УДК 621.9

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-1-248-9-12

А. И. Банников, О. А. Макарова, И. К. Шкурин, Д. Р. Зейналов

ВЛИЯНИЕ РЕЗОНАНСА НА ДЕФОРМАЦИЮ ЗУБЬЕВ ПИЛ ПАКЕТНОЙ РЕЗКИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: makar0vaolga@rambler.ru

Рассмотрен процесс возникновения резонанса при резании пилой пакетной резки металлопроката, почитаны вынужденные и свободные колебания пилы пакетной резки.

Ключевые слова: пила пакетной резки, высокоскоростное резание, резонансные колебания.

A. I. Bannikov, O. A. Makarova, I. K. Shkurin, D. R. Zeynalov

THE INFLUENCE OF RESONANCE ON THE DEFORMATION OF THE TOOTH OF BUNDLED CUTTING SAWS

Volgograd State Technical University

The process of the occurrence of resonance when cutting with a saw to cut metal rolling is considered, the forced and free vibrations of the saw of batch cutting are calculated.

Keywords: Batch saw, high speed cutting, resonant vibrations.

© Банников А. И., Макарова О. А., Шкурин И. К., Зейналов Д. Р., 2021.

Процесс высокоскоростной резки горячего и холодного проката пильными дисками широко применяется в современном производстве на металлургических предприятиях. Наряду с высокой производительностью и сравнительно простой технологической реализацией этот процесс сопровождается значительным износом инструмента [1].

В данной статье речь пойдет об анализе проблем износа пилы при резании пакета труб салазковой пилой в Трубопрокатном цехе № 2 (ТПЦ-2) АО ВТЗ. Процесс резания реализуется при скоростях 105 м/с, дисковой пилой с зубьями $z = 400$, диаметр пилы 2000 мм, частота вращения пилы 16,6 об/с.

В процессе резания была обнаружена проблема неравномерного износа зубьев пилы. Наблюдаются большие неравномерные деформации зубьев как по направлению вращения диска, так и против него. Катастрофический износ зубьев сопровождается потерей геометрии режущего клина и заполнением впадин между зубьями обрабатываемым материалом.

Характерной особенностью является то, что износ происходит с чередованием нескольких зубьев, пример данной проблемы изображен на рисунке.

Фотография сегмента пилы

Процесс неравномерной деформации зубьев может быть связан с появлением вибраций и возникновением резонанса.

При резонансе резко возрастает амплитуда вынужденных колебаний (происходит наиболее полная передача энергии от одной колебательной системы к другой). Резонанс наблюдается, когда частота собственных колебаний совпадает, либо имеет схожие значения с вынужденной частотой [2].

Толщина пильного диска намного меньше его диаметра, потому пила имеет малую жесткость и под действием нагрузки может подвергаться воздействию вибраций. Колебания диска пилы как упругого тела имеют бесчисленное множество собственных форм и частот [2]. Форма этих колебаний определяется числом узловых диаметров m и узловых окружностей n . Каждой форме собственных колебаний соответствует строго определенная частота колебаний.

В работе [3] экспериментально исследованы колебания тонкого диска постоянной толщины, жестко закрепленного в центре.

Запишем формулу нахождения частоты собственных колебаний f_0 диска [2], с^{-1} :

$$f_0 = \frac{k_{mn}}{D_{\phi p}^2} \cdot \sqrt{\frac{4E \cdot B^2}{3\rho(1-\mu^2)}}, \quad (1)$$

где k_{mn} – коэффициент из табл. 1, зависящий от формы колебаний [3]; $D_{\phi p}$ – диаметр пилы, $D_{\phi p} = 2 \text{ м}$; B – толщина диска пилы, $B = 0,008 \text{ м}$; ρ – плотность материала диска пилы, $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$; μ – коэффициент Пуассона, $\mu = 0,28$; E – модуль упругости материала диска пилы, $E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Па}$.

Таблица 1

Значение коэффициента k_{mn}

n^*	m^*			
	0	1	2	3
0	3,81	20,51	61,54	121,12
1	2,07	23,14	64,54	128,3
2	5,48	34,49	84,21	152,44
3	11,03	51,76	109,55	187,51
4	17,18	68,79	136,45	221,65
5	27,97	91,31	172,97	263,8

* n – число узловых окружностей; m – число узловых диаметров

Вращение пилы увеличивает частоту собственных колебаний, с^{-1} :

$$f_n = \sqrt{f_0^2 + k_{\omega} \cdot n_{\phi p}^2}, \quad (2)$$

где f_0 – частота собственных колебаний; k_{ω} – коэффициент из табл. 2; $n_{\phi p}$ – частота вращения пилы, $n_{\phi p} = 16,6/2\pi = 2,65 \text{ с}^{-1}$.

Таблица 2

Значения коэффициента k_ω

m	0	1	2	3
k_ω	0	1	2,35	4,05

Полученные экспериментально формы ко-

лебаний диска систематизированы по мере возрастания количества узловых окружностей m и узловых диаметров n .Полученные результаты частот собственных колебаний, которые зависят от числа узловых окружностей m и узловых диаметров n , запишем в табл. 5 и 6.

Таблица 3

Значения собственных колебаний диска f_n, c^{-1}

n	m			
	0	1	2	3
0	47,6	256,0	768,2	1511,8
1	26,0	288,8	805,6	1601,5
2	68,5	430,5	1051,1	1902,8
3	137,7	646,1	1367,4	2340,5
4	214,5	858,7	1703,2	2766,7
5	349,1	1139,8	2159,0	3292,8

Вынужденными колебаниями называется движение колебательной системы под действием внешней периодической силы и происходящее в такт с изменением этой силы.

Вынужденные колебания, вызванные ударами при входе зубьев пилы в зону резания, имеют частоту f_z :

$$f_z = n_{\text{фр}} \cdot z = 2,65 \cdot 400 = 1061,15, \quad (3)$$

Частота вынужденных колебаний будет также зависеть от всех целых чисел z_i , для которых число зубьев пилы 400 является кратным.

$$f_{z_i} = \frac{f_z}{z_i}, \quad (4)$$

где f_{z_i} – частота вынужденных колебаний, для z_i зубьев; z_i – числа кратности, $z_i = 1, 2, 4, 5, 8, \dots$ $f_{z_i(2)}$ – для частоты собственных колебаний.

Запишем результаты для всех z_i в табл. 4. Для рассчитанных по формуле (4) частот вынужденных колебаний, подберем ближайшие собственные частоты из табл. 3.

Жирным шрифтом в табл. 4 выделены максимально близкие друг к другу значения $(0,7 > f_{z_i}/f_n > 1,3)$, при которых возможно возникновение явления резонанса. Наиболее опасными будут частоты вхождения $4^{-\text{го}}$, $5^{-\text{го}}$, $8^{-\text{го}}$, $16^{-\text{го}}$ и $40^{-\text{го}}$ зуба пилы.

Таблица 4

Значения собственных f_n и вынужденных f_{z_i} частот колебаний

z_i	f_{z_i}	f_n	f_{z_i}/f_n
z_1	1	1061,15	1,01
z_2	2	530,57	1,23
z_4	4	265,28	1,04
z_5	5	212,23	0,99
z_8	8	132,64	0,96
z_{10}	10	106,1	0,77
z_{16}	16	66,3	0,97
z_{20}	20	53,1	1,12
z_{25}	25	42,4	0,89
z_{40}	40	26,5	1,02
z_{50}	50	21,2	0,82
z_{80}	80	13,3	0,51
z_{100}	100	10,6	0,41
z_{200}	200	5,3	0,20
z_{400}	400	2,7	0,10

Для выхода из зоны резонанса ($0,7 > f_{Zi}/f_n > 1,3$), необходимо что бы количество зубьев было меньше 374 или больше 696.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что при проектировании дисковых пил высокоскоростного резания необходимо проводить расчет собственных и вынужденных частот инструмента, для исключения явлений резонанса.

В ы в о д ы :

1. Для предотвращения явления резонанса необходимо изменить количество зубьев пилы, чтобы исключить кратность, и попадание в резонансную зону.

2. Управлять частотой вращения пилы, это позволит продлить срок эксплуатации пилы, при этом, не ухудшая ее технических характеристик.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Банников, А. И. Теоретические основы модернизации термофрикционных пил для резки горячего трубопровода : монография / А. И. Банников ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – 135 с.
2. Бабаков, И. М. Теория колебаний / И. М. Бабаков. – М. : Наука, 1965. – 560 с.
3. Макаева, Р. Х. Исследование резонансных колебаний дисков с применением голографической интерферометрии / Р. Х. Макаева, А. Х. Каримов, А. М. Царева // Вісник двигунобудування. – 2012. – №. 2.