

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

УДК 674.815

DOI: 10.53374/1993-0135-2023-4-329-333

Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. XLI, № 4. С. 329–333

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ МЕТОДИКИ РАСЧЁТА ТЕРМОСИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБРАБАТЫВАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА ПОВЕРХНОСТЬ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

П. В. Цаплин, А. М. Меньшиков, Н. А. Артищева, И. В. Голубев, А. В. Кустов

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31
E-mail: tsaplinpv@sibsau.ru

В статье рассматривается методика расчёта физических параметров термopротяжного узла для обработки поверхности древесных композиционных плит с целью достижения наиболее выгодных экономических результатов и получения наименьшей шероховатости поверхности таких плит. Приводятся необходимые требования для обработки поверхности древесных композиционных плит. Рассматривается кинематика привода термopротяжного обрабатывающего инструмента, для достижения оптимальных характеристик поверхности древесностружечной плиты под ламинирование и использование в мебельной промышленности. Рассматриваются необходимые требования к технологии обработки для достижения оптимальных значений шероховатости древесно-стружечной плиты.

Ключевые слова: термосиловое воздействие, древесно-стружечные плиты, тепловая энергия, шероховатость поверхности, суммарная функциональная мощность, трение, окружная скорость.

Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 4, P. 329–333

THEORETICAL BACKGROUND FOR THE METHOD OF CALCULATION OF THE THERMAL FORCE INFLUENCE OF THE PROCESSING TOOL ON THE SURFACE OF CHIPBOARDS

P. V. Tsaplin, A. M. Menshmkov, N. A. Artishcheva, I. V. Golubev, A. V. Kustov

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: tsaplinpv@sibsau.ru

The article discusses a method for calculating the physical parameters of a thermally stretched unit for surface treatment of wood composite boards in order to achieve the most beneficial economic results and obtain the lowest surface roughness of such boards. The necessary requirements for surface treatment of wood composite boards are given. The kinematics of the drive of a thermo-drawn processing tool is considered in order to achieve optimal characteristics of the surface of a chipboard for lamination and use in the furniture industry. The necessary requirements for processing technology to achieve the optimal values of chipboard roughness are considered.

Keywords: thermal force effect, chipboard, thermal energy, surface roughness, total functional power, friction, circumferential speed.

В последние годы стал актуален вопрос получения древесных плитных изделий для мебельного производства с наименьшими энергозатратами, но при этом более высокого качества. Широко используемые в промышленном производстве в настоящее время шлифовальные ленты для обработки поверхности древесных плит обладают рядом недостатков. К основным можно перечислить получение невозвратных отходов, повы-

шенная шероховатость поверхности под ламинирование, высокая потребляемая мощность, кропногабаритность и т. д. Предлагаемый способ термосиловой обработки поверхности плит исключает вышеперечисленные недостатки. Главная особенность предлагаемого способа состоит в организованном резании фрезой для снятия припуска с последующим выглаживанием за счёт сил трения термopротяжным узлом (рис. 1).

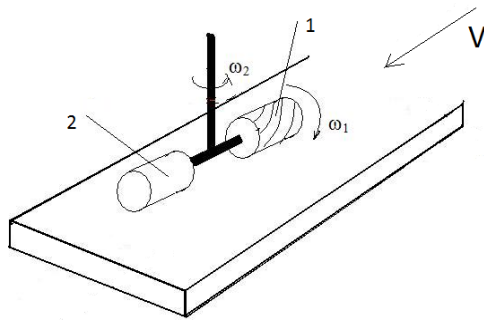


Рис. 1. Совместный способ фрезерования и термосилового воздействия на поверхность древесных композиционных плит:
1 – винтовая фреза; 2 – термопротяжный узел

Важным аспектом разработки технологии снижения шероховатости методом термосилового воздействия является составление методики расчёта динамических, кинематических и экономических характеристик такой технологии. В процессе термосилового воздействия происходит нагрев поверхности протяжного термосилового механизма от силы трения $F_{тр}$, сопровождающийся теплопроводностью трущихся тел. Совокупность значений температуры для всех точек пространства в данный момент времени представляет температурное поле, которая в общем случае имеет вид:

$$t = f(x, y, z, \tau), \quad (1)$$

где t – температура тела; x, y, z – координаты точки; τ – время.

Согласно закону сохранения энергии выделенное количество тепловой энергии требуется для нагрева пластины до температуры необходимой для достижения минимума шероховатости поверхности плиты. Точки с одинаковой температурой в совокупности образуют изотермическую поверхность. Изменение температуры в теле наблюдается лишь в направлениях, пересекающих изотермические поверхности. Резкое изменение температуры получается в направлении нормали к изотермической поверхности. Поэтому температурное изменение плиты при термосиловом воздействии можно описать с помощью температурного градиента. Предел отношения изменения температуры Δt к расстоянию между изотермами по нормали Δl называется градиентом температуры:

$$\lim \left(\frac{\Delta t}{\Delta l} \right) = \frac{dt}{dn} = \text{grad } t = vt. \quad (2)$$

Переход трения в теплоту осуществляется суммарной мощностью двигателя ($N_{дв}$) в составе следующих компонентов:

$$N_{дв} = N_{водила} (N_{резания} + N_{трения}) + N_{подачт плиты} + N_{нагрев пластины} + N_{хол. ход}.$$

т. е.

$$N_{дв} = N_{рез} + N_{тр} + N_{под} + N_{нагр} + N_{хол. ход}. \quad (3)$$

где $N_{рез} = F_{рез} V_{окр.фрез}$.

Сила резания $F_{рез}$ зависит от глубины резания h и плотности плиты ρ , т. е.

$$F_{рез} = h \rho. \quad (4)$$

Термопротяжный узел в нашем случае совершает вращательное движение. Поэтому при расчёте потребляемой мощности необходимо учитывать линейную окружную скорость. Линейная окружная скорость – равномерное движение по окружности с постоянной частотой вращения и в технике определяется числом оборотов в минуту, а поэтому

$$V_{окр} = \frac{2\pi RN}{60} = \frac{\pi RN}{30}, \quad (5)$$

где R – радиус фрезы; N – число оборотов. Откуда,

$$N_{рез} = F_{рез} V_{окр.фрез} = \frac{h\rho\pi RN}{30}, \quad (6)$$

где ρ – плотность плиты.

Дифференциал величины $\frac{h\rho\pi RN}{30}$ равен произведению постоянной $\frac{\rho\pi RN}{30}$ на переменную h , т. е.

$$dN = \frac{\rho\pi RN dh}{30}. \quad (7)$$

Учитывая воздействия силы трения $N_{тр}$ равной произведению $F_{тр}$ на окружную линейную скорость, т. е.

$$N_{тр} = F_{тр} V_{окр}. \quad (8)$$

Согласно формуле (2) общая сумма внешнего трения равно сумме двух составляющих $F_{мол}$ и $F_{деф}$, в которой $F_{деф}$ для заданной шероховатости и удельной нагрузки равна по формуле

$$F_{деф} = 0,5 \Delta^{1/2} (P/P_r)^{1/4}, \quad (9)$$

где P – удельная нагрузка; P_r – фактическое нормальное давление на контакт.

Отсюда

$$N_{тр} = \frac{[F_{мол} + 0,5 \Delta^{1/2} (P/P_r)^{1/4}] \pi RN}{30}. \quad (10)$$

Дифференциал $N_{тр}$ равен произведению постоянной $\pi RN/30$ на дифференциал $F_{тр}$, т. е.

$$dN_{тр} = \frac{\pi RN}{30} d[F_{мол} + 0,5 \Delta^{1/2} (P/P_r)^{1/4}]. \quad (11)$$

Далее дифференцируем $F_{тр}$ как сумму двух переменных:

$$\begin{aligned} d[F_{мол} + 0,5 \Delta^{1/2} (P/P_r)^{1/4}] &= dF_{мол} + 1/2 \cdot 1/2 \Delta - \\ &- 1/2 d\Delta \cdot (P/P_r)^{1/4} + 1/2 \Delta^{1/2} \cdot 1/4 (P/P_r)^{-3/4} d(P/P_r) = \\ &= dF_{мол} + 1/4 (P/P_r)^{1/4} \Delta^{-1/2} d\Delta + \\ &+ 1/8 \Delta^{1/2} (P/P_r)^{-3/4} \cdot (P_r dP - P dP_r) / P_r^2. \end{aligned}$$

$$dN_{тр} = V_{окр} dF_{тр} =$$

$$\frac{\pi RN}{30} [dF_{мол} + 1/2 \cdot 1/2 \Delta - 1/2 d\Delta \cdot (P/P_r)^{1/4} + 1/4 (P/P_r)^{1/4} \Delta^{-1/2} d\Delta + 1/8 \Delta^{1/2} (P/P_r)^{-3/4} \cdot (P_r dP - P dP_r) / P_r^2] =$$

$$= dF_{\text{мол}} + 1/4 (P/P_r)^{1/4} \Delta^{-1/2} d\Delta + \\ + 1/8 \Delta^{1/2} (P/P_r)^{-3/4} \cdot (P_r dP - P dP_r)/P_r^2, \quad (12)$$

$$N_{\text{под}} = V_{\text{под}} (\text{const}) (F_{\text{рез}} + F_{\text{тр}}) = \\ = V_{\text{под}} (\rho h + F_{\text{мол}} + F_{\text{деф}}), \quad (13)$$

$$dN_{\text{под}} = V_{\text{под}} (\rho dh + dF_{\text{мол}} + 1/4 (P/P_r)^{1/4} \Delta^{-1/2} d\Delta + \\ + 1/8 \Delta^{1/2} (P/P_r)^{-3/4} \cdot (P_r dP - P dP_r)/P_r^2, \quad (14)$$

$$N_{\text{наг}} = Q = qs, \quad (15)$$

где Q – тепловой поток; q – удельный тепловой поток; S – площадь пластины (const).

$$dN_{\text{наг}} = S dq, \quad (16)$$

$$N_{\text{хол ход}} = I U, \quad (17)$$

где I – сила тока в цепи; U – напряжение на контакте.

$$dN_{\text{хол ход}} = U dI + I dU. \quad (18)$$

Общий дифференциал мощности двигателя ($dN_{\text{дв}}$) равен сумме дифференциалов мощностей резания, трения, подачи, нагрева, холостого хода. Суммарная функциональная мощность двигателя зависит от переменных: глубины резания (h), молекулярной составляющей силы трения ($F_{\text{мол}}$), шероховатости контактирующих поверхностей (Δ), нагрузки, давления на контакте (P , P_r), теплового потока (Q), силы тока (I) и напряжения на контакте (U). Механическая и электрическая энергия таким образом переходят в теплоту.

В процессе производства ДСтП неизбежно возникают недопустимые нормы качества её для мебельной промышленности. Так, при калибровке плит винтовой фрезой со сложным движением режущей кромки после шестичасовой эксплуатации шероховатость достигает 500–550 мкм, что недостаточно.

В процессе контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью всегда могут возникать отличия от поверхности, заданной чертежом изделия. Характеристикой качества ДСтП является её шероховатость: чередование выступов и впадин, различные неровности вызванные резанием и термосиловым воздействием. Задачей обрабатывающих инструментов является получение поверхности не только с малой шероховатостью, но и с минимальной глубиной деформированного слоя. Для устранения разнотолщинности, непараллельности, различных неровностей и различной шероховатостей согласно ГОСТ 10632–89 и 15812–89 необходима промежуточная операция калибровки со снятием припуска путём шлифования на станках с барабанным или ленточным механизмом, совершенствование технологии ДСтП путём создания новых типов машин с системами приводов режущих и формообразующих узлов, обладающих высокой производительностью, долговечностью, надёжностью и экономичностью. Очевидно, что в основу привода конструкции станков должны быть заложены условия, исключающие превращение снятого припуска изделия в пыль. Заменяв шлифование направленным, организованным узлом резания, представляется воз-

можность получать требуемые фракции отходов без абразива и с возможностью их повторного использования. Нами рассматривается способ снижения шероховатости плит при более длительной эксплуатации фрезы методом термосилового воздействия.

Принимая за основу калибровку и снижения шероховатости плит очевидно, что силы сопротивления резания и выглаживания плиты распределены на разных концах равноплечего рычага и могут иметь разные силы сопротивления. Считая это звено звеном приведения, запишем дифференциальное уравнение второго порядка, включающего работу движущих сил и кинетическую энергию вращающегося рычага

$$dA = dT. \quad (19)$$

$$M_{\text{изб}} d\varphi = d(I_{\text{пр}} \omega_1^2 / 2), \quad (20)$$

где $M_{\text{изб}}$ – избыточный момент, равный разности приведённых моментов сил движущихся и сил сопротивления,

$$M_{\text{изб}} = M_{\text{дв}} - M_{\text{сопр}}, \quad (21)$$

или

$$(I_{\text{пр}} \omega_1^2 / 2) = M_{\text{дв}} - M_{\text{сопр}}. \quad (22)$$

Дифференцируя, находим:

$$\omega_1^2 / 2 \cdot dI_{\text{пр}} / d\varphi + I_{\text{пр}}^2 \omega_1 d\omega_1 / 2 d\varphi = M_{\text{дв}} - M_{\text{сопр}}. \quad (23)$$

Учитывая, что $2\omega_1 d\omega_1 / 2 d\varphi = \omega_1 d\omega_1 dt / d\varphi dt = \omega_1 d\omega_1 / \omega_1 dt = \varepsilon_1$, получаем окончательное выражение уравнения движения режущего узла и термопротяжки:

$$1/2 dI_{\text{пр}} \omega_1^2 / d\varphi + I_{\text{пр}} \varepsilon_1 = M_{\text{дв}} - M_{\text{сопр}}. \quad (24)$$

Очевидно, обрабатывающий узел должен быть идеально сбалансирован, коэффициент неравномерного хода должен быть минимален и угловое ускорение стремиться к нулю, тогда уравнение движения (23) примет вид

$$\frac{dI_{\text{пр}} \omega_1^2}{2 d\varphi} = M_{\text{дв}} - M_{\text{сопр}}. \quad (25)$$

Технология обработки ДСтП методом синтеза калибровки двухподвижной винтовой фрезой (для снятия припуска изделия) и термосилового воздействия с последующим выглаживанием термопротяжной пластиной, установленной на одной оси с фрезой, призвана называться как ресурсосберегающая. Этот метод может быть реализован на основе калибровочно-термопротяжного узла, который имеет собственную угловую скорость и скорость вращения фрезы. Очевидно, в основу привода конструкций станков должны быть заложены условия, исключающие превращения снятого припуска изделия в пыль. Такой процесс возможно провести на экспериментальной установке с кинематической схемой (рис. 2).

Предлагаемый метод заключается в замене шлифования направленным организованным узлом резания, чем достигается качество, безотходность и повторность использования оборудования. Суть метода снижения шероховатости поверхности ДСтП термосиловым воздействием заключается при более длительной эксплуатации фрезы.

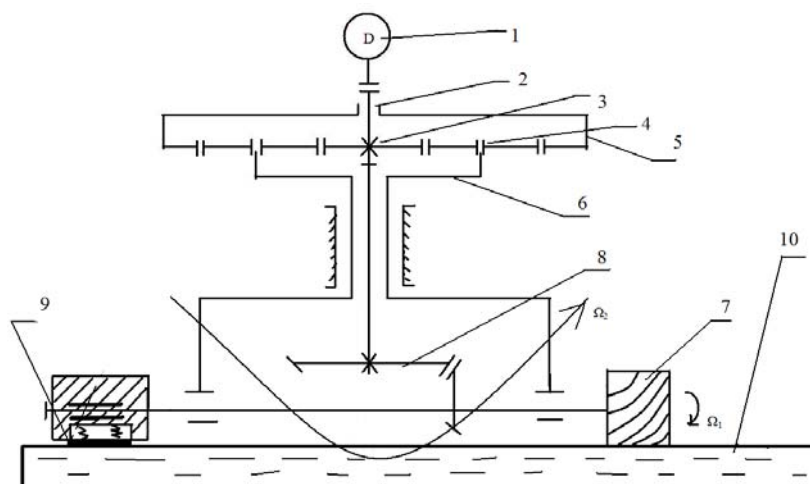


Рис. 2. Кинематическая схема привода калибровально-термопротяжного узла:

1 – электродвигатель привода водила; 2 – первичный вал; 3 – коническая передача привода водила;
4 – опоры подшипников; 5 – крепёж механизма калибровально-термопротяжного узла; 6 – водило; 7 – фреза;
8 – коническая передача привода калибровально-термопротяжного узла; 9 – термопротяжная пластина; 10 – плита

Крутящий момент от двигателя 4 передаётся валу 2, на котором жёстко закреплены солнечное колесо 3 и ведущее коническое колесо 8, приводя во вращение фрезу 7.

Режим целенаправленной обработки поверхности ДСтП предъявляет следующие требования:

1. Требование настройки точности кинематических параметров станка (скорость подачи плиты, окружная скорость водила, частота вращения фрезы) и статических настроек термопротяжного узла во избежании износа.

2. Требование балансировки при вращении фрезы относительно вертикальной оси с применением планетарного редуктора, чем достигается устойчивость работы режущего узла способствующей снижению шероховатости.

3. Требование к поверхности термосилового инструмента с использованием композиционно-наплавочных сплавов для увеличения стойкости термосилового инструмента.

4. Требование минимального коэффициент неравномерного хода.

5. Требование стремления углового ускорения к нулю.

Трение режущего органа (фрезы) и термопрокат по поверхности древесностружечной плиты ведут к повышению температуры их до 200 °С и выше. Принимая твёрдости элементов контактирующих в процессе обработки

– композиционная плита – 40 МПа;

– хромистая сталь фрезы и термопротяжки – 2300 МПа;

очевидно, что неровности поверхности плит с введением в зону контакта температуры и давления способны снизить разнотолщинность и шероховатость поверхности плиты. Для принятой схемы привода, очевидно, что при вращении фрезы относительно вертикальной оси требуется балансировка, которая реализована установкой противовеса в виде термопро-

тяжного узла, представленного на рис. 2. Термосиловое воздействие входит в силовой контакт с плитой, обеспечивая устойчивость работы режущего узла, и одновременно способствует снижению шероховатости. Такой способ устойчивости работы режущего органа применяется в круглопильных деревообрабатывающих станках, где с двух сторон металлического пильного диска устанавливается торцевой стороной деревянные успокоители.

В процессе обработки поверхности плит как резанием так и термосиловым воздействием происходит контакт между поверхностями плиты и обрабатываемого органа. В связи этим происходит износ, как режущего инструмента, так и термопротяжного органа. Интенсивность изнашивания зависит не только от усилия прижима термопротяжного органа, но и во многом зависит как от продолжительности времени работы обрабатываемого инструмента, так и от кинематических параметров работы станка, а именно: скорости подачи плиты, окружной скорости калибровально-термопротяжного узла.

При обработке древесно-стружечных плит термопротяжным инструментом на его стойкость могут оказывать влияние следующие факторы: материал термопротяжной пластины, структура древесно-стружечной плиты, её влажность, которая не должна превышать 10 %, марка древесно-стружечной плиты (П-1, П-2А, П-2Б, П-3), плотность (650–850 кг/м³), химическое строение древесно-стружечной плиты, усилие прижима самого термопротяжного инструмента. От каждого перечисленного параметра соответствует и параметр износа термопротяжного инструмента.

В связи с этим, теория и методы проектирования станков, узлов резания и формообразования обработанной поверхности являются актуальными для получения изделий строительного и мебельного назначения из древесных композиционных плит.

ВЫВОДЫ

1. Предложен и обоснован способ обработки поверхности древесных плитных изделий методом термосилового воздействия;
2. Определена методика расчёта энергопотребления, силовых и кинематических характеристик термopротяжного узла экспериментальной установки по обработке поверхности древесных плит;
3. Приведена кинематическая схема привода термосилового узла;
4. Представлены требования к режиму целенаправленной обработки поверхности древесных плитных изделий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Кутуков Л. Г., Зотов Г. А. Шлифовальные станки для обработки древесины. М. : Лесная промышленность, 1983. 80 с.
2. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. М. : Энергия, 1977. 344 с.
3. Патент РФ № 2313450 C1. Способ снижения шероховатости и разнотолщинности древесностружечных плит устройство для его осуществления [Текст] : Сибирский государственный технологический университет / А. Г. Ермолович, К. А. Ермолович, В. В. Ромашенко. Заявл. 29.06.2006, № 2006123154/12; Оpubл. в Б.И., 2007, № 36. МПК В 27М 1/02.
4. Патент РФ № 2376131. Способ фрезерования древесных материалов : Сибирский государственный технологический университет / А. Г. Ермолович, В. В. Ромашенко, П. В. Цаплин, П. С. Шастовский, заявл.

07.04.2008, № 2008113536/02 (014698), опубл. в Б.И., 2009 № 15 МПК В 27G 1/02 (2006.01).

5. Синайлов В. А. Тепловые процессы при шлифовании и управлении качеством поверхности. М. : Машиностроение, 1978. 167 с.

REFERENCES

1. Kutukov L. G., Zotov G. A. Grinding machines for wood processing. M. : Lesnaya. Industry, 1983. 80 s.
2. Mikheev M. A., Mikheeva I. M. Fundamentals of heat transfer. M. : Energy, 1977. 344 p.
3. RF patent No. 2313450 C1. A method for reducing the roughness and thickness variation of particle boards, a device for its implementation : Siberian State Technological University / A. G. Ermolovich, K. A. Ermolovich, V. V. Romashenko. Appl. 06/29/2006, No. 2006123154/12; Published in B. I., 2007, No. 36. IPC B 27M 1/02.
4. Patent of the Russian Federation No. 2376131. Method for milling wood materials : Siberian State Technological University / A. G. Ermolovich, V. V. Romashenko, P. V. Tsaplin, P. S. Shastovsky, dec. 04/07/2008, No. 2008113536/02 (014698), publ. in B.I., 2009 No. 15 IPC B 27G 1/02 (2006.01).
5. Sinailov V. A. Thermal processes during grinding and surface quality control. M. : Mashinostroenie, 1978. 167 p.

© Цаплин П. В., Меньшиков А. М., Артищева Н. А., Голубев И. В., Кустов А. В., 2023

Поступила в редакцию 05.02.2023
Принята к печати 14.07.2023