

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ТЕРМОФРИКЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛЕЙ

Покинтелица Н.И., Сидоров В.А.

(ВНУ им. В. Даля, ДонНТУ, г. Луганск, г. Донецк, Украина)

Введение

В настоящее время все большее значение при производстве машин и механизмов приобретают стали и сплавы с особыми физико-механическими свойствами, среди которых следует отметить жаростойкость, коррозионную и химическую стойкость, повышенную прочность. Находят применение тугоплавкие сплавы, сохраняющие высокие прочностные свойства до температур порядка 2200°C [1].

Обработка заготовок из новых материалов резанием зачастую крайне затруднена, а в некоторых случаях становится практически невозможной. Данная причина приводит к тому, что при производстве новых машин используют материалы, обладающие менее совершенными эксплуатационными показателями, но имеющие достаточно удовлетворительные технологические свойства. Таким образом, создание и использование новых материалов влечет за собой интенсивный поиск и разработку прогрессивных способов их высокопроизводительной обработки. Применяемые в настоящее время способы резцовой и абразивной обработки не совсем совершенны, что приводит к увеличению разрыва между возможностями отрасли производства современных марок сталей и сплавов и обработки резанием. Как показывают результаты исследований, при обработке резанием конструкционных сталей удельная сила резания превышает предел прочности на растяжение в 2 и более раза [1]. Данное явление объясняется довольно сложным характером и условиями протекания пластической деформации в процессе стружкообразования, а также необходимостью преодоления сил трения, возникающих на передней и задней поверхностях инструмента, и имеющих довольно большие значения. Применение известных способов обработки для получения изделий из новых материалов в этом случае становится малоэффективным и низкопроизводительным с довольно большим расходом дорогостоящего режущего инструмента. Учитывая данные обстоятельства, в настоящее время все более актуальным является разработка, исследование, внедрение и расширение областей применения новых способов обработки, позволяющих проводить процесс резания с заданной точностью и удовлетворительным качеством [1].

Создание новых способов обработки резанием приводит к необходимости изменения характера приложения механического воздействия на снимаемый припуск, а также использования других видов воздействия, таких как электрические, химические, тепловые. Применение комбинированных методов обработки, основанных на совместном действии механических, химических, тепловых и электрических процессов, позволяет повысить производительность и точность обработки, а также стойкость применяемого режущего инструмента в сравнении с входящими в него методами.

Находят все большее применение на машиностроительных предприятиях способы обработки заготовок, основанные на изменении характера механического воздействия на подлежащий срезанию слой материала. К ним относятся сверхскоростное резание, ультразвуковое и вибрационное.

К существенному недостатку известных и активно используемых в настоящее время способов лезвийной обработки материалов, можно отнести наличие постоянного

контакта трущихся рабочих поверхностей инструмента с обрабатываемым материалом. Данное явление приводит к локализации тепловых и силовых нагрузок в ограниченном объеме режущей части инструмента, что отрицательно влияет на его способность сохранять свои режущие свойства и не позволяет интенсифицировать режимы резания с целью применения современных металлообрабатывающих систем.

Таким образом, необходима разработка принципиально новых способов и технологий, свободных от указанного недостатка. Одним из решений этой задачи является ротационное резание, принцип работы которого основан на непрерывной замене рабочих участков лезвия инструмента.

Для повышения производительности механической обработки материалов изыскиваются также различные методы, ряд которых основан на искусственном подогреве обрабатываемой заготовки. Однако недостатком этих методов все еще остается большой и нерациональный расход тепла.

Принципиальным отличием способа термофрикционной обработки (ТФО) является нагрев зоны стружкообразования силами трения, что способствует, наряду с конструктивными особенностями применяемого инструмента, концентрации тепла в небольшом объеме металла, который затем удаляется с поверхности заготовки [2].

При использовании данного способа обработка ведется металлическими дисками, изготовленными из конструкционной стали и имеющими различные геометрические параметры. В процессе контакта заготовки с быстровращающимся режущим диском ($V_d = 40...80$ м/с) происходит разогрев металла в контактной зоне до высокопластичного состояния и его деформация, сопровождаемая образованием сливной волнистой стружки.

Ранее были проведены исследования особенностей процесса ТФО. В работах ряда авторов [2-3] отражены результаты исследований составляющих силы резания, тепловых явлений, износа и стойкости инструмента, специфики процесса пластической деформации и геометрической формы зоны стружкообразования. Однако исследованию динамических характеристик процесса ТФО до настоящего времени не было уделено должного внимания.

Ввиду того, что основные явления ТФО происходят в зоне контакта режущего диска, жестко закрепленного на шпинделе станка, и обрабатываемой заготовки, установленной в зажимном приспособлении, то определяющее влияние на характеристики процесса оказывает динамика их относительных перемещений [4].

Целью настоящей работы является экспериментальное определение основных источников возникновения вибраций при ТФО, так как устойчивость движения при резании является обязательным условием получения заданной точности и качества обработки, а также стабильной работы технологической системы.

Основное содержание работы

При проведении исследований в качестве инструмента был использован режущий диск диаметром 500 мм с четырьмя диаметрально расположенными на передней поверхности пазы и диск без пазов. Обработке подвергались заготовки из углеродистой качественной конструкционной стали 45. Ширина обработки $B = 60$ мм.

Измерение параметров вибрации проводилось при работе оборудования в режиме рабочего и холостого хода при помощи многофункционального анализатора спектра вибрации модели 795М. Крепление датчика осуществлялось при помощи шпильки на корпусе шпиндельной головки вертикально-фрезерного станка модели 6М13ПБ в ради-

альном направлении и на заготовке – в вертикальном и горизонтальном направлениях (рис. 1). Расположение и обозначение точек контроля представлено на рис. 2.

Проводились измерения общих параметров вибрации и частотной формы вибрационного сигнала при частоте вращения режущего диска $n_d = 2000 \text{ мин}^{-1}$, 2500 мин^{-1} . Контролируемый частотный диапазон $10 \dots 1000 \text{ Гц}$, $10 \dots 4000 \text{ Гц}$, $18 \dots 10000 \text{ Гц}$. Рабочий режим реализован при скорости подачи заготовки $V_3 = 160 \text{ мм/мин}$, глубине резания $a = 1,5 \text{ мм}$. Результаты измерений параметров общего уровня вибрации приведены в таблице 1.



Рис.1. Измерение параметров вибрации

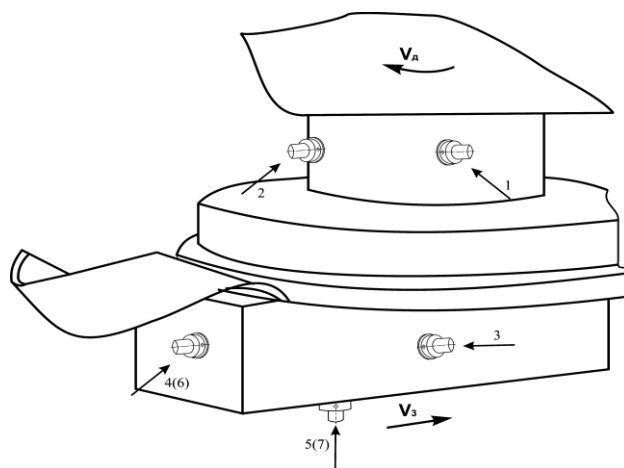


Рис. 2. Расположение контрольных точек измерения:
1, 2 – шпиндель вертикально-фрезерного станка; 3, 4, 5– обработка диском с пазами; 6, 7– обработка гладким диском

Усовершенствованная конструкция режущего диска, периферия корпуса которого снабжена пазами с внутренними режущими лезвиями, обеспечивает прерывистый характер резания и приводит к уменьшению сечения стружки.

Пазы имеют передний и задний углы резания, которые образуют внутренние режущие лезвия. Снятие припуска ведется сплошным наружным и внутренним режу-

щими лезвиями. При обработке плоских поверхностей заготовок режущим диском данной конструкции происходит образование стружки вследствие срезания припуска в разносторонних направлениях: в направления подачи и поперек нее, и, кроме того, осуществляется подрезание припуска по всей ширине обрабатываемой плоскости, которое обеспечивается за счет вращения режущего диска.

Таблица 1. Результаты измерений параметров общего уровня вибрации

Точка	$a_{СКЗ}$, м/с ²	$a_{пик}$, м/с ²	$V_{СКЗ}$, мм/с	$S_{СКЗ}$, мкм	Частота вращения n_d , мин ⁻¹	Режим работы	Частотный диапазон, Гц	Номер записи
1	44,6	156,9	3,3	15	2000	Хол.ход	18...10000	1
1	15,6	65,6	3,7	32	2500	Хол.ход	10...4000	2
1	5,2	20,4	3,3	25	2500	Хол.ход	10...1000	3
1	41,8	151,7	7,4	35	2000	Раб.ход	18...10000	4
1	32,4	118,9	11,3	109	2000	Раб.ход	10...4000	5
1	11,9	37,9	9,1	85	2000	Раб.ход	10...1000	6
2	3,9	16,1	4,5	29	2500	Хол.ход	10...1000	7
2	24,8	93,7	4,9	33	2500	Хол.ход	10...4000	8
2	30,0	126,8	4,4	18	2500	Хол.ход	18...10000	9
2	8,5	36,1	9,3	97	2000	Раб.ход	10...1000	10
2	34,1	137,1	9,9	100	2000	Раб.ход	10...4000	11
2	41,6	175,3	7,2	29	2000	Раб.ход	18...10000	12
3	93,3	335,3	15,7	119	2000	Раб.ход	10...4000	13
3	80,6	341,9	11,5	36	2000	Раб.ход	18...10000	14
4	78,6	331,3	17,5	45	2000	Раб.ход	18...10000	15
4	48,5	250,1	16,4	87	2000	Раб.ход	10...4000	16
5	71,7	254,6	14,4	96	2000	Раб.ход	10...4000	17
5	14,9	71,7	4,3	25	2000	Раб.ход	18...10000	18
6	35,7	157,7	34,9	133	2500	Раб.ход	18...10000	19
6	41,8	176,3	40,8	185	2500	Раб.ход	10...4000	20
7	58,8	262,4	18,0	108	2500	Раб.ход	10...4000	21
7	61,3	311,5	12,7	34	2500	Раб.ход	18...10000	22

Анализ общего уровня вибрации.

Точка 1. Значения параметров вибрации на холостом ходу стабильны относительно отдельных измерений (отклонения не превышают 7%), что характеризует удовлетворительную работу механизма.

Значения виброперемещения $S_{СКЗ} = 26...30$ мкм (среднеквадратичное значение) соответствуют удовлетворительному состоянию.

Значения виброскорости $V_{СКЗ} = 3,3...3,7$ мм/с (среднеквадратичное значение) несколько повышены относительно работы станочного оборудования, но не превышают допустимой величины 4,5 мм/с.

Значения виброускорения $a_{СКЗ}$ (м/с²) указывают на преобладание в спектре высокочастотных колебаний.

При изменении частоты вращения диска с 2000 мин⁻¹ до 2500 мин⁻¹ происходит увеличение вибрации в линейной зависимости, а не в квадратичной. Это подтверждает хорошую уравновешенность диска.

В рабочем режиме наблюдается увеличение виброскорости в 2-3 раза. Значения виброперемещения также увеличиваются в 2-3 раза. Величина виброускорения в высокочастотном диапазоне несколько уменьшается, низкочастотном – увеличивается в 2 раза. Это указывает на низкочастотный характер процесса резания.

Точка 2. Уровень параметров вибрации и характер изменения колебаний аналогичен точке 1. При работе в рабочем режиме проводились два измерения вибрации на протяжении одного цикла резания. Первый замер был проведен в начале обработки заготовки, второй – на заключительном этапе. Для точки 1 значения второго измерения больше, нежели первого.

Для точки 2 значения измерений имеют меньшие отличия. В одном случае значения первого измерения больше, чем второго. Данные отклонения могут быть связаны с изменением жесткости обрабатываемой заготовки в направлении обработки.

Точки 3, 4, 5. Проводились два измерения вибрации на протяжении одного цикла резания. Значения измерений на заключительном этапе больше в 1,1-5,6 раза, нежели на начальном. Большие отклонения зарегистрированы для точки 5. Меньшие отклонения более характерны для точки 3. Данные отклонения могут быть связаны с изменением жесткости обрабатываемой заготовки в направлении обработки и перемещением зоны резания относительно датчика.

Точки 6, 7. Измерения в данных точках проводились при использовании гладкого диска и увеличении частоты вращения диска до 2500 мин^{-1} . Общий уровень вибрации при этом в точке 6 уменьшился по значениям виброускорения примерно в два раза, а по значениям виброскорости и виброперемещения увеличился в 2-3 раза. Увеличились энергетические показатели низкочастотного диапазона.

Значения вибрации в точке 7 практически идентичны значениям вибрации в точке 5. Значительных отклонений по измерениям не отмечено. Возможно, уменьшился ход инструмента или характер закрепления заготовки.

Спектральный анализ.

Основными составляющими вибрационного процесса холостого хода в точке 1 являются: резонанс на частоте $7912...7925 \text{ Гц}$ (рис. 3, а), незначительные составляющие на частоте 1120 Гц , 1745 Гц .

При изменении частоты вращения резонансная частота остается практически неизменной. В спектре виброскорости преобладают составляющие оборотной частоты диска (рис. 3, б).

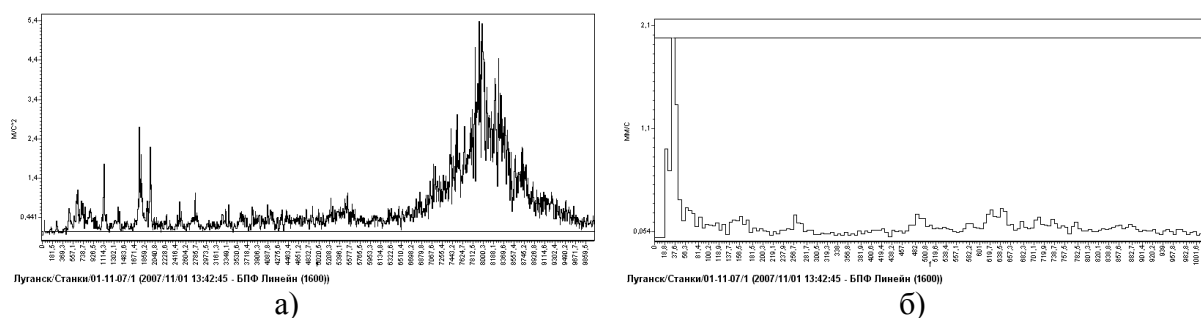


Рис. 3. Спектрограмма виброускорения (а) и виброскорости (б) в точке 1: холостой ход, частота вращения диска 2000 мин^{-1}

Рабочий режим характеризуется снижением резонансного пика, изменением частоты резонанса (рис. 4, а). В спектре виброскорости появляется 16-я гармоника обо-

ротной частоты (рис. 4, б). Это, возможно, зубцовая частота. Появляются субгармоники (частоты 1/2, 1/3 оборотной частоты) – признак повышенной податливости системы.

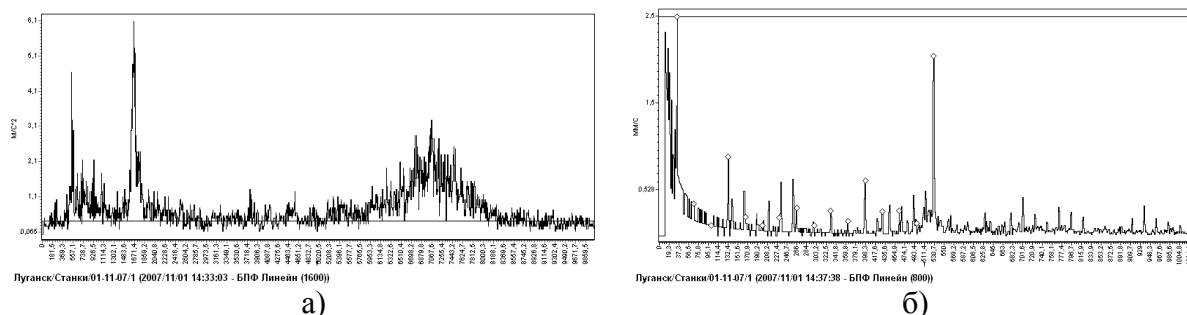


Рис. 4. Спектрограмма виброускорения (а) и виброскорости (б) в точке 1: рабочий ход, частота вращения диска 2000 мин⁻¹

Спектр колебаний в точке 2 на холостом ходу содержит резонансные составляющие на частоте 2000...4000 Гц. В спектре виброскорости преобладает оборотная частота. Рабочий процесс в точке 2 проявляется в виде трех групп частот.

Процесс обработки на заготовке проявляется в виде полигармонического сигнала, являющегося результатом ударного процесса резания. Основная частота модуляции – оборотная частота вращения диска. Значимые составляющие присутствуют до частоты 7000 Гц. Характер процесса носит случайный характер – это приводит к изменению спектра вибрационного сигнала (рис. 5, а).

Работа с гладким диском не изменяет спектр вибрационного сигнала (рис. 5, б). Увеличивается составляющая виброскорости на оборотной частоте до 30 мм/с.

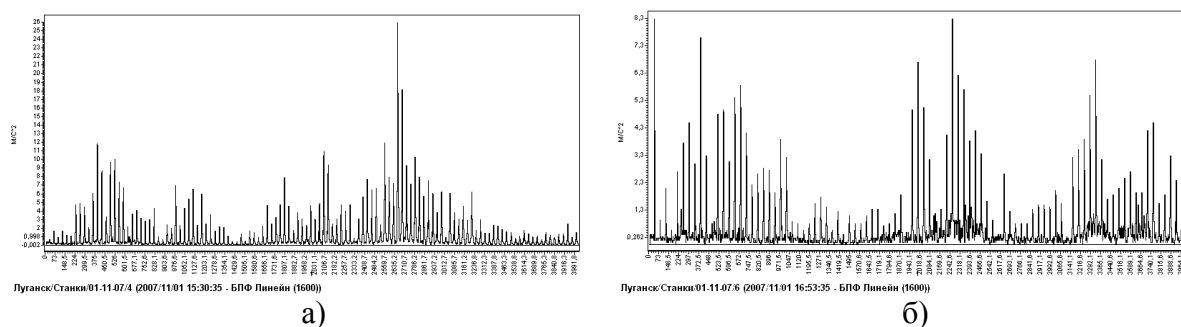


Рис. 5. Спектрограмма виброускорения в точках 4 (а), 6 (б): рабочий ход, частота вращения диска 2500 мин⁻¹

Выводы

Полученные результаты экспериментальных исследований позволяют выявить основные источники возникновения вибраций при ТФО, что может быть использовано при определении показателей динамического качества процесса, используемых в дальнейшем для оценки эффективности обработки и выбора оптимальных условий стабильной работы технологической системы.

Список литературы: 1. Подураев В.Н., Камалов В.С. Физико-химические методы обработки. – М.: Машиностроение, 1973. – 346 с. 2. Зарубицкий Е.У., Талантов Н.В., Костина Т.П. Исследование процесса стружкообразования при обработке металлов диском трения // Вестник машиностроения. – 1981. – №9. – С. 57-58. 3. Зарубицкий Е.У. Температура снимаемого припуска при термофрикционном резании // Оптимизация процессов резания жаропрочных и особопроочных материалов. – Уфа: Изд-во УАИ, 1986. – С. 106-110. 4. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1979. – 232 с.

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ПРИ ТЕРМОФРИКЦІЙНІЙ ОБРОБЦІ СТАЛЕЙ

Покінтелица М.І., Сидоров В.А.

Наведені результати проведення експериментальних досліджень з визначення основних джерел виникнення вібрацій при термофрикційній обробці. Проаналізовано вплив динаміки відносних переміщень на стійкість роботи технологічної системи.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ТЕРМОФРИКЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛЕЙ

Покинтелица Н.И., Сидоров В.А.

Приведены результаты проведения экспериментальных исследований по определению основных источников возникновения вибраций при термофрикционной обработке. Проанализировано влияние динамики относительных перемещений на устойчивость работы технологической системы.

DETERMINATION OF PARAMETERS OF VIBRATION OF TECHNOLOGICAL SYSTEMS AT THERMOFRICTIONAL MACHINING OF STEELS

Pokintelitsa N.I., Sidorov V.A.

The results of leadthrough of experimental researches are resulted on determination of basic sources of origin of vibrations at thermofrictional machining. Influence of dynamics of the relative moving on stability of work of the technological system is analysed.

Рецензент: д.т.н., проф. Гусев В.В.