

О. А. Макарова, А. А. Кожевникова, Е. А. Макарова, Р. С. Кожевников

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ
МОДИФИЦИРОВАННОГО КОНТАКТНОГО СЛОЯ
ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ РЕЗАНИИ ГОРЯЧЕГО МЕТАЛЛОПРОКАТА**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: olgamakarova5024@gmail.com, alla.aka-78@yandex.ru,
m.lipka2015@yandex.ru, yetoi123@bk.ru

В статье выполнен анализ характера образования модифицированного контактного слоя на вершине зуба традиционной пилы пакетного резания. Авторами предложена математическая модель для описания рассматриваемого физического процесса.

Ключевые слова: пилы пакетного резания, металлографический анализ, термофрикционное резание, модифицированный контактный слой

O. A. Makarova, A. A. Kozhevnikova, E. A. Makarova, R. S. Kozhevnikov

**MATHEMATICAL MODEL OF THE FORMATION OF A MODIFIED CONTACT
LAYER DURING HIGH-SPEED CUTTING OF HOT ROLLED METAL**

Volgograd State Technical University

The article analyzes the nature of the formation of a modified contact layer on the tooth tip of a traditional batch saw. The authors propose a mathematical model to describe the physical process under consideration.

Keywords: batch saw, metallographic analysis, thermal friction cutting, modified contact layer

В процессе термофрикционного резания горячего трубопроката на участке пакетной резки ТПЦ-2 наблюдается процесс образования тонких слоев нароста на вершинах зубьев классических пил [1, 2]. Статья посвящена исследованию модифицированного контактного слоя, образующегося на вершинах зубьев пилы, а также анализу физических явлений, сопровождающих процесс резания.

В зоне контакта обрабатываемого материала с передней поверхностью инструмента происходит интенсивная передача тепла от горячей заготовки в холодный зуб пилы. В начальный момент контакта происходит приваривание поверхности обрабатываемого материала к поверхности зуба. Это связано с охлаждением обрабатываемого материала непосредственно в зоне контакта с инструментом, что приводит к повышению напряжений и сопротивлению деформированию обрабатываемого материала.

Вследствие приваривания обрабатываемого

материала, к передней поверхности зуба скорость движения отдельных слоев обрабатываемого материала меняется от нуля до скорости стружки. Взаимное перемещение слоев сопровождается деформационными процессами и протекает с меньшими напряжениями на некотором удалении от передней поверхности.

Охлаждение обрабатываемого материала заготовки настолько незначительно, что происходит свободное перемещение отдельных слоев материала относительно друг друга.

Границей, по которой происходит разделение слоев материала можно считать слой металла, имеющий температуру ниже температуры стабилизации.

В конце зоны контакта происходит отделение инструмента от обрабатываемого материала. Слой материала, охлажденный ниже температуры стабилизации, остается на поверхности инструмента и образует тонкий слой модифицированного контактного слоя (рис. 1).



Рис. 1. Периферия зуба пилы с модифицированным контактным слоем $\times 100$

Для нахождения толщины модифицированного контактного слоя определим нагрев зуба пилы от контакта с обрабатываемым материалом. При передаче тепла зуб пилы нагревается, а обрабатываемый материал охлаждается.

На зуб пилы действует полосовой мгновенный источник тепла интенсивностью q_3 . Температура поверхности зуба в контакте равна [3, 4]:

$$\theta_{нов} = \frac{2q_3 \cdot \sqrt{\omega_3 \cdot \tau_k}}{\sqrt{\pi} \cdot \lambda_3} \quad (1)$$

где q_3 – тепловой поток, уходящий в зуб, Дж/м²·с; ω_3 – коэффициент температуропровод-

ности материала пилы, м²/с; λ_3 – коэффициент теплопроводности материала пилы, Вт/м·град.

Продолжительность рабочего хода τ_k , с:

$$\tau_k = \frac{l_k}{v} = \frac{0,250}{100} = 0,0025 \quad (2)$$

где l_k – длина контакта площадки по задней грани пилы, м; v – скорость вращения пилы, м/с.

Средняя длина контакта l_k для пакета труб с наружным диаметром $D = 60$ мм и внутренним диаметром $d = 40$ мм равна 250 мм.

Температура поверхности заготовки в контакте снижается на величину $\Delta\theta$.

$$\theta_{нов} = \theta_{см} - \Delta\theta \quad (3)$$

где $\theta_{нов}$ – температура поверхности в контакте с обрабатываемым материалом; $\theta_{см}$ – температура стабилизации материала заготовки.

На заготовку действует быстро движущийся отрицательный источник тепла (сток тепла) интенсивностью q [3, 4]:

$$\Delta\theta = \frac{4q\sqrt{\omega_{заг} \cdot l_3}}{3\lambda_{заг}\sqrt{\pi \cdot v}} \quad (4)$$

где $\omega_{заг}$ – коэффициент температуропроводности материала заготовки, м²/с; v – скорость вращения пилы, м/с; l_3 – длина контактной площадки по задней грани пилы, м; $\lambda_{заг}$ – коэффициент теплопроводности материала трубы, Вт/м·град.

Решая совместно уравнения (1), (3) и (4), найдем повышение температуры поверхности зуба пилы от контакта с заготовкой:

$$y = \sqrt{4\omega_{заг} \cdot \tau_k \cdot \ln \left(1 + \frac{2\lambda_3 \sqrt{l_3 \cdot \omega_{заг}}}{3\lambda_{заг} \sqrt{\omega_3 \cdot v \cdot \tau_k}} \right)} = \sqrt{4 \cdot 0,0000063 \cdot 0,0025 \cdot \ln \left(1 + \frac{2 \cdot 39 \sqrt{0,0035 \cdot 0,0000063}}{3 \cdot 31 \sqrt{0,0000053 \cdot 100 \cdot 0,0025}} \right)} = 0,046. \quad (7)$$

Расчет ведется для следующих условий: коэффициенты температуропроводности материала пилы (сталь 50ХГФА) и трубы (сталь 12Х13) $\omega_3 = 0,0000053$ м²/с и $\omega_{заг} = 0,0000063$ м²/с, соответственно. Продолжительность рабочего хода $\tau_k = 0,00038$ с. Скорость резания $v = 100$ м/с.

$$\theta_{нов} = \frac{\theta_{см}}{1 + \frac{2\lambda_3 \sqrt{l_3 \cdot \omega_{заг}}}{3\lambda_{заг} \sqrt{\omega_3 \cdot v \cdot \tau_k}}} \quad (5)$$

Слой металла, образующий модифицированный контактный слой, охлаждается от температуры стабилизации $\theta_{см}$ до температуры поверхности контакта $\theta_{нов}$.

Тепловой поток через площадку контакта за время τ_k [3, 4]:

$$\theta_{нов} = \theta_{см} \cdot \exp \left(-\frac{y^2}{4\omega_{заг} \cdot \tau_k} \right). \quad (6)$$

При контакте зуба пилы с заготовкой зуб нагревается, и его температура повышается согласно зависимости (6) для плоского неподвижного источника тепла [1].

Преобразовав выражение (6) и учитывая зависимость (5), найдем толщину слоя модифицированного контактного слоя, образовавшуюся за один оборот пилы, мм:

Коэффициенты теплопроводности материала пилы и трубы $\lambda_3 = 39$ Вт/м·град и $\lambda_{заг} = 31$ Вт/м·град соответственно.

Для традиционной пилы с высоким зубом величина площадки контакта по задней грани $l_3 = 3,5$ мм [5].

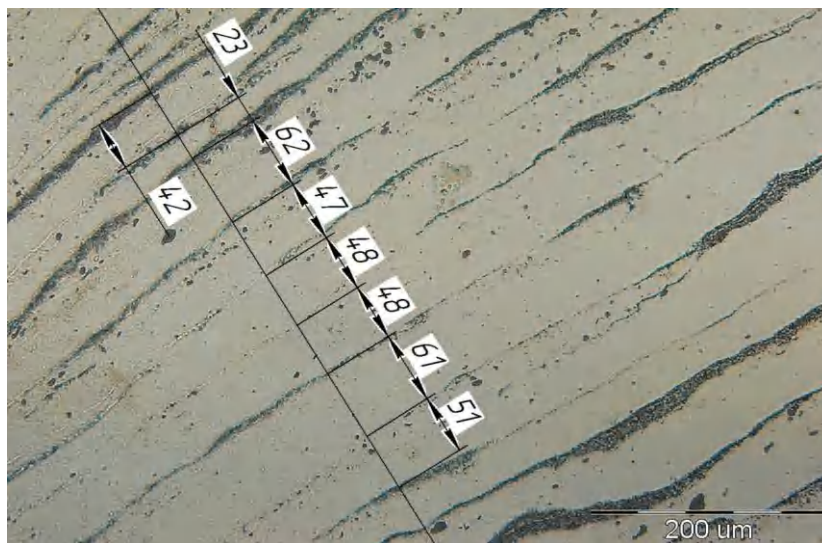


Рис. 2. Толщина отдельных слоев на поверхности контакта зуба пилы с поверхностью заготовки $\times 200$

Средняя толщина слоев на поверхности контакта равна 47,75 мкм (рис. 2). Каждый оборот инструмента приводит к образованию нового тонкого слоя модифицированного контактного слоя, отделяемого от предыдущего оксидной пленкой. Эта пленка образуется из-за взаимодействия горячего металла с кислородом воздуха. Данные процессы влияют на толщину и форму слоев модифицированного контактного слоя.

В результате проведенного исследования авторами получена математическая модель для анализа условий образования модифицированного контактного слоя при пакетной резке холодного металлопроката дисковыми пилами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Банников, А. И. Теоретические основы модернизации термофрикционных пил для резки горячего трубопроката : монография / А. И. Банников ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – 135 с.
2. Банников, А. И. Теоретические основы модернизации пил ударного реза горячего проката : монография / А. И. Банников, А. А. Банников, Ю. Н. Полянчиков, О. А. Макарова ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – 107 с.
3. Резников, А. Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / А. Н. Резников. – М. : Машиностроение, 1981. – 279 с.
4. Резников, А. Н. Тепловые процессы в технологических системах / А. Н. Резников, Л. А. Резников. – 1990.
5. Зиновьев, В. Е. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах. Справочник / В. Е. Зиновьев. – Металлургия, 1989.