

3. ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЕРЕВОПЕРЕРАБОТКИ

УДК 621.365.5

В.И. Мелехов, И.И. Соловьев, Н.Г. Пономарева, Е.В. Сазанова

СОЗДАНИЕ ПОЛЕЙ НОРМИРОВАННЫХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОЛОТНЕ РАМНОЙ ПИЛЫ ТЕПЛОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

Введение. Лесопильные рамы применяют для продольной распиловки древесных сортиментов на деревообрабатывающих предприятиях. Эффективность работы станка определяется работоспособностью и эксплуатационной надежностью инструмента – рамной пилы, которая установлена с натяжением в пильной рамке.

В процессе работы рамная пила подвергается сложному воздействию силовых и температурных факторов, которые нужно учитывать при подготовке пилы к работе. Способность пилы противодействовать поперечным силам резания характеризуется её жесткостью и устойчивостью. Различают три вида жесткости: собственную жесткость ненатянутой пилы; начальную жесткость натянутой пилы при отсутствии действия на нее сил сопротивления резанию; рабочую жесткость пилы с учетом действующих на нее сил сопротивления резанию [Грубе, 1971; Прокофьев и др., 2001].

При решении вопроса распределения напряжений полотно рамной пилы принято рассматривать поделенным на среднюю часть, переднюю и заднюю кромки.

Для получения прямолинейного пропила необходимо обеспечить нормируемую устойчивость, рабочую жесткость полотна, характеризуемую величиной прогиба пилы в боковом направлении от действия поперечной силы, что достигается натяжением пилы в продольном направлении [Грубе, 1971].

Величина общей силы натяжения пилы ограничивается прочностью захватов рамки. На практике увеличивают напряжения натяжения кромок полотна за счет ослабления его средней части. Для этого полотно пилы подвергают механическому воздействию – вальцеванию в продольном направлении.

Рамную пилу помещают между роликами, создают определенное усилие прижатия к полотну пилы и прокатывают между роликами. Вальцевание проводят в средней части полотна на расстоянии 20–25 мм от задней кромки и линии впадин зубьев. Сначала вальцуется центральная полоса пилы, затем симметрично соседние участки. В зоне контакта роликов с полотном происходит деформация поверхностного слоя полотна, возникают напряжения растяжения, превышающие предел текучести материала полотна (стали), и образуется узкий след вальцевания в поверхностном слое полотна. За границами следа вальцевания деформации поверхностного слоя не происходит, и структура материала не изменяется. На границе следа вальцевания возникают напряжения сжатия в средней части полотна и растяжения в кромках.

При натяжении полотна в пильной рамке боковые кромки пилы имеют большие напряжения и жесткость, чем при необработанном полотне при той же силе натяжения. Жесткость провальцованного полотна увеличивается на 10–20% по сравнению с необработанным [Грубе, 1971].

Одновременно следует отметить, что глубина следа вальцевания на поверхности полотна – до 0,1 мм, поэтому напряжения растяжения при механическом создании следа образуются только в поверхностном слое полотна, не распространяясь на всю толщину пилы, и не обеспечивают формирования равномерного поля напряжений по сечению; вальцевание сопровождается изломом металла по вальцовочному следу, что снижает механическую прочность пилы [Стахийев, 1977; Якунин, Якунин, 2005].

В нашем случае предложен новый подход – формировать поля остаточных напряжений в полотне пилы тепловым воздействием, заключающимся в создании нормированных напряжений (здесь и далее «остаточные термопластические напряжения») в пильном полотне кратковременным (1–2 с) концентрированным тепловым воздействием по всему сечению продольно расположенных по полотну пилы участков (аналогично следу вальцевания) [Мелехов, Соловьев, 2017; Мелехов и др., 2020], что обеспечивает равномерное распределение напряжений по всему массиву обрабатываемых участков и однородность структуры полей напряжений в полотне.

Цель работы. Обоснование режимов подготовки рамной пилы концентрированным тепловым воздействием на локальные продольно расположенные участки полотна пилы. Задача – определить рабочий диапазон изменения величины термопластических напряжений в полотне, повышающих жесткость пилы.

Методы исследования. Рассматриваемая технология подготовки рамной пилы к работе основывается на тепловом способе [Боровиков, Орлов, 1974;

Мелехов и др., 2020] создания напряжений в полотне пилы импульсным индукционным нагревом локальных продольно расположенных полосовых участков. При нагревании массива полосовых участков образуются пригранично расположенные по зонам по полотну пилы нормально передний и задней кромкам пилы разнонаправленные тепловые напряжения $\sigma_{\text{тем}}$, превышающие предел текучести материала $\sigma_{0,2}$ полотна. При этом в массиве полосового участка возникают вторичные термопластические остаточные деформации [Биргер, 1963], которые обеспечивают формирование в граничной зоне смежных участков полотна пилы остаточных термопластических напряжений $\sigma_{\text{т.пл}}$ (рис. 1). Это обеспечивает формирование в полотне пилы полей нормированных остаточных напряжений, и проявляется автономный эффект сжатия средней части и натяжения задней и передней кромок полотна пилы, позволяющий обеспечить устойчивое состояние рамной пилы в пропиле при нормированной силе натяжения полотна рамной пилы между захватами.

Количественная оценка остаточных термопластических напряжений при нагревании массива полосового участка полотна пилы и изменении полей напряжений растяжения по границе смежных участков полотна пилы выполнена по математической модели, ранее рассмотренной в работе [Мелехов и др., 2020].

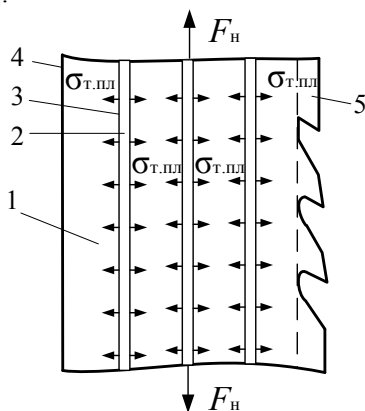


Рис. 1. Участок рамной пилы со следами термопластической обработки:

- 1 – полотно пилы; 2 – полосовой участок; 3 – граница участка;
4 – задняя кромка пилы; 5 – зубчатая кромка пилы; $\sigma_{\text{т.пл}}$ – термопластические напряжения; F_H – сила натяжения полотна в пильной раме

Fig. 1. Section of a frame saw with traces of thermoplastic treatment:

- 1 – saw blade; 2 – strip section; 3 – section boundary; 4 – rear edge of the saw;
5 – serrated edge of the saw; $\sigma_{\text{т.пл}}$ – thermoplastic stresses; F_H – tension force of the blade in the saw frame

Смоделирован процесс формирования остаточных термопластических напряжений $\sigma_{т.пл}$ в полотне рамной пилы и их влияние на жесткость полотна. Материал пилы – сталь инструментальная легированная 9ХФ с механическими характеристиками (ГОСТ 5950–2000 «Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали. Общие технические условия»):

- модуль упругости, $E = 196 \text{ ГПа}$;
- среднее значение коэффициента линейного расширения, $1/^\circ\text{C}$,

$$\alpha(t) = 11 \times 10^{-6}; \quad (1)$$

• предел текучести, $\sigma_{0,2}$, определяется по зависимости предела текучести стали от температуры, МПа.

Тепловая обработка полосовых участков средней зоны полотна пилы производится локальным индукционным нагревом. В массиве полосового участка, нагретого до температуры t , образуются тепловые напряжения

$$\sigma_t(t) = E\alpha(t)t. \quad (2)$$

При этом на границе участка при нагреве его массива до температуры предела текучести и выше и последующем быстром охлаждении возникают нормальные к линии границы остаточные термопластические напряжения $\sigma_{т.пл}$. В результате в прилегающих к полосовому участку зонах зубчатой и задней кромок возникают напряжения растяжения, а в средней части полотна – напряжения сжатия. При этом в нагреваемых полосах твердость металла остается неизменной за счет быстрого охлаждения нагретых полосовых участков.

Зависимости величины тепловых напряжений $\sigma_t(t)$ и предела текучести $\sigma_{0,2}(t)$ стали 9ХФ приведены на рис. 2.

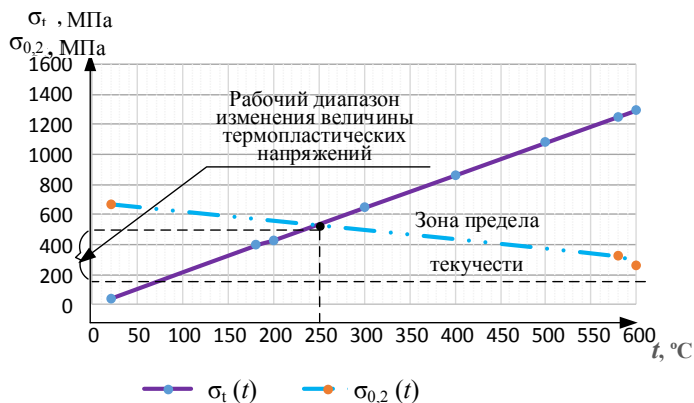


Рис. 2. Температурные напряжения и предел текучести стали 9ХФ в зависимости от температуры

Fig. 2. Temperature stresses and yield strength of 9HF steel depending on temperature

Из анализа зависимостей следует, что при $t = 265\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше (зона предела текучести (рис. 2)) тепловые напряжения σ_t превышают предел текучести $\sigma_{0,2}$ для стали 9ХФ, что способствует формированию нормированных остаточных термопластических напряжений. Рабочий диапазон изменения величины термопластических напряжений $\sigma_{т.пл}$ в полотне составляет от 230 до 550 МПа.

Для определения рабочей жесткости пилы, по которой оценивается точность пиления, необходимо знать ее начальную жесткость:

$$j_n = \frac{P}{w}, \quad (3)$$

где P – боковая сила, приложенная к режущей кромке пилы на середине ее свободной длины l ; w – отклонение (прогиб) пилы.

Из уравнения (3) следует, что для определения начальной жесткости полотна необходимо знать величину прогиба растянутой пилы под действием боковой силы. Для определения прогибов пилы предложена расчетная схема, представленная на рис. 3.

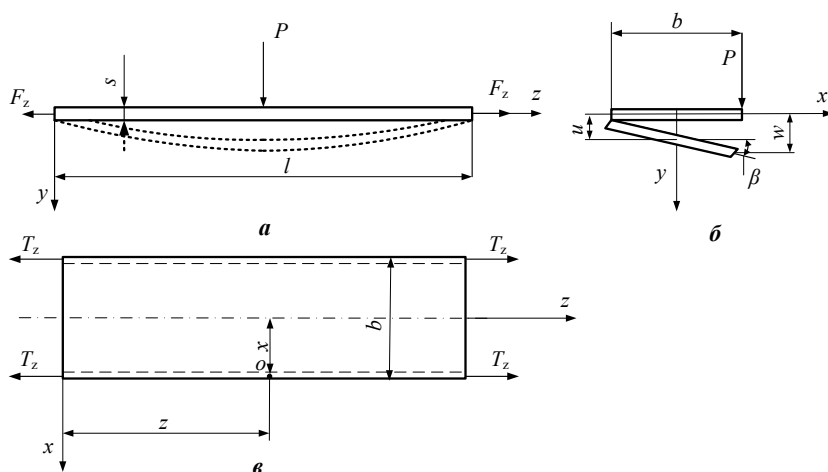


Рис. 3. Расчетная схема для определения прогибов пилы:
а – вид сбоку; б – вид с торца; в – вид сверху

Fig. 3. Calculation scheme for determining saw deflections:
а – side view; б – end view; в – top view

Обработанная тепловым способом пила толщиной s и шириной b натянута в рамке равномерно распределенной силой

$$Fz = F_H / b. \quad (4)$$

Для определения прогибов пилы воспользуемся энергетическим методом [Тимошенко, 1955].

Потенциальная энергия деформации пилы U складывается из потенциальных энергий растяжения $U_p + U_{т.пл}$, изгиба $U_{и}$, кручения $U_{кр}$. Уравнения для расчета приведены в [Прокофьев и др., 2001]:

$$U = U_p + U_{т.пл} + U_{и} + U_{кр}; \quad (5)$$

$$U = \frac{1}{2} \int_0^{l+b/2} \left[(F_z + T_z) \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \partial x \partial z \right] + \frac{B}{2} \int_0^l \left(\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)^2 \partial z + \frac{C}{2} \int_0^l \left(\frac{\partial \beta}{\partial z} \right)^2 \partial z, \quad (6)$$

где T_z – нормальные усилия от термопластического воздействия, приходящиеся на единицу ширины полотна пилы, $T_z = \sigma_{т.пл}s(4x^2/b^2 - 1/3)$ [Тюрин, 2013], Н/мм: $\sigma_{т.пл}$ – термопластические напряжения, Н/мм²; $B = EJ_{и}$ – жесткость пилы при изгибе, Н/мм²; $J_{и} = bs^3/12$ – момент инерции сечения пилы при изгибе, мм⁴; E – модуль упругости материала пилы, МПа; $C = GJ_{к}$ – жесткость пилы при кручении, Н×мм²; G – модуль сдвига материала пилы, МПа; $J_{к} = bs^3/3$ – момент инерции сечения пилы при кручении, мм⁴; u – прогиб пилы при изгибе, мм; β – угол поворота сечения пилы при кручении, рад.

Учитывая, что деформация полотна пилы под действием боковой силы P складывается из прогиба u продольной оси пилы и угла поворота сечения пилы β , задаваясь приращениями du и $d\beta$ [Прокофьев и др., 2001; Баников, 2007; Тюрин, 2013], получаем выражение для определения жесткости передней кромки полотна пилы:

$$j_n = \frac{h\pi^3 / 2l^2}{\sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \left[\frac{l^2 \left(\frac{F_H b^2}{12} + C + \frac{\sigma s b^3}{45} \right) + \frac{b^2}{4} (B n^2 \pi^2 + F_H l^2)}{n^3 \left(\frac{F_H b^2}{12} B n^2 \pi^2 + \frac{F_H^2 b^2 l^2}{12} \right) + \left(C + \frac{\sigma s b^3}{45} \right) (B n^2 \pi^2 + F_H l^2)} \right]} \quad (7)$$

Приняты расчетные параметры: $l = 1040$ мм; $b = 180$ мм; $s = 1,8$ мм; $F_H = 8$ кН; $E = 196$ ГПа; $G = 8,1 \times 10^4$ Мпа. В обработанном тепловым воздействием полотне пилы $\sigma_{т.пл} = 550$ Мпа.

Расчеты произведены с помощью математического пакета Mathcad 15.0 фирмы MathSoft, Inc. После подстановки в формулу (7) расчетных параметров с учетом первых двух членов ряда ($n = 1, 3$) получили $j_n = 12,8$ Н/мм; при $\sigma_{т.пл} = 0, j_n = 6,2$ Н/мм.

В результате теплового воздействия на полотно жесткость передней кромки пилы увеличилась в 2,1 раза.

Результаты исследования. В работе определен рабочий диапазон изменения величины термопластических напряжений в полотне, повышающих жесткость пилы. Тепловое бесконтактное воздействие на полотно пилы исключает появление вмятин и других дефектов на полотне пилы, неизбежно возникающих при механическом воздействии на полотно при вальцевании.

Формирование термопластических напряжений позволяет при неизменных усилиях натяжения полотна пилы увеличить напряжения растяжения в передней и задней кромках полотна и повысить жесткость пилы.

Вывод. Новый подход к формированию нормированных остаточных напряжений в полотне рамной пилы кратковременным концентрированным тепловым воздействием на полосовые участки полотна позволяет сформировать поля остаточных термопластических напряжений, повысить поперечную жесткость полотна и устойчивость пилы в пропилах.

Патенты: Патент 2614863 Российская Федерация. Устройство для создания термопластических концентрированных напряжений в полосовых пилах: № 2015141255: заявл. 28.09.2015; опубл. 29.03.2017 / В.И. Мелехов, И.И. Соловьев.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Банников А.А. Повышение точности пиления древесины на делительных ленточнопильных станках: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Архангельск: АГТУ, 2007. 20 с.

Биргер И.А. Остаточные напряжения. М.: Машгиз, 1963. 232 с.

Боровиков Е.М., Орлов Б.Ф. Термический способ подготовки круглых пил к работе // ИВУЗ. Лесной журнал. 1974. № 6. С. 90–96.

Грубе А.Э. Дереворежущие инструменты. 3-е изд. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 346 с.

Мелехов В.И., Соловьев И.И. Патент 2614863 Российская Федерация. Устройство для создания термопластических концентрированных напряжений в полосовых пилах. Заявл. 28.09.2015; опубл. 29.03.2017. Бюл. №10.

Мелехов В.И., Соловьев И.И., Тюрикова Т.В., Пономарева Н.Г. Повышение устойчивости дереворежущих пил термопластическим воздействием на распределение остаточных напряжений в полотне // ИВУЗ. Лесной журнал. 2020. № 6. С. 172–181.

Прокофьев Г.Ф., Иванкин И.И., Дундин Н.И. Исследование начальной жесткости полосовых пил // ИВУЗ. Лесной журнал. 2001. № 3. С. 89–96.

Стахийев Ю.М. Устойчивость и колебания плоских круглых пил. М.: Лесн. пром-сть, 1977. 296 с.

Тимошенко С.П. Устойчивость упругих систем. 2-е изд. М.: Гостехиздат, 1955. 576 с.

Тюрин А.М. Определение основных эксплуатационных показателей лесопильного станка с полосовыми нерастянутыми пилами: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Архангельск: С(А)ФУ, 2013. 20 с.

Якунин Н.К., Якунин И.Н. Подготовка к работе и эксплуатация ленточных пил. М.: Изд-во МГУЛ, 2005. 355 с.

References

Bannikov A.A. Improving the accuracy of sawing wood on dividing band saw machines: author's abstract. Diss. ... Candidate of Technical Sciences. Arkhangelsk: ASTU, 2007. 20 p. (In Russ.)

Birger I.A. Residual stresses. Moscow: Mashgiz, 1963. 232 p. (In Russ.)

Borovikov E.M., Orlov B.F. Thermal method of preparing circular saws for work. *IVUZ. Forestry journal*, 1974, no. 6, pp. 90–96. (In Russ.)

Grube A.E. Wood-cutting tools. 3rd ed. Moscow: Lesn. prom-st, 1971. 346 p. (In Russ.)

Melekhov V.I., Soloviev I.I. Patent 2614863 RU. A device for creating of thermoplastic concentrated stresses in band saws. Appl. 28.09.2015, publ. 29.03.2017, bull. no. 10. (In Russ.)

Melekhov V.I., Soloviev I.I., Tyurikova T.V., Ponomareva N.G. Increasing the stability of wood-cutting saws by thermoplastic action on the distribution of residual stresses in the blade. *IVUZ. Forestry journal*, 2020, no. 6, pp. 172–181. (In Russ.)

Prokofiev G.F., Ivankin I.I., Dundin N.I. Study of the initial rigidity of band saws. *IVUZ. Forestry journal*, 2001, no. 3, pp. 89–96. (In Russ.)

Stakhiev Yu.M. Stability and vibrations of flat circular saws. Moscow: Lesn. prom-st, 1977. 296 p. (In Russ.)

Timoshenko S.P. Stability of elastic systems. 2nd ed. Moscow: Gostekhizdat, 1955. 576 p. (In Russ.)

Tyurin A.M. Determination of the main performance indicators of a sawmill with non-stretched strip saws: author's abstract. Diss. ... Candidate of Technical Sciences. Arkhangelsk: N(Ar)FU, 2013. 20 p. (In Russ.)

Yakunin N.K., Yakunin I.N. Preparation for work and operation of tape saws. Moscow: Publishing House of MGUL, 2005. 355 p. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 03.06.2023

Мелехов В.И., Соловьев И.И., Пономарева Н.Г., Сазанова Е.В. Создание полей нормированных остаточных напряжений в полотне рамной пилы тепловым воздействием // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 253. С. 233–243. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.233-243

Эффективность работы лесопильной рамы определяется работоспособностью и эксплуатационной надежностью инструмента – рамной пилы. При работе рамная пила подвергается сложному воздействию силовых и температурных факторов, которые необходимо учитывать при подготовке пилы к работе. Способность пилы противодействовать составляющим силы резания характеризуется её жесткостью и устойчивостью. Для получения прямолинейного пропила необходимо обеспечить нормируемую устойчивость, рабочую жесткость полотна. Это достигается продольным натяжением пилы. На практике увеличивают напряжения натяжения кромок полотна за счет ослабления его средней части. Для этого полотно пилы подвергают вальцеванию. Следует отметить, что вальцевание не обеспечивает формирование равномерного поля напряжений по поперечному сечению полотна, сопровождается изломом металла по вальцовочному следу, что снижает механическую прочность пилы. В статье рассмотрен новый подход – формирование полей остаточных напряжений в полотне пилы тепловым воздействием. Рассматриваемая технология подготовки рамной пилы к работе основывается на тепловом способе создания напряжений в полотне пилы импульсным индукционным нагревом локальных продольно расположенных полосовых участков без изломов по всему сечению. При нагревании в массиве полосового участка возникают вторичные термопластические остаточные деформации, которые обеспечивают формирование в граничной зоне смежных участков полотна пилы остаточных термопластических напряжений. Это обеспечивает формирование в полотне пилы полей нормированных остаточных напряжений, и проявляется автономный эффект сжатия средней части и натяжения задней и передней кромок полотна пилы, позволяющий обеспечить устойчивое состояние рамной пилы в пропиле при нормированной силе натяжения полотна рамной пилы между захватами. В работе дана количественная оценка остаточных термопластических напряжений. Определен рабочий диапазон изменения величины термопластических напряжений в полотне, повышающих жесткость пилы. Новый подход к формированию нормированных остаточных напряжений в полотне рамной пилы кратковременным концентрированным тепловым воздействием на полосовые участки полотна позволяет сформировать поля остаточных термопластических напряжений, повысить поперечную жесткость полотна и устойчивость пилы в пропиле.

Ключевые слова: рамная пила, остаточные термопластические напряжения, жесткость, устойчивость, кратковременное концентрированное тепловое воздействие.

Melekhov V.I., Soloviev I.I., Ponomareva N.G., Sazanova E.V. Creation of fields of normalized residual stresses in the blade of a frame saw by thermal influence. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2025, iss. 253, pp. 233–243 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.233-243

The efficiency of a saw frame is determined by the performance and operational reliability of the tool – a frame saw. During operation, a frame saw is exposed to complex effects of force and temperature factors, which must be taken into account when preparing the saw for operation. The ability of a saw to counteract the components of the cutting force is characterized by its rigidity and stability. To obtain a straight cut, it is necessary to ensure the standardized stability, the working rigidity of the blade. This is achieved by longitudinal tension of the saw. In practice, the tension stresses of the edges of the blade are increased by weakening its middle part. For this, the saw blade is subjected to rolling. It should be noted that rolling does not ensure the formation of a uniform stress field over the cross section of the blade, and is accompanied by a fracture of the metal along the rolling trace, which reduces the mechanical strength of the saw. The article discusses a new approach – to form residual stress fields in the saw blade by thermal action. The considered technology of preparing a frame saw for operation is based on the thermal method of creating stresses in the saw blade by pulsed induction heating of local longitudinally located strip sections without kinks along the entire cross-section. When heating, secondary thermoplastic residual deformations occur in the array of the strip section, which ensure the formation of residual thermoplastic stresses in the boundary zone of adjacent sections of the saw blade. This ensures the formation of normalized residual stress fields in the saw blade and an autonomous effect of compression of the middle part and tension of the rear and front edges of the saw blade appears, allowing to ensure a stable state of the frame saw in the cut with a normalized tension force of the frame saw blade between the grips. The paper provides a quantitative assessment of residual thermoplastic stresses. A new approach to the formation of normalized residual stresses in a frame saw blade by short-term concentrated thermal action on strip sections of the blade allows the formation of fields of residual thermoplastic stresses, increasing the transverse rigidity of the blade and the stability of the saw in the cut.

Key words: saw frame, normalized residual stresses, rigidity, stability, short-term concentrated thermal influence.

МЕЛЕХОВ Владимир Иванович – профессор Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, доктор технических наук, профессор. SPIN-код: 8611-8043. ORCID: 0000-0002-2583-3012.

163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: v.melekhov@narfu.ru

MELEKHOV Vladimir I. – DSc (Technical), Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. SPIN-code: 8611-8043. ORCID: 0000-0002-2583-3012.

163002. Northern Dvina emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: v.melekhov@narfu.ru

СОЛОВЬЕВ Иван Иванович – доцент Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, кандидат технических наук. SPIN-код: 1185-5829. ORCID: 0000-0002-2008-7073.

163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: i.solovev@narfu.ru

SOLOVIEV Ivan I. – PhD (Technical), Associate Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. SPIN-code: 1185-5829. ORCID: 0000-0002-2008-7073.

163002. Northern Dvina emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: i.solovev@narfu.ru

ПОНОМАРЕВА Наталья Геннадьевна – доцент Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, кандидат технических наук. SPIN-код: 1809-4686. ORCID: 0000-0001-6210-5631.

163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: n.ponomareva@narfu.ru

PONOMAREVA Natalia G. – PhD (Technical), Associate Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. SPIN-code: 1809-4686. ORCID: 0000-0001-6210-5631.

163002. Northern Dvina emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: n.ponomareva@narfu.ru

САЗАНОВА Екатерина Владимировна – доцент Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, кандидат экономических наук. SPIN-код: 9851-5983.

163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: e.sazonova@narfu.ru

SAZANOVA Ekaterina V. – PhD (Economical), Associate Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. SPIN-code: 9851-5983.

163002. Northern Dvina emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: e.sazonova@narfu.ru