

УДК 674.023

DOI: 10.37482/0536-1036-2021-5-142-149

ПЛАСТИНЧАТЫЕ АМОРТИЗАТОРЫ-ДЕМПФЕРЫ В НАТЯЖНЫХ УСТРОЙСТВАХ ЛЕНТОЧНОПИЛЬНЫХ СТАНКОВ

А.Е. Алексеев, д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: [ABG-3167-2020](https://orcid.org/0000-0001-7164-5007),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7164-5007>

И.О. Думанский, канд. техн. наук, доц.; ResearcherID: [AAH-8771-2020](https://orcid.org/0000-0002-9277-901X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9277-901X>

А.В. Прохоров, ст. преп.; ResearcherID: [ABG-1913-2020](https://orcid.org/0000-0001-7592-0782),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7592-0782>

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: a.alekseev@narfu.ru, i.dumanskij@narfu.ru, a.prohorov@narfu.ru

Оригинальная статья / Поступила в редакцию 12.04.20 / Принята к печати 26.06.20

Аннотация. Проанализированы преимущества и недостатки ленточнопильных станков. Выявлена связь недостатков с таким параметром, как усилие натяжения ленточной пилы. Ее использование в качестве режущего инструмента приводит к понижению поперечной жесткости и устойчивости режущего участка на рабочей ветви. Это становится причиной колебания ширины реза, снижения геометрической точности пиломатериалов и роста шероховатости боковых поверхностей пропила. Определены основные виды механизмов натяжных устройств, усиливающих натяжение и поддерживающих его стабильность во время работы, описаны распространенные недостатки конструкции. Маслонаполненные пластинчатые металлические амортизаторы-демпферы могут быть использованы для создания компактных и малоинерционных демпферных устройств для ленточнопильных станков с любыми основными механизмами натяжения пильной ленты. Исследовано влияние устройства на уровень динамических колебаний силы натяжения, вызванных искусственным эксцентриситетом натяжного шкива. Оценку эффективности осуществляли путем компьютерного осциллографирования сигнала датчика усилия натяжения и последующей компьютерной обработки полученных осциллограмм. Действенность применения демпферных устройств подтверждается качеством пиления, которое характеризуется более низким уровнем шероховатости боковых поверхностей реза при одновременном сокращении разнотолщинности заготовки. Рассмотрены методы устранения недостатков с помощью различных видов натяжных устройств и оценена эффективность использования демпферных устройств с маслонаполненными пластинчатыми амортизаторами. Приведена методика исследования и параметры экспериментальной установки. Сделаны выводы об эффективности применения демпферных устройств.

Для цитирования: Алексеев А.Е., Думанский И.О., Прохоров А.В. Пластинчатые амортизаторы-демпферы в натяжных устройствах ленточнопильных станков // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 5. С. 142–149. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-5-142-149

Ключевые слова: ленточнопильный станок, система натяжения, амортизатор-демпфер, усилие натяжения.

PLATE DAMPERS IN THE TENSIONING UNITS OF BANDSAW MACHINES

Alexandr E. Alekseev, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [ABG-3167-2020](https://orcid.org/0000-0001-7164-5007).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7164-5007>

Igor O. Dumanskij, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: [AAH-8771-2020](https://orcid.org/0000-0002-9277-901X).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9277-901X>

Alexey V. Prokhorov, Senior Lecturer; ResearcherID: [ABG-1913-2020](https://orcid.org/0000-0001-7592-0782).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7592-0782>

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: a.alekseev@narfu.ru, i.dumanskij@narfu.ru, a.prokhorov@narfu.ru

Original article / Received on April 12, 2020 / Accepted on June 26, 2020

Abstract. The article analyses strengths and weaknesses of bandsaw machines. While analysing we have found the relationship between the weaknesses and the tension of a band saw. Its use as a cutting tool leads to a decrease in the lateral rigidity and stability of the cutting section on the pulling chain. This leads to fluctuations in the cutting width, a decrease in the geometric accuracy of sawn timber and an increase in the roughness of the side surfaces of a kirf. The main types of tensioning unit mechanisms, which strengthen the tension and maintain its stability during operation, are defined, and common design flaws are described. Oil-filled metal plate dampers promote space-saving and low-inertia dampers for bandsaw machines with any basic saw blade tensioning mechanisms. The influence of the device on the level of dynamic fluctuations of the tensile force caused by the artificial eccentricity of the tension pulley was studied. The efficiency was evaluated by computer oscillography of the tensile load sensor signal and subsequent computer processing of the obtained oscillograms. The effectiveness of using damper devices is confirmed by the quality of sawing, which is characterized by a lower level of roughness of the lateral surfaces of the cut while reducing the variation in thickness of a workpiece. Methods of eliminating flaws with different types of tensioning units are reviewed, and the effectiveness of using oil-filled plate dampers is evaluated. The article presents the research technique and parameters of the experimental unit as well as the conclusions on the effectiveness of damping devices.

For citation: Alekseev A.E., Dumanskij I.O., Prokhorov A.V. Plate Dampers in the Tensioning Units of Bandsaw Machines. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2021, no. 5, pp. 142–149. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-5-142-149

Keywords: bandsaw machine, tension system, dampers, tensile load.

Введение

В современных технологиях лесопиления и деревообработки широко используются ленточнопильные станки (ЛПС). Это связано с их существенными преимуществами по сравнению с другими видами лесопильного оборудования. К таким преимуществам можно отнести высокую производительность, малую ширину пропила, возможность разделки древесины различных (в т. ч. и больших) поперечных размеров, способность обеспечивать криволинейные резы, низкий уровень вибрационных воздействий и т. д. [1, 3, 15, 16]. Однако наряду с неоспоримыми преимуществами ЛПС обладают и рядом серьезных недостатков. Они связаны прежде всего с особенностями рабочего органа ЛПС – ленточной пилы [2, 6, 17, 18]. Использование ее в качестве режущего инструмента

часто приводит к относительно низкой поперечной жесткости и, как следствие, к пониженной устойчивости режущего участка на рабочей ветви. Из-за этого колеблется ширина реза, снижается геометрическая точность пиломатериалов и обрабатываемых заготовок, а также растет шероховатость боковых поверхностей пропила.

Анализ процесса резания ЛПС показывает, что названные недостатки в значительной степени определяются усилием натяжения ленточной пилы, стабильностью этого усилия во время работы и динамикой восстановления усилия после возмущающих воздействий, вызванных изменениями условий резания: переменной твердостью древесины, наличием сучковых участков и околосучковых зон, вариацией влажности и слоистости распиливаемой древесины.

Функцию создания усилия натяжения пильной ленты и поддержания его стабильности в ЛПС выполняет механизм натяжения. Способность механизма натяжения оперативно реагировать на изменение условий резания, т. е. на изменение усилия натяжения, определяется его типом и конструктивными особенностями [11, 13]. В ЛПС используют различные виды таких устройств [1, 3]: механические, рычажно-грузовые, пружинные, гидравлические и пневматические. Анализ их динамических характеристик [4, 6] показывает, что все перечисленные механизмы не обеспечивают необходимого быстродействия, а значит и необходимой реакции на колебания усилия натяжения в процессе резания. Это связано либо с отсутствием демпфирующих способностей конструкции механизма натяжения (механические и рычажно-грузовые), либо со значительными неподрессоренными массами (пружинные), либо с высокой инерционностью системы регулирования и стабилизации усилия натяжения (гидравлические и пневматические) [1, 3].

Одним из рациональных методов устранения отмеченных выше недостатков натяжных механизмов различных типов является дооснащение ЛПС демпферным устройством, которое устанавливается на холостой ветви пильной ленты [1, 10, 14, 19]. Оно состоит из специальных опор скольжения, или роликовых кареток, создающих дополнительное поперечное отклонение пильной ленты от прямолинейного положения и таким образом влияющих на усилие натяжения ленты, причем степень влияния пропорциональна величине отклонения. Ряд авторов [4, 7, 12] предлагают использовать в качестве приводов для подобных устройств адаптивные гидро- и пневмосистемы, управляемые сигналами датчиков усилия натяжения, однако такие системы достаточно сложны, дорогостоящи и малоэффективны ввиду своей инерционности, особенно если они применяются для доработки уже существующих и эксплуатируемых ЛПС.

Известны маслonaполненные пластинчатые металлические амортизаторы-демпферы [5], позволяющие создать простые компактные и поэтому малоинерционные демпферные устройства для ЛПС, которые могут быть применены как в проектируемых конструкциях, так и в уже существующих ЛПС с любыми основными механизмами натяжения пильной ленты. Целью данной работы является оценка эффективности демпферных устройств с маслonaполненными пластинчатыми амортизаторами-демпферами в качестве силовых элементов.

Объекты и методы исследования

Оценку эффективности применения пластинчатых амортизаторов-демпферов в демпферном устройстве ЛПС осуществляли на экспериментальной установке, созданной на базе ленточнопильного станка марки «Стандарт» (Германия) с диаметром шкивов 1000 мм и рычажно-грузовой системой натяжения. В качестве режущего инструмента использовали ленточную пилу с поперечным сечением 1,0×85 мм, шагом зубьев 40 мм и уширением на сторону 0,5 мм. В основной механизм натяжения вмонтировали тензометрический датчик усилия, сигнал с которого через аналого-цифровой преобразователь передавался на компьютер, используемый в качестве регистрирующего прибора. Сигнал обрабатывали и анализировали. На холостой ветви пильной ленты устанавливали дополнительный демпферный механизм, состоящий из траверсы с роликами, подрессоренной маслonaполненным пластинчатым амортизатором-демпфером, закрепленным на перемещаемой ходовым винтом площадке. Это перемещение обеспечивало настройку величины бокового отжима пильной ленты в диапазоне 0...50 мм. Верхний (натяжной) шкив установки дооборудовали приспособлением, дающим возможность получения высокоточного эксцентриситета внешней цилиндрической поверхности относительно оси вращения в диапазоне 0...0,5 мм. Регулируемый эксцентриситет позволял искусственно изменять неравномерность усилия натяжения пильной ленты для экспериментального изучения эффективности демпфирования этой неравномерности.

Экспериментальную оценку эффективности демпферного устройства осуществляли в два этапа. На первом этапе исследовали влияние устройства на уровень динамических колебаний силы натяжения $\Delta N_{\text{дин}}$, вызванных искусственным эксцентриситетом натяжного шкива Δr , равным 0,2 и 0,3 мм. Эффективность демпфирования оценивали сравнением колебаний $\Delta N_{\text{дин}}$ при включенном демпферном устройстве и без него. Среднее значение $\Delta N_{\text{дин}}$ определяли путем компьютерной обработки осциллограмм сигнала датчика усилия. Исследования стабильности усилия натяжения в пильной ленте проводили при статических напряжениях натяжения σ_0 , равных 85 и 110 МПа, при скорости резания 30 м/с и начальных усилиях бокового отжима 3 и 6 кН.

На втором этапе проводили исследования эффективности демпферного устройства в условиях реального технологического процесса пиления. Распиливание подвергали сосновые заготовки с сучковыми зонами и высотой пропила 150 мм, длиной 1200 мм, средней влажностью 10 % при скорости подачи 20 м/мин. Оценку эффективности осуществляли так же, как и на первом этапе, т. е. путем компьютерного осциллографирования сигнала датчика усилия натяжения и последующей компьютерной обработки полученных осциллограмм. Помимо этого, используя теоретическую методику расчета напряженного состояния пильной ленты как передачи с гибкой связью [8, 9, 20], на втором этапе определяли колебания напряжений в материале пильной ленты, а также степень понижения коэффициента запаса прочности при этих колебаниях без демпфирования и с демпфированием.

Результаты исследования и их обсуждение

Планиметрический компьютерный анализ осциллограмм усилия натяжения, полученных на первом этапе эксперимента при показателях эксцентриситета натяжного шкива 0,2 и 0,3 мм и двух начальных уровнях напряжений в пильной ленте (85 и 110 МПа), показывает существенное положительное влияние демпферного устройства на динамические колебания $\Delta N_{\text{дин}}$ (рис. 1, 2). Так, при начальном напряжении $\sigma_0 = 85$ МПа и уровне усилия упругого отжима 4 кН эти колебания при наличии демпфера составили 64 Н по сравнению с 98 Н без демпферного устройства. Увеличение усилия упругого отжима до 6 кН привело к росту эффекта демпфирования. В этом случае колебания усилия натяжения снижались до 53 Н.

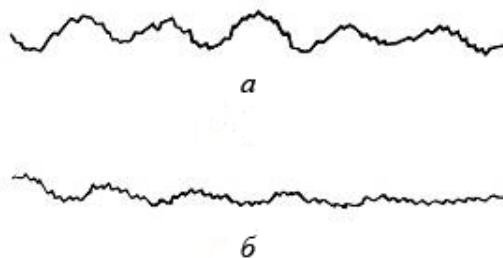


Рис. 1. Осциллограмма динамических колебаний силы натяжения ΔN пильной ленты при напряжении $\sigma_0 = 85$ МПа для эксцентриситета $\Delta r = 0,2$ мм: *a* – без демпфирующего устройства; *б* – с демпфирующим устройством

Fig. 1. Oscillogram of dynamic fluctuations of tensile force ΔN of a saw blade at tension $\sigma_0 = 85$ МПа for eccentricity $\Delta r = 0,2$ mm: *a* – no damping device; *б* – with a damping device

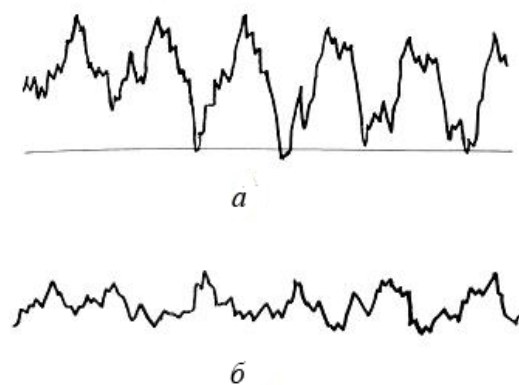


Рис. 2. Осциллограмма динамических колебаний силы натяжения ΔN пильной ленты при напряжении $\sigma_0 = 85$ МПа для эксцентриситета $\Delta r = 0,3$ мм: *a* – без демпфирующего устройства; *б* – с демпфирующим устройством

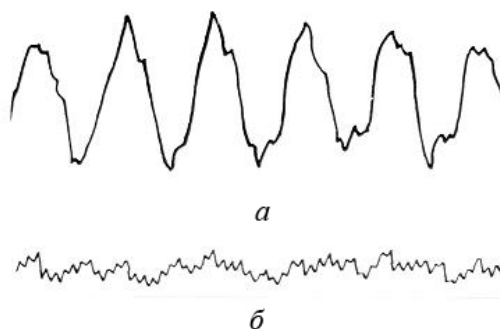
Fig. 2. Oscillogram of dynamic fluctuations of tensile force ΔN of a saw blade at tension $\sigma_0 = 85$ МПа for eccentricity $\Delta r = 0,3$ mm: *a* – no damping device; *б* – with a damping device

К некоторому росту эффекта демпфирования ведет и увеличение начального уровня напряжений в пильной ленте σ_0 до 110 МПа (рис. 3). При этом $\Delta N_{\text{дин}}$ снижается до 48 Н по сравнению с 109 Н без демпфирования.

Оценка изменения напряженного состояния пильной ленты по методике [8, 9] при использовании демпферного устройства также подтверждает положительное влияние демпфирования.

Рис. 3. Осциллограмма динамических колебаний силы натяжения ΔN пильной ленты при напряжении $\sigma_0 = 110$ МПа для эксцентриситета $\Delta r = 0,3$ мм: *a* – без демпфирующего устройства; *б* – с демпфирующим устройством

Fig. 3. Oscillogram of dynamic fluctuations of tensile force ΔN of a saw blade at tension $\sigma_0 = 110$ MPa for eccentricity $\Delta r = 0.3$ mm: *a* – no damping device; *б* – with a damping device



В случае демпфирования колебания напряжений в ленте уменьшаются до 2,6 % по сравнению с 22 % без него. Такую же тенденцию наблюдали и на уровне относительного снижения коэффициента запаса прочности при увеличении эксцентриситета натяжного шкива до 0,3 мм, что в 8,3 раза меньше по сравнению с механизмом натяжения без демпфирования. Подобное замедление эквивалентно повышению долговечности ленточных пил до 1,5–2 раз при эксплуатации ЛПС, оборудованных демпферным устройством.

Анализ осциллограмм усилия натяжения в режиме реального пиления, полученных на втором этапе эксперимента, позволяет сделать заключение, что в процессе врезания рост усилия натяжения достигает 1050 Н без демпфирования по сравнению с 830 Н при наличии демпфирующего механизма. При этом последующее затухание всплеска усилия натяжения от врезания при наличии демпфера наступает через 90–110 мм реза против отсутствия такого затухания на всей длине реза без демпфирования, что говорит о существенном эффекте повышения устойчивости и поперечной жесткости пильной ленты на рабочем участке. Похожее поведение механизма натяжения проявляется и при распиливании сучковых и околосучковых зон.

Эффективность применения демпферных устройств подтверждается ростом качества пиления, которое характеризуется значительно более низким уровнем шероховатости боковых поверхностей реза при одновременном (до 1,4 раза) снижении разнотолщинности заготовки.

Выводы

1. Применение демпфирования с рычажно-грузовой системой натяжения ленточных пил обеспечивает значительное уменьшение динамических нагрузок в механизме резания ленточнопильных станков и создает предпосылки для повышения долговечности инструмента.

2. Введение в систему натяжения демпферного устройства на базе низкочастотного пластинчатого маслonaполненного амортизатора-демпера способствует стабилизации силы натяжения.

3. Демпфирующее устройство в зоне холостой ветви может эффективно снижать влияние возмущающих факторов на динамику механизма резания ленточнопильных станков.

4. С замедлением относительного снижения коэффициента запаса прочности повышение долговечности ленточных пил при использовании демпфирования достигает 1,5–2 раз по сравнению с применением рычажно-грузовой системы натяжения без демпфирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Веселков В.И., Веселкова Б.А., Исупова Т.С. Исследование работоспособности различных конструкций механизмов натяжения пил ленточных станков // Машины и инструменты деревообрабатывающих производств. Л.: ЛТА, 1981. С. 60–64. Veselkov V.I., Veselkova B.A., Isupova T.S. Study of the Performance of Various Designs of Tensioning Mechanisms for Saws of Bandsaw Machines. *Machines and Tools for Woodworking Industries*. Leningrad, LTA Publ., 1981, pp. 60–64.
2. Добрынин Е.Д. Исследование причин аварийного расхода ленточных пил // Механическая технология древесины. Л.: ЛТА, 1976. С. 45–46. Dobrynin E.D. Study of the Causes of Emergency Consumption of Band Saws. *Mechanical Technology of Wood*. Leningrad, LTA Publ., 1976, pp. 45–46.
3. Исупова Т.С. Стабилизация усилия натяжения полотна ленточной пилы // Изв. вузов. Лесн. журн. 1982. № 3. С. 76–79. Isupova T.S. Stabilization of Tensioning Force of Band Saw Blade. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 1982, no. 3, pp. 76–79. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/apxiv/1982/%E2%84%963-1982.pdf>
4. Патент на полезную модель 26475 РФ, МПК В27В 13/08. Ленточнопильный станок: № 2002108407/20; заявл. 04.04.2002; опубл. 10.12.2002 / Л.Т. Свиридов, А.И. Максименков, С.Н. Черных, В.И. Соломахин. Sviridov L.T., Maksimenkov A.I., Chernykh S.N., Solomakhin V.I. *Bandsaw Machine*. Patent RF no. RU 26475 U1, 2002.
5. Патент на полезную модель 135041 РФ, МПК F16F 1/32. Упругий элемент: № 2013115964/11; заявл. 09.04.2013; опубл. 27.11.2013 / И.О. Думанский, С.И. Думанский, В.Н. Шиловский, А.В. Прохоров. Dumanskij I.O., Dumanskij S.I., Shilovskiy V.N., Prokhorov A.V. *Springing Element*. Patent RF no. RU 135041 U1, 2013.
6. Прокофьев Г.Ф. Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 240 с. Prokof'yev G.F. *Intensification of Wood Sawing with Frame and Band Saws*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1990. 240 p.
7. Свиридов Л.Т., Максименков А.И. Ленточнопильное оборудование для лесоматериалов: моногр. Воронеж: ВГЛТА, 2004. 239 с. Sviridov L.T., Maksimenkov A.I. *Band Sawing Equipment for Timber*: Monograph. Voronezh, VGLTA Publ., 2004. 239 p.
8. Феоктистов А.Е. Ленточнопильные станки. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 152 с. Feoktistov A.E. *Bandsaw Machines*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1976. 152 p.
9. Шилько В.К. Совершенствование двухкилевых механизмов резания деревообрабатывающих ленточнопильных станков: дис. ... д-ра техн. наук. Томск, 2005. 279 с. Shil'ko V.K. *Improvement of Two-Beam Cutting Mechanisms of Woodworking Bandsaw Machines*: Dr. Eng. Sci. Diss. Tomsk, 2005. 279 p.
10. Andersson C., Andersson M.T., Ståhl J.-E. Bandsawing. Part I: Cutting Force Model Including Effects of Positional Errors, Tool Dynamics and Wear. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2001, vol. 41, iss. 2, pp. 227–236. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(00\)00064-X](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(00)00064-X)
11. Andersson C., Ståhl J.-E., Hellbergh H. Bandsawing. Part II: Detecting Positional Errors, Tool Dynamics and Wear by Cutting Force Measurement. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2001, vol. 41, iss. 2, pp. 237–253. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(00\)00065-1](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(00)00065-1)
12. Bonac T. *Bandsaw Mechanism*. Patent CA no. CA 1071978 A, 1980.

13. Chen G.J., Ni J., Liu T.T., Chen H.P., Gong Y.P. Study on Optimizing the Process Parameters for the Band Saw Equipment. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, vol. 328, pp. 208–212. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.328.208>

14. Gendraud P., Roux J.-C., Berghau J.-M. Vibrations and Stresses in Band Saws: A Review of Literature for Application to the Case of Aluminium-Cutting High-Speed Band Saws. *Journal of Materials Processing Technology*, 2003, vol. 135, iss. 1, pp. 109–116. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)01109-3](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)01109-3)

15. Kondratyuk A.A., Shilko V.K., Rudnev V.D. Estimation of Band Mill Traction Performances. *Proceedings of the 8th Korea-Russia International Symposium on Science and Technology (KORUS 2004)*. Tomsk, 2005, vol. 3, pp. 24–27.

16. Naguleswaran S., Williams C.J.H. Lateral Vibration of Band-Saw Blades, Pulley Belts and the Like. *International Journal of Mechanical Sciences*, 1968, vol. 10, iss. 4, pp. 239–250. DOI: [https://doi.org/10.1016/0020-7403\(68\)90009-X](https://doi.org/10.1016/0020-7403(68)90009-X)

17. Sarwar M., Persson M., Hellbergh H. Wear and Failure Modes in the Bandsawing Operation when Cutting Ball-Bearing Steel. *Wear*, 2005, vol. 259, iss. 7-12, pp. 1144–1150. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2005.01.032>

18. Sarwar M., Persson M., Hellbergh H. Wear of the Cutting Edge in the Bandsawing Operation when Cutting Austenitic 17-7 Stainless Steel. *Wear*, 2007, vol. 263, iss. 7-12, pp. 1438–1441. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2006.12.066>

19. Thompson P.J. A Theoretical Study of the Cutting Action of Power Hacksaw Blades. *International Journal of Machine Tool Design and Research*, 1974, vol. 14, iss. 2, pp. 199–209. DOI: [https://doi.org/10.1016/0020-7357\(74\)90027-4](https://doi.org/10.1016/0020-7357(74)90027-4)

20. Wei C.C., Chung H.Y., Zhang J.B. The Study of Band Sawing Vibration and Cutting Performance. *Key Engineering Materials*, 2015, vol. 642, pp. 236–241. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.642.236>