

УДК 621.365.5

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-172-181

**ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ ПИЛ  
ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ  
НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОЛОТНЕ****В.И. Мелехов, д-р техн. наук, проф.**; *ResearcherID*: [Q-1051-2019](https://orcid.org/0000-0002-2583-3012),*ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-2583-3012>**И.И. Соловьев, канд. техн. наук**; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-2008-7073>**Т.В. Тюрикова, канд. техн. наук**; *ResearcherID*: [P-8991-2019](https://orcid.org/0000-0002-3592-310X),*ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-3592-310X>**Н.Г. Пономарева, канд. техн. наук**; *ResearcherID*: [A-5693-2019](https://orcid.org/0000-0001-6210-5631),*ORCID*: <https://orcid.org/0000-0001-6210-5631>

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: v.melekhov@narfu.ru, i.solovev@narfu.ru, t.turikova@narfu.ru, n.ponomareva@narfu.ru

Устойчивость пилы в процессе работы характеризует способность полотна пилы сопротивляться силам, действующим на него в плоскости наибольшей жесткости. Пила может надежно работать только при условии сохранения устойчивого равновесия, которое достигается за счет создания разными методами нормированных остаточных напряжений в определенных зонах пыльного полотна, уравнивающих силы внешнего воздействия. Для придания работоспособности круглой пиле в центральной части полотна создают напряжения сжатия, компенсирующие силы центробежного ускорения, температурный нагрев отдельных зон полотна пилы, внешние продольные и поперечные изгибающие силы, возникающие при обработке материала. На практике создание нормированных напряжений в пыльном диске круглой пилы традиционно осуществляется только локальным механическим контактным воздействием (проковкой, вальцеванием) рабочего органа пилоправного инструмента на стальной диск пилы. Предложено вместо традиционной механической обработки полотна пилы формировать напряженное состояние диска теплофизическим (термопластическим) воздействием, которое заключается в создании нормированных остаточных напряжений в пыльном полотне концентрированными тепловым воздействием на локальные разноректорно направленные узкоконтактные зоны прямой или криволинейной формы, в основном радиально или по концентрическим следам, с контролем процесса в режиме реального времени. Новый подход к формированию полей остаточных напряжений в полотне пилы термопластическим воздействием позволяет кардинально изменить подготовку круглой пилы с обеспечением ее устойчивости в работе.

**Для цитирования:** Мелехов В.И., Соловьев И.И., Тюрикова Т.В., Пономарева Н.Г.

Повышение устойчивости дереворезающих пил термопластическим воздействием на распределение остаточных напряжений в полотне // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 6. С. 172–181. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-172-181

**Ключевые слова:** термопластические напряжения, круглая пила, устойчивость пилы, высокоскоростной нагрев.

### *Введение*

В деревообрабатывающей промышленности основным видом дереворезающего инструмента являются круглые и полосовые (рамные и ленточные) пилы, в основном изготовленные из тонколистовой инструментальной легированной стали 9ХФ (90ХФ) и др. [6].

Основная характеристика инструмента – работоспособность – это состояние, при котором инструмент способен выполнять обработку древесины резанием в соответствии с требованиями нормативно-технической документации. Дереворежущие пилы в процессе работы подвергаются сложному воздействию силовых и температурных факторов [4, 15–19], вызывающих удлинение пильного полотна и возникновение внутренних напряжений, выводящих его из плоской формы упругого равновесия и снижающих работоспособность инструмента. Способность пил противодействовать этим силовым воздействиям определяется жесткостью и устойчивостью полотна пилы. Устойчивость полотна пилы характеризует способность сопротивляться силам, воздействующим на него в плоскости наибольшей жесткости [12].

Круглая пила выполнена в виде тонкого стального диска с центральным отверстием и зубчатой кромкой. Первоначально после изготовления пильный диск имеет плоскую форму равновесия, которое может быть нарушено при любом внешнем воздействии на пилу в процессе резания, что вызывает отклонение полотна и режущей кромки пилы от исходного рабочего состояния и снижение точности и качества обработки древесины. Для придания работоспособности круглой пиле в центральной части полотна проковкой или вальцеванием создают напряжения сжатия, компенсирующие силы центробежного ускорения, температурного нагрева отдельных зон полотна пилы, внешних продольных и поперечных изгибающих сил, возникающих при обработке материала.

На практике создание нормированных напряжений в пильном диске круглой пилы традиционно осуществляется только локальным контактным воздействием (проковкой, вальцеванием) рабочего органа пилорамного инструмента на стальной диск пилы. При этом требуемое качество подготовки пилы определяется соответствующей квалификацией оператора.

Цель исследования заключается в разработке нового подхода к повышению устойчивости круглых пил термопластическим воздействием на распределение остаточных напряжений в полотне, формирование полей напряженного состояния полотна пилы, обеспечивающих его устойчивость и повышение работоспособности.

#### *Объекты и методы исследования*

Предложено формировать напряженное состояние диска пилы теплофизическим воздействием [7–10, 14]. Термопластическое воздействие заключается в создании нормированных остаточных напряжений в пильном полотне концентрированным тепловым воздействием на локальные разновекторно направленные узкополосные зоны прямой или криволинейной формы, в основном радиально или по концентрическим следам (рис. 1), с контролем процесса в режиме реального времени.

Рассматриваемый термопластический способ создания нормированных напряжений в диске пилы основан на высокоскоростном нагреве локальных зон полотна пилы и получении поперечно расположенных по диску пилы температурных напряжений, превышающих предел текучести (упругости) металла и приводящих к появлению термопластических остаточных деформаций [7–10, 14], которые формируют в полотне пилы требуемые остаточные напряжения, позволяющие обеспечивать ее устойчивое состояние в процессе работы.

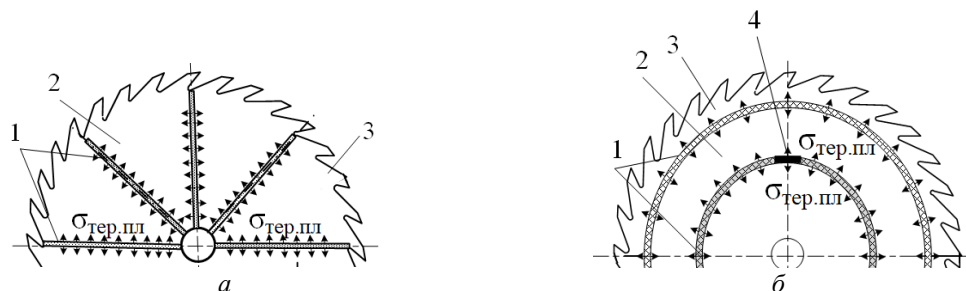


Рис. 1. Круглая пила: *a* – с радиальными зонами нагрева; *б* – с коаксиальными зонами нагрева: 1 – локальные разноректорно направленные узкополосные зоны нагрева; 2 – диск пилы; 3 – зубчатая кромка; 4 – элемент локальной узкополосной зоны ( $\sigma_{\text{тер.пл}}$  – термопластическое напряжение)

Fig. 1. Circular saw: *a* – with radial heating zones; *б* – with coaxial heating zones: 1 – local differently directed narrow-band heating zones; 2 – sawing disc; 3 – toothed edge; 4 – element of the local narrow-band zone ( $\sigma_{\text{тер.пл}}$  – thermoplastic stress)

Математическая модель процесса формирования и количественной оценки остаточных напряжений после термопластического деформирования материала при нагреве локальной зоны полотна пилы основана на теореме Генки о разгрузке. По теореме остаточные напряжения равны разности между истинными напряжениями в упругопластическом теле и напряжениями, которые создавались бы в теле при предположении об идеально упругом материале. С физической точки зрения образование остаточных напряжений связано с необратимыми (остаточными) изменениями объема локального участка полотна пилы. Эти изменения объема локального участка полотна при охлаждении зоны вызывают остаточные напряжения на границах зоны. По теореме о разгрузке для определения остаточных напряжений в полотне пилы необходимо вычислить напряженное состояние для реального и фиктивного упругопластического тела.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Для уточнения пределов температур, вызывающих формирование остаточных термопластических напряжений в полотне при высокоскоростном нагреве части локальной полосовой зоны, выполнен расчет. Процесс формирования напряжений рассмотрен на примере нагрева стержня (рис. 2), заделанного концами в абсолютно жесткие плоскости [16], что моделирует часть локальной узкополосной зоны полотна пилы при учете напряжений по направлению оси определенного элемента. Расстояние между плоскостями остается неизменным, так как эти плоскости за границей участка не подвергаются нагреву, что является принципиально важным.

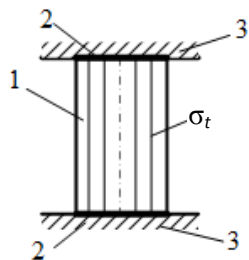


Рис. 2. Расчетная модель: 1 – элемент локальной узкополосной зоны (стержень); 2 – граница участка; 3 – граничная плоскость ( $\sigma_t$  – температурные напряжения)

Fig. 2. Design model: 1 – element of the local narrow-band zone (rod); 2 – border of the plot; 3 – boundary plane ( $\sigma_t$  – temperature stresses)

При нагреве определенного локального узкополосного участка до температуры  $t$  в нем возникнут температурные напряжения:

$$\sigma_t = -E\varepsilon_t,$$

где  $E$  – модуль упругости металла, МПа;  $\varepsilon_t$  – относительная температурная деформация.

Принимаем, что в пределах рассматриваемого интервала температур от 200 до 300 °С [5, 6] при условии, что механические свойства стали при нагреве остаются практически постоянными, среднее значение коэффициента линейного расширения материала полотна пилы равно  $\alpha(t)$ , тогда  $\varepsilon_t = \alpha(t)t$ .

Следовательно

$$\sigma_t = -E\alpha(t)t.$$

Для стали 9ХФ (90ХФ) принимаем:

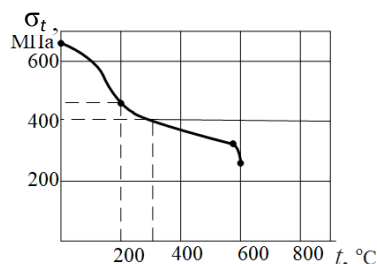
$$E = 196,1 \cdot 10^3 \text{ МПа}; \quad \alpha(t) = 11 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C},$$

при  $t = 200$  °С относительное температурное напряжение  $\sigma_t = 431$  МПа, при  $t = 300$  °С –  $\sigma_t = 400$  МПа.

В интервале температур от 200 до 300 °С температурные напряжения превышают предел текучести стали 90ХФ (рис. 3) и после охлаждения на границе участка локальной зоны возникают остаточные напряжения, уровень которых определяется градиентом температур, а величина – механическим, графическим или аналитическим способами.

Рис. 3. Зависимость предела текучести стали 90ХФ от температуры

Fig. 3. Dependence of the yield point of steel 90HF on temperature



При этом следует учитывать, что под температурой  $t$  в расчетах понимается градиент температур на границе элемента локального полосового участка, который достигает максимума при условии неизменности температуры абсолютно жесткой граничной плоскости.

Такой высокоскоростной нагрев элемента локальной зоны полотна может быть осуществлен концентрированным импульсным подводом энергии в зону нагрева. В некоторых предыдущих работах предлагалось производить локальный нагрев лазером, но желаемый результат не получен, так как при лазерном нагреве происходит точечный нагрев только поверхности материала, что не обеспечивает нагрев узкополосной зоны на всю толщину пильного полотна. Высокоскоростной подвод энергии к рассматриваемому элементу может быть проведен за счет индукционного нагрева [8, 9, 13, 20]. При этом происходит равномерный прогрев по всему объему материала элемента локального участка полотна пилы, энергия передается от индуктора к разогреваемой поверхности бесконтактно, посредством электромагнитных волн.

Математическая модель формирования остаточных термопластических напряжений в полотне пилы основана на применении метода определения остаточных напряжений путем решения связанной краевой задачи термоупру-

гопластичности в течение всего периода формоизменения локальной зоны и ее охлаждения после пластической деформации. Решение системы дифференциальных уравнений равновесия локальной зоны, геометрических уравнений, определяющих соотношения для пластической области и упругой разгрузки с использованием начальных и граничных условий зоны осуществляется методом конечных элементов [1–3, 5, 11, 18, 21, 22]. Тогда остаточные термопластические напряжения определяются как напряжения, действующие в полотне после охлаждения.

Остаточные напряжения в диске пилы формируются первоначальными деформациями [14], возникающими при равномерном нагреве по всему объему материала элемента локального узкополосного участка полотна. При этом в элементе происходят изменения линейных размеров, связанные со структурными или иными превращениями материала. Учитывая, что нагрев локального участка полотна пилы проводится по радиальным или коаксиальным узкополосным зонам, форма нагреваемого элемента при расчете величины остаточных напряжений в локальной зоне принята прямоугольной, в отличие от традиционно принимаемой трапециевидальной. Остаточные деформации в радиальном  $\varepsilon_{0r}$ , окружном  $\varepsilon_{0\theta}$  и осевом  $\varepsilon_{0z}$  направлениях в каждой т. А элемента определяются координатами  $r$  и  $z$  (рис. 4).

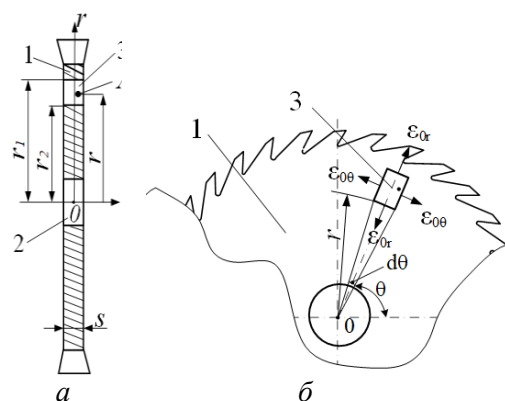


Рис. 4. Круглая пила с элементом локальной узкополосной зоны: а – полотно пилы в разрезе; б – элемент локальной узкополосной зоны в полотне пилы: 1 – полотно пилы; 2 – центральное отверстие; 3 – элемент локальной зоны;  $r_1$  – расстояние от центра пилы до верхней границы элемента;  $r_2$  – расстояние от центра пилы до нижней границы элемента

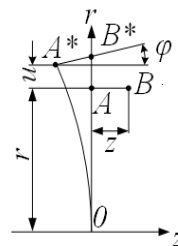
Fig. 4. Circular saw with an element of the local narrow-band zone: а – section of the saw blade; б – element of the local narrow-band zone in the saw blade: 1 – saw blade; 2 – central hole; 3 – local zone element;  $r_1$  – distance from the saw center to the upper border of the element;  $r_2$  – distance from the saw center to the lower border of the element

При высокоскоростном нагреве элемента локальной зоны пилы начальные остаточные деформации в радиальном и окружном направлениях одинаковы ( $\varepsilon_{0r} = \varepsilon_{0\theta} = \varepsilon_0$ ), а остаточная деформация в направлении оси  $z$  не вызывает остаточных деформаций в тонком диске пилы.

Под воздействием первоначальных остаточных температурных деформаций точки срединной плоскости нагретого элемента локального участка пилы А и В получают радиальное смещение  $u(r)$ , угол поворота нормали  $\varphi(r)$ , смещаясь в положение А\* и В\* (рис. 5).

Рис. 5. Точечные смещения в полотне пилы в результате возникновения первоначальной тепловой деформации

Fig. 5. Point displacements in the saw blade as a result of initial thermal deformation



Применяя гипотезу жесткой нормали Кирхгофа для радиального смещения в произвольной точке локальной зоны, получаем выражение

$$u(r, z) = u_0(r) + z\varphi(r).$$

Относительные деформации в окружном  $\varepsilon_r$  и радиальном  $\varepsilon_\theta$  направлениях:

$$\varepsilon_r = \frac{du_0}{dr} + z \frac{d\varphi}{dr};$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{du_0}{dr} + z \frac{\varphi}{r}.$$

Полагаем, что деформации материала локальной зоны полотна пилы, вызванные тепловой первоначальной деформацией, упругие, тогда эти выражения получаем в виде:

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E}(\sigma_r - \mu\sigma_\theta) + \varepsilon_0;$$

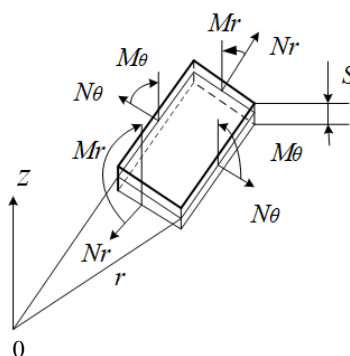
$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{E}(\sigma_\theta - \mu\sigma_r) + \varepsilon_0,$$

где  $\sigma_r$  и  $\sigma_\theta$  – радиальные и окружные нормальные напряжения в локальной зоне диска пилы;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $\varepsilon_0$  – начальные (предшествующие) удлинения в элементе пильного диска.

Силы  $M$  и  $N$ , возникающие под воздействием первоначальных тепловых напряжений, и действующие на единицу длины сечения элемента локальной зоны, показаны на рис. 6.

Рис. 6. Силы, действующие на единицу длины сечения элемента

Fig. 6. Forces acting on a unit of element section length



Проведя аналогию между температурными напряжениями и напряжениями от первоначальных остаточных деформаций [17], получаем следующие выражения для силовых факторов в сечении элемента:

$$N_r(r) = \theta(r_1) \frac{r_1^2}{r_1^2 - r_2^2} \left( 1 - \frac{r_2^2}{r^2} \right) - \theta(r),$$

где

$$N_{\theta}(r) = \theta(r_1) \frac{r_1^2}{r_1^2 - r_2^2} \left( 1 - \frac{r_2^2}{r^2} \right) + \theta(r) - (1 - \mu)T(r);$$

$$M_r(r) = -\psi(r_1) \frac{r_1^2}{r_1^2 - r_2^2} \left( 1 - \frac{r_2^2}{r^2} \right) + \psi(r);$$

$$M_{\theta}(r) = \psi(r_1) \frac{r_1^2}{r_1^2 - r_2^2} \left( 1 - \frac{r_2^2}{r^2} \right) - \psi(r) + (1 - \mu)S(r),$$

$$\theta(r) = \frac{1 - \mu}{r^2} \int_{r_2}^{r_1} r T(r) dr;$$

$$T(r) = \frac{1}{1 - \mu} \int_{-\frac{s}{2}}^{\frac{s}{2}} E \varepsilon_0(r_n) dz;$$

$$\psi(r) = \frac{1 - \mu}{r^2} \int_{r_2}^{r_1} r S(r) dr;$$

$$S(r) = \frac{1}{1 - \mu} \int_{-\frac{s}{2}}^{\frac{s}{2}} E \varepsilon_0(z) dz.$$

Остаточные напряжения в полотне пилы определяются выражениями:

$$\sigma_r = \frac{N_r}{S} - z \frac{12M_r}{S^3} + \frac{1}{1 - \mu} \left[ \frac{1}{S} \int_{-\frac{s}{2}}^{\frac{s}{2}} E \varepsilon_0 dz + z \frac{12 \int_{-\frac{s}{2}}^{\frac{s}{2}} E \varepsilon_0 dz}{S^3} - E \varepsilon_0 \right];$$

$$\sigma_{\theta} = \frac{N_{\theta}}{S} - z \frac{12M_{\theta}}{S^3} + \frac{1}{1 - \mu} \left[ \frac{1}{S} \int_{-\frac{s}{2}}^{\frac{s}{2}} E \varepsilon_0 dz + z \frac{12 \int_{-\frac{s}{2}}^{\frac{s}{2}} E \varepsilon_0 dz}{S^3} - E \varepsilon_0 \right].$$

#### Заключение

Новый подход к формированию полей остаточных напряжений в полотне пилы термопластическим воздействием позволяет кардинально изменить подготовку круглой пилы с обеспечением ее устойчивости в работе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Биргер И.А. Остаточные напряжения. М.: Машгиз, 1963. 232 с. [Birger I.A. *Residual Stresses*. Moscow, Mashgiz Publ., 1963. 232 p.]

2. Богатов А.А. Механические свойства и модели разрушения металлов. Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 2002. 329 с. [Bogatov A.A. *Mechanical Properties and Fracture Models of Metals*. Yekaterinburg, USTU Publ., 2002. 329 p.]

3. Богатов А.А. Остаточные напряжения и разрушение металла // Инновационные технологии в металлургии и машиностроении. Уральская научно-педагогическая школа имени профессора А.Ф. Головина: материалы 6-й междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. ун-та, 2013. С. 95–101. [Bogatov A.A. Residual Stresses and Fracture of Metal. *Innovation Technologies in Metallurgy and Mechanical Engineering: Proceedings of the 6th International Youth Scientific and Practical Conference “Innovation Technologies in Metallurgy and Mechanical Engineering. Ural Scientific and Pedagogical School Named after Professor A.F. Golovin”*. Yekaterinburg, URFU Publ., 2013, pp. 95–101].

4. Боровиков Е.М., Орлов Б.Ф. Термический способ подготовки круглых пил к работе // Изв. вузов. Лесн. журн. 1974. № 6. С. 90–96. [Borovikov E.M., Orlov B.F. Thermal Method of Preparing Circular Saws for Work. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 1974, no. 6, pp. 90–96]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/apxiv/1974/6.pdf>

5. Бородин И.Н., Майер А.Е., Петров Ю.В., Груздков А.А. Максимум предела текучести при квазистатической и высокоскоростной пластической деформации металлов // Физика твердого тела. 2014. Т. 56, вып. 12. С. 2384–2393. [Borodin I.N., Mayer A.E., Petrov Yu.V., Gruzdkov A.A. Maximum Yield Strength under Quasi-Static and High-Speed Flow of Metals. *Fizika tverdogo tela* [Physics of the Solid State], 2014, vol. 56, iss. 12, pp. 2384–2393].

6. ГОСТ 5950–2000. Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2003. 35 с. [State Standard. *GOST 5950-2000. Tool Alloy Steel Bars, Strips and Coils. General Specifications*. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 2003. 35 p.]

7. Мелехов В.И., Соловьев И.И. Создание термопластических напряжений в пильном диске круглой пилы // Изв. вузов. Лесн. журн. 2010. № 2. С. 87–90. [Melekhov V.I., Soloviov I.I. Creation of Thermoplastic Tension in Circular Saw Blade. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2010, no. 2, pp. 87–90]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/b08/b087c4466253da22ed3e19c778437576.pdf>

8. Патент 2434952 Российская Федерация. Устройство для создания термопластических напряжений в пильном диске круглой пилы: № 2010117098: заявл. 29.04.2010; опубл. 27.11.2011 / В.И. Мелехов, И.И. Соловьев. [Solov'ev I.I., Melekhov V.I. *Device to Develop Thermoplastic Stresses in Saw Blade of Ring Saw*. Patent RF no. RU 2434952 C1, 2011].

9. Патент 2614863 Российская Федерация. Устройство для создания термопластических напряжений в полосовых пилах: № 2015141255: заявл. 28.09.2015; опубл. 29.03.2017 / В.И. Мелехов, И.И. Соловьев. [Melekhov V.I., Solovev I.I. *Device for Creation of Thermoplastic Concentrated Stresses in Strip Saws*. Patent RF no. RU 2614863 C1, 2017].

10. Патент 2663029 Российская Федерация. Способ термопластического натяжения пильного диска круглой пилы: № 2017121665: заявл. 21.06.2017; опубл. 01.08.2018 / В.И. Мелехов, И.И. Соловьев. [Solovev I.I., Melekhov V.I. *Method of Thermoplastic Tensioning of the Round Saw Circular Saw Blade*. Patent RF no. RU 2663029 C1, 2018].

11. Поздеев А.А., Няшин Ю.И., Трусов П.В. Остаточные напряжения: теория и приложения: моногр. М.: Наука, 1982. 109 с. [Pozdeyev A.A., Nyashin Yu.I., Trusov P.V. *Residual Stresses: Theory and Applications*: Monograph. Moscow, Nauka Publ., 1982. 109 p.]

12. Прокофьев Г.Ф. Создание высокотехнологичных лесопильных станков: моногр. Архангельск: СОЛТИ, 2018. 157 с. [Prokof'yev G.F. *Creation of High-Tech Sawmills*: Monograph. Arkhangelsk, Solti Publ., 2018. 157 p.]



13. Слухоцкий А.Е., Немков В.С., Павлов Н.А., Бамунэр А.В. Установки индукционного нагрева / под ред. А.Е. Слухоцкого. Л.: Энергоатомиздат; Ленингр. отд-ние, 1981. 328 с. [Slukhotskiy A.E., Nemkov V.S., Pavlov N.A., Bamuner A.V. *Installations of Induction Heating*. Ed. by A.E. Slukhotskiy. Leningrad, Energoatomizdat Publ., 1981. 328 p.].
14. Соловьев И.И. Совершенствование термопластической технологии подготовки круглых пил: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2012. 18 с. [Solov'yev I.I. *Improvement of Thermoplastic Technology for Setting-up Procedures of Circular Saws*: Cand. Eng. Sci. Dis. Abs. Arkhangelsk, 2012. 18 p.].
15. Стахуев Ю.М. Устойчивость и колебания плоских круглых пил. М.: Лесн. пром-сть, 1977. 296 с. [Stakhiyev Yu.M. *Stability and Vibration of Flat Circular Saws*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1977. 296 p.].
16. Стахуев Ю.М. Научно-технологические основы производства, подготовки и эксплуатации плоских круглых пил для распиловки древесины: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Архангельск, 2002. 32 с. [Stakhiyev Yu.M. *Scientific and Technological Bases of Production, Setting-up and Operation of Flat Circular Saws for Wood Sawing*: Dr. Eng. Sci. Diss. Abs. Arkhangelsk, 2002. 32 p.].
17. Якунин Н.К. Подготовка круглых пил к работе. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 153 с. [Akunin N.K. *Setting-up of Circular Saws*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 153 p.].
18. Bathe K.J. *Finite Element Procedures in Engineering Analysis*. New Jersey, Prentice Hall, 1982. 735 p.
19. Bayer R.G. *Mechanical Wear Fundamentals and Testing*. New York, CRC Press, 2004. 416 p.
20. Calladine C.R. *Theory of Shell Structures*. Cambridge, Cambridge University Press, 1983. 763 p. DOI: [10.1017/CBO9780511624278](https://doi.org/10.1017/CBO9780511624278)
21. Hughes T.J.R., Hinton E. *Finite Element Methods for Plates and Shells: Elements Technology*. Swansea, Pineridge Press, 1986, vol. 1. 315 p.
22. Meyers M.A., Chawla K.K. *Mechanical Behavior of Materials*. Cambridge, Cambridge University Press, 2009. 856 p.

#### IMPROVING THE STABILITY OF WOOD-CUTTING SAWS BY THERMOPLASTIC ACTION ON THE DISTRIBUTION OF RESIDUAL STRESSES IN THE BLADE

*V.I. Melekhov, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [Q-1051-2019](https://orcid.org/0000-0002-2583-3012),*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2583-3012>*

*I.I. Solovev, Candidate of Engineering; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2008-7073>*

*T.V. Tyurikova, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: [P-8991-2019](https://orcid.org/0000-0002-3592-310X),*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3592-310X>*

*N.G. Ponomareva, Candidate of Engineering; ResearcherID: [A-5693-2019](https://orcid.org/0000-0001-6210-5631),*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6210-5631>*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: v.melekhov@narfu.ru, i.solovev@narfu.ru, t.turikova@narfu.ru, n.ponomareva@narfu.ru

The saw stability in operation defines the ability of the saw blade to resist the forces acting on it in the plane of greatest rigidity. The saw can work reliably only in case of maintaining stable balance, which is achieved through the creation of normalized residual stresses in certain zones of the saw blade by different methods. The stresses balance the forces of external influences. Compressive stresses are created in the central part of the blade to make the circular saw operational. These stresses compensate the forces of centrifugal acceleration, temperature heating of individual zones of the saw blade, external longitudinal and

---

transverse bending forces arising in material processing. In practice, the creation of normalized stresses in the saw disk is traditionally carried out only by local mechanical contact action (forging, rolling) of the saw blade tool on the steel saw blade. It is proposed to form the stressed state of the disk by thermophysical action instead of the traditional mechanical processing of the saw blade. The thermophysical action involves the creation of normalized residual stresses in the saw blade by the concentrated thermal exposure to local differently directed narrow-band zones of straight or deflected shape, mainly radial or along concentric traces, controlling the process in real time. A new approach to the formation of residual stress fields in the saw blade by thermoplastic action enables to radically change the setting-up procedure of the circular saw, ensuring its stability in operation.

**For citation:** Melekhov V.I., Solovev I.I., Tyurikova T.V., Ponomareva N.G. Improving the Stability of Wood-Cutting Saws by Thermoplastic Action on the Distribution of Residual Stresses in the Blade. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 6, pp. 172–181. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-172-181

*Keywords:* thermoplastic stresses, circular saw, saw stability, high-speed heating.

Поступила 22.12.19 / Received on December 22, 2019

---