

Установлено, что зонами, испытывающими наибольшие напряжения на ленточной пиле, являются межзубные впадины. Их геометрические параметры должны рассчитываться из условия наибольших напряжений с учетом свободного размещения стружек.

Требуются дальнейшие исследования в процессе резания деформаций δ и напряжений σ пил в зависимости от конструкций станков, типов ленточных пил, материалов заготовок и их форм и других факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дечко Э.М., Густяков П.В., Маркевич Ю.Р. Особенности исследования методом конечных элементов деформаций ленточных пил. «Машиностроение 2016». Тезисы докладов 32 международной научно-практической конференции «Технология-Оборудование-Инструмент-Качество». Апрель 2016 г. Минск.

2. Дечко Э.М., Густяков П.В., Сизов С.В., Маркевич Ю.Р. Особенности деформаций ленточных пил при резании. «Металлообработка – 2015». Тезисы докладов международной научно-технической конференции. Апрель 2015 г. Минск.

УДК 674.023

Дечко Э.М., Густяков П.В.

СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ЛЕНТОЧНОМ ПИЛЕНИИ

Белорусский национальный технический университет, ООО «ВИ-МЕНС»,

Минск, Беларусь

Исследовано влияние конструкций зубьев ленточных пил и структур их материалов на износостойкость инструментов на заготовительных операциях.

Биметаллическая ленточная пила состоит из полотна-основы и зубьев с режущими кромками из быстрорежущей стали.

Полотно-основа изготавливается из упругой рессорно-пружинной стали (аналог – 45ХГНМФА). К полотну-основе методом электронно-лучевой сварки приваривается проволока из быстрорежущей стали. Толщина проволоки зависит от ширины ленточного полотна и колеблется от 1,1 до 2 мм. [1]

Быстрорежущая сталь для ленточных пил изготавливается тремя основными способами: 1) электро-дуговая плавка (ЭДП), рисунок 1, а); 2) электро-шлаковая плавка (ЭШП), рисунок 1, б); 3) метод порошковой металлургии (МП), рисунок 1, в).

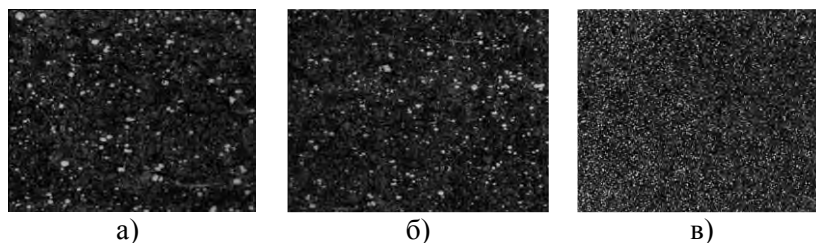


Рис. 1. Примеры структур быстрорежущей стали для ленточных пил [2]

Использование одного из трех методов позволяет получить сталь с более высокими физико-механическими показателями.

Структура быстрорежущей стали состоит из мартенсита и карбидов ванадия и вольфрама. Недостаток первых двух методов заключается в неравномерности распределения карбидов.

Метода порошковой металлургии позволяет получить:

1) однородность структуры с равномерным распределением карбидов;

- 2) высокую прочность и износостойкость;
- 3) высокую твердость.

Недостатком производства быстрорежущей стали методом порошковой металлургии является высокая стоимость технологии, которая, однако, окупается повышением: 1) производительности; 2) характеристик стойкости режущего инструмента.

Быстрорежущая сталь для ленточных пил, в соответствии со стандартами AISI, маркируется: M2 (аналог P6M5), M42 (аналог P2M10K8) и M51 (аналог P10M4Ф3K10).

Стали M2 и M42 получают по технологиям ЭДП и ЭШП, сталь M51 – методом порошковой металлургии. Химический состав данных сталей приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав сталей M2, M42 и M51

Марка стали	C, %	Cr, %	Mo, %	V, %	W, %	Co, %	Si, %	P, %	S, %
M2	0,82~0,92	3,5~4,5	4,5~5,5	1,7~2,1	6,0~7,0	≤0,50	≤0,50	≤0,03	≤0,03
M42	1,05~1,15	3,5~4,5	9,0~10,0	0,9~1,3	1,2~1,9	7,5~8,5	≤0,70	≤0,03	≤0,03
M51	1,2~1,35	3,8~4,5	3,2~3,9	3,0~3,5	9,0~10,0	9,5~10,5	≤0,45	≤0,03	≤0,03

В таблице 2 приведено соотношение основных физико-механических характеристик быстрорежущих сталей для ленточных пил.

Таблица 2 – Соотношение механических характеристик сталей M2, M42 и M51

Марка стали	Красностойкость	Износостойкость	Вязкость	Шлифуемость	Прочность на сжатие	Твердость, HRC
M2	████████	████████	████████	████████	████████	62-66
M42	████████	████████	████████	████████	████████	68-69
M51	████████	████████	████████	████████	████████	69-70

Технологический процесс производства биметаллических ленточных пил состоит из следующих операций: сварка полотна-основы с проволокой из быстрорежущей стали; нарезание зубьев; разводка зубьев; термообработка.

Ресурс ленточной пилы (стойкость) зависит от: качества быстрорежущей стали; геометрических параметров ленточной пилы; конструктивных особенностей станка; свойств заготовки.

Геометрические параметры ленточной пилы: главный передний угол γ , главный задний угол α , вспомогательный угол α_1 , ширина A , толщина B и длина L ленточной пилы, высота быстрорежущей части зуба h , вид разводки и величина разводки (рисунок 2). Эти параметры определяют схему сил и деформаций при ленточном пилении.

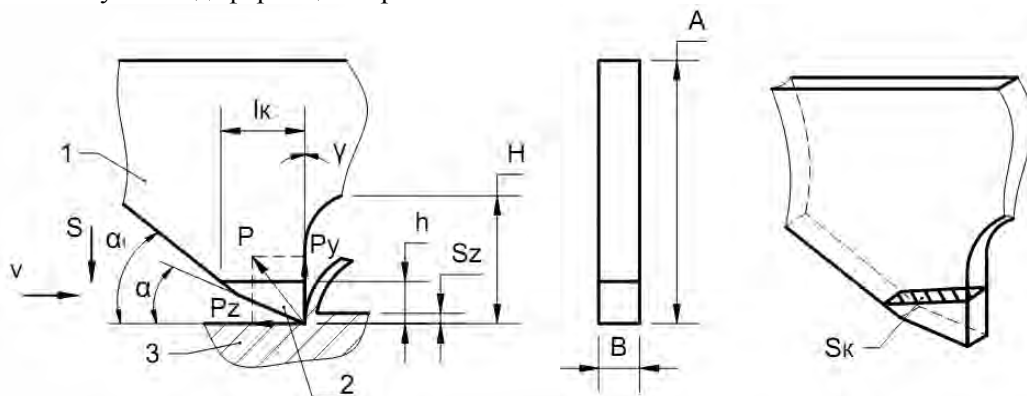


Рис. 2. Схема резания биметаллической ленточной пилой:

1 – полотно-основа; 2 – часть зуба из быстрорежущей стали; 3 – заготовка; S_z – подача на зуб пилы (мм/зуб); S_k – площадь контакта (мм²); v и S – скорость резания и подача соответственно (м/мин; мм/мин); H – высота зуба (мм); h – высота быстрорежущей части зуба (мм); P_z и P_y – силы резания (Н); P – равнодействующая сил резания (Н); S_z – подача на зуб (мм/зуб)

Площадь контакта S_k – это площадь соединения режущей части зуба с полотном-основой.

Результаты расчета изменения S_k в зависимости от высоты быстрорежущей части h и главного переднего угла γ для ленточного полотна шириной 34 мм и толщиной 1,1 мм приведены на рис. 3.

Ленточные пилы с большим γ и, соответственно, меньшим значением S_k могут выдерживать меньшую нагрузку на зуб (подачу на зуб S_z).

Подача на зуб при ленточном пилении определяется по формуле.

$$S_z = \frac{S}{39,37vt}, \text{ мм/зуб.}$$

где S – минутная подача, мм/мин;
 v – скорость резания, м/мин;
 t – шаг зуба (средний шаг зуба), мм.

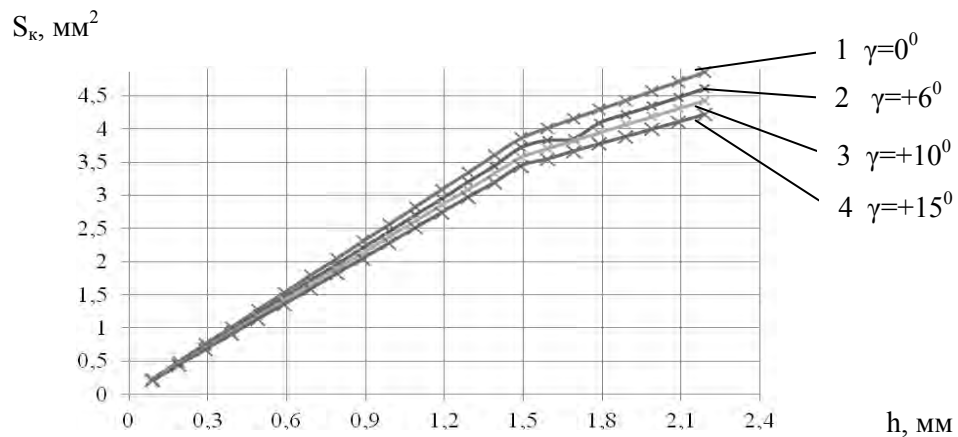


Рис. 3. График изменения площади контакта S_k от главного переднего угла γ

Формула верна для прямого зуба. Режущие кромки разведенных зубьев нагружаются неравномерно – серединная часть не работает. Следует учитывать и вид разводки, при которой схема снятия припуска различна. [3]

Подача на зуб пилы, в зависимости от материала заготовки и режимов резания, составляет 0,001 – 0,01 мм/зуб. Данные значения подачи не вызывают преждевременного разрушения зубьев в виде сколов или полного разрушения.

Преждевременное разрушение режущих кромок возникает при завышении режимов резания, при неправильной эксплуатации ленточной пилы и станка.

На рис. 4 приведен фрагмент ленточной пилы со сколами быстрорежущей части зуба при превышении допустимой подачи на зуб.



Рис. 4. Сколы и разрушение быстрорежущей части зуба

Начиная с зуба 1, силы резания возрастали (в межзубных впадинах 1 и 5 видно большое количество стружки) до момента, когда напряжения в зубе не превысили предел прочности сварного шва площади контакта S_k . Процесс частичного разрушения наблюдается на зубьях 6 и 7. Полное разрушение – на зубьях 8 и 9.

Одна из причин разрушения режущих кромок – это удары (основная причины – неисправность оборудования), при этом характер разрушения формируется в виде сколов, рис. 5.

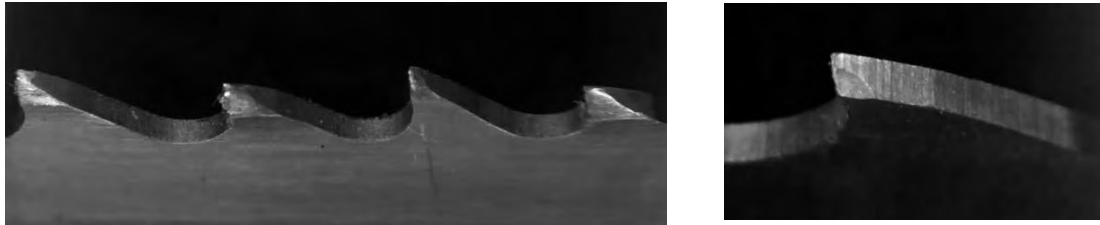


Рис. 5. Сколы режущих кромок зубьев

Кроме снижения прочности сварного шва, уменьшение высоты быстрорежущей части приводит к изменению тепловой нагрузки в зоне резания.

Конструктивные особенности ленточного станка: диаметры шкивов D , расстояние от оси шкива до блока направляющих L_1 и L_2 , угол наклона пильной рамы α_p (рисунок 6). Эти параметры определяют схему деформаций при ленточном пилении. [3]

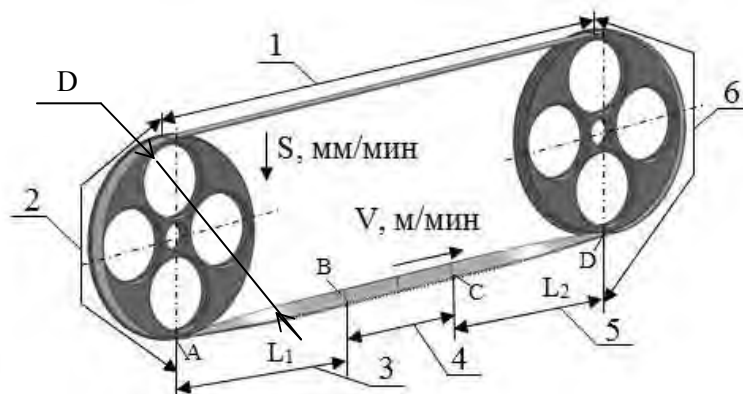


Рис. 6. Схема зон напряжений, испытываемых ленточной пилой в процессе резания: 1– растягивающие, центробежные; 2 – изгибные, центробежные; 3 – растягивающие, центробежные, крутильные; 4 - растягивающие, центробежные, от сил резания; 5 - растягивающие, центробежные, крутильные; 6 – изгибные, растягивающие, центробежные, от тягового усилия

Диаметр шкивов ленточного станка определяется по формуле.

$$D = b * 750 \text{ – для вертикальных станков;}$$

$$D = b * 400 \text{ – для горизонтальных станков;}$$

где b – ширина полотна, мм.

Изготовление шкивов с диаметрами меньше расчетных приводит к возникновению в полотне изгибных напряжений, превышающих допустимое значение и растрескиванию пилы.

Величина крутильных напряжений зависит от расстояния от оси шкива до блока направляющих L_1 и L_2 . Закономерности допустимых углов разворота пилы выглядят следующим образом:

20° на 100 мм для полотна шириной $b = 0,9$ мм;

17° на 100 мм для полотна шириной $b = 1,1$ мм;

14° на 100 мм для полотна шириной $b = 1,3$ мм;

11° на 100 мм для полотна шириной $b=1,6$ мм.

Изготовление станка с расстояниями L1 и L2 меньше расчетных приводит к возникновению в полотне крутильных напряжений, превышающих допустимое значение и растрескиванию пилы.

Угол наклона пильной рамы α_p позволяет уменьшить значения L1 и L2 т.к. разворот полотна происходит на угол $\varphi = 90^\circ - \alpha_p$.

В заключении можно сделать вывод, что в процессе резания одной заготовки ленточными пилами с зубьями из различного материала, с различной геометрией и на разных станках схема сил резания и деформаций полотна не одинакова. Изменяя данные параметры можно добиться оптимальных значений стойкости инструмента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дечко Э.М., Густяков П.В., Сизов С.В., Маркевич Ю.Р. «Закономерности процесса резания при ленточном пилении». Республиканский межведомственный сборник научных трудов. 29 выпуск. Минск 2015 г.
2. ООО "Бёлер-Уддехолм", Российская Федерация – Режим доступа: <http://http://www.bohlemn.ru> – Дата доступа: 20.12.2016.
3. Дечко Э.М., Густяков П.В., Маркевич Ю.Р. «Особенности исследования методом конечных элементов деформаций ленточных пил». Машиностроение – 2016. Тезисы докладов 32 международной научно-практической конференции «Технология-Оборудование-Инструмент-Качество». Апрель 2016. г. Минск.

УДК 621.9.011:517.962.1

Довнар С.С.

МКЭ-АНАЛИЗ ОСЕВОЙ ДИНАМИКИ ПОЛЗУНА ТЯЖЕЛОГО СФР-СТАНКА

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

С помощью МКЭ исследовано резонансное поведение ползуна тяжелого СФР-станка. Изучались осевые колебания ползуна. Естественной пружиной была шариковинтовая передача. Виртуальные испытания проведены на малой модели (ползун в суппорте) и на большой модели, включающей также высокую стойку станка. Выполнены статический, модальный и гармонический анализы. Для станка типа «Подвижная стойка» в диапазоне рабочих частот найдены три осевых резонанса: MS1 (~14Гц, изгиб стойки), MS3 (~26Гц осцилляция ползуна на винте) и M-Ax (~190Гц, колебания шпинделя на подшипниках). Построены АЧХ в осевом направлении. В демпфировании нуждаются первые два резонанса.

Для подавления резонанса MS3 предложено использовать инерционные гасители. Дополнительные грузы и пружины установлены внутри ползуна. С помощью МКЭ найдены коэффициенты вязкого трения, обеспечивающие оптимальное гашение. Выявлены диапазоны варьирования параметров демпферов.

Выявлено, что оптимально настроенный гаситель в пять раз ослабляет пик резонанса MS3. Дополнительно вдвое уменьшается амплитуда осцилляций по моде MS1. Для окончательного блокирования MS1 предложено создать еще один тяжелый гаситель. Грузом для него может выступить главный двигатель станка на суппорте.

Для черновой, полустойковой и чистой обработки рекомендованы отдельные диапазоны рабочих частот. Показан потенциал применения быстрого главного привода и перехода к ВСО.

Предмет исследования. Длинный и узкий ползун в сборе со шпиндельным узлом (ШУ) является важным компонентом в горизонтальных сверлильно-фрезерно-расточных станках (СФР-станках). Подобные ползуны меньших габаритов используют в вертикальных многоцелевых станках и портальных станках продольно-фрезерной группы[1]. В силу габаритов тяжелым станкам угрожают опасные низкочастотные резонансы. В данной работе обсуждается противо-