving the Tuning Model of a Bending-Stretching Scale Breaker for Computer-Aided Design of a High-Speed Mode of a Continuous Etching Unit Combined with a Rolling Mill] *Technical Sciences – from theory to practice* 2015, No. 12 (48), pp. 122–130. (in Russ.)
3. Vasilev Ya.D., Samokish D. N., Zamogilny R. A., Zheleznov D.V. [Experimental Investigation of the Effect of Tension on the Rolling Force and Plasticity Curves During Cold Rolling] *Processing of materials by pressure*, 2017, vol. 44, no. 1, pp. 192–198. (in Russ.)
4. Rummyantsev M.I., Zavalishchin A.N., Kolybanov A.N., Esipova O.N. [Justification of Strip Tension in a Digital Double of a Cold Rolling Mill] *Ferrous Metals*, 2021, No. 11. DOI: 10.17580/chm.2021.11.10 (in Russ.)
5. Hu P.-A., Zhao H., Ehmann K.F. Third-octave-mode chatter in rolling. Part 1: chatter model. *Proc. Inst. Mech. Eng., Part B: J. Eng. Manuf.* 2006. V. 220, P. 1267–1277. DOI: 10.1243/09544054B06804
6. Yimin Sh., Xiao D., Yilin Yu., Mechefske K., Chen Ch. Characteristic recognition of chatter mark vibration in a rolling mill based on non-dimensional parameters of the vibration signal. *Journal of Mechanical Science and Technology* 2014. Vol. 28(6). P. 2075–2080 DOI: 10.1007/s12206-014-0106-6
7. Amer Y.A., El-Sayed A.T., El-Bahrawy F.T. Torsional vibration reduction for rolling mill's main drive system via negative velocity feedback under parametric excitation. *J. Mech. Sci. Technol.* 2015. Vol. 29(4). P. 1581–1589. <https://doi.org/10.1007/s12206-015-0330-8>
8. Kimura Y, Sodani Y, Nishiura N, Ikeuchi N, Mihara Y. Analysis of chatter in tandem cold rolling mills. *ISIJ International*. 2003. Vol. 43(1). P. 77–84. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.43.77>
9. Yarita I Analysis of chattering in cold rolling for ultra-thin gauge steel strip. *Trans Iron Steel Inst Jpn.* 1978. Vol. 18(1). P. 1–10. <https://doi.org/10.2355/isijinternational1966.18.1>
10. Heidari A., Forouzan M.R., Akbarzadeh S. Effect of Friction on Tandem Cold Rolling Mills Chattering. *ISIJ International*. 2014. Vol. 54(10). P. 2349–2356. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.54.2349>
11. Heidari A., Forouzan M.R., Akbarzadeh S. Optimization of cold rolling process parameters in order to increasing rolling speed limited by chatter vibrations. *Journal of Advanced Research*. 2011. Vol. 4. P. 27–34, <https://doi.org/10.1016/j.jare.2011.12.001>
12. Heidari A., Forouzan M.R., Akbarzadeh S. Development of a Rolling Chatter Model Considering Unsteady Lubrication. *Department of Mechanical Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan*. 2014. Vol. 54. P. 165–170. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.54.165>

13. Kimura Y, Fujita N, Matsubara Y, Kobayashi K, Amanuma Y, Yoshioka O, Sodani Y High-speed rolling by hybrid-lubrication system in tandem cold rolling mills. *J. Mater Process Technol.* 2015. Vol. 21(6). P. 357–368, <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2014.10.002>
14. Zhao H., Ehmann K.F. Stability analysis of chatter in tandem rolling mills—part 1: single- and multi-stand negative damping effect. *J Manuf Sci Eng.* 2013. Vol. 135(3). P. 031001–031001. <https://doi.org/10.1115/1.4024032>
15. Verenev V.V., Bolshakov V.I. [The State of Vibration Diagnostics and Monitoring of Rolling Mill Equipment] *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy: Collection of scientific tr. Dnepropetrovsk.: ICM NAS of Ukraine*, 2006. Issue. 12, pp. 267–281. (in Russ.)
16. Prikhodko I.Yu., Krot P.V., Parsenyuk E.A., Chernov P.P., Pimenov V.A., Tsukanov Yu.A. [System Detection of Signs of Chatter Development and Timely Correction of The Technological Regime of Continuous Cold Rolling of Strips] *Proceedings of the VII Congress of Distributors, Moscow*, 2007. Vol. 1, pp. 115–123. (in Russ.)
17. Krot P.V., Prikhodko I.Yu. [Determination of the friction mode in the deformation focus during cold rolling of strips by vibration signals of rolls] *International IX Conference "Fundamental and applied problems of reliability and diagnostics of machines and mechanisms". Institute of Problems of Mechanical Engineering (IPMash) of the Russian Academy of Sciences*, 2009, St. Petersburg, pp. 242–247. (in Russ.)
18. Panovko Ya.G. *Osnovy prikladnoy teorii kolebaniy i udara* [Fundamentals of the Applied Theory of Vibrations and Impact], Moscow, "Mechanical Engineering", 1976, 243 p.
19. Lushnikov B. V. [Computer Modeling of Dynamics of a Dry Non-Coulomb Friction Element] *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2010, Vol.12, № 1 (2). pp.439–444. (in Russ.)
20. Zhalostin A.A., Panshina A.V. [Self-Oscillations in One-Dimensional Elastic Systems with Friction] *Izvestiya MSTU "MAMI"*. 2014, No. 4(22), pp. 71–75 (in Russ.)

Received 18 May 2023

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Автоколебания натяжных станций травильного агрегата, совмещенного со станом тандемом холодной прокатки 2000 / М.Л. Краснов, П.Л. Качурин, С.Г. Вишняков и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2023. – Т. 23, № 2. – С. 61–71. DOI: 10.14529/engin230206

FOR CITATION

Krasnov M.L., Kachurin P.L., Vishnyakov S.G., Savchenko Yu.I., Vasilyev V.A., Nitskiy A.Yu., Ivanov A.I. Self-oscillation of the tension stations of an etching unit combined with the tandem cold-rolling mill 2000. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2023, vol. 23, no. 2, pp. 61–71. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin230206
