

УДК 621.833

Н.В. Азарова, канд. техн. наук, доцент,
В.А. Сидоров, канд. техн. наук, доцент,
В.П. Цокур, канд. техн. наук, доцент

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
Тел./Факс: +38(050)2738779; E-mail: sidorov_va@ukr.net

ВИБРАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Определен спектральный состав вибрационного сигнала в режиме холостого хода, проведено измерение параметров вибрации при плоском шлифовании статически и динамически уравновешенным кругом. Установлено, что шлифование динамически уравновешенным кругом делает процесс обработки более стабильным по сравнению со шлифованием статически уравновешенным кругом.

Ключевые слова: шлифование, динамическая балансировка, параметры вибрации, спектр колебаний.

1. Введение

При шлифовании труднообрабатываемых материалов алмазными кругами на металлических связках к оборудованию, на котором устанавливаются эти круги, предъявляются дополнительные требования по обеспечению минимального радиального бienia рабочей поверхности круга (РПК). Перед установкой на станок круг, закрепленный на оправке фланцами, балансируют на ножах. Динамическую балансировку круга на рабочей скорости не производят, следствием чего может стать возникновение вибраций, вызванных дисбалансом шлифовального круга, которые могут передаваться шлифовальной бабке и заготовке. Вибрация неуравновешенного круга проявляется в виде синусоидальных колебаний с частотой вращения шпинделя шлифовального круга, а в спектре колебаний при этом присутствует значительный пик на частоте вращения. Поскольку дисбаланс приводит к увеличению нагрузок, в большей степени проявляются и другие пики на частотах, кратных частоте вращения (гармониках). Установлено [1], что доля погрешности, вносимой неуравновешенностью круга и шпиндельного узла при шлифовании, может достигать 70 % общей погрешности обработки.

Для обеспечения устойчивости процесса шлифования применяются различные методы, одним из которых является поддержание в необходимых пределах параметров рабочей поверхности шлифовального круга за счет электроэрозионного воздействия на РПК [2].

В.А. Кудинов указывает [3], что для круглошлифовальных и плоскошлифовальных станков области устойчивости и неустойчивости, определенные по критерию Найквиста, очень узки, так ширина области «устойчивых» частот 30 1/с или 5 Гц, по детали соответственно 0,5-1,5 Гц. Причем, это справедливо только в начальный период после правки, когда обеспечивается идеально правильная форма круга.

Известен метод формирования рациональной волнистости продольного профиля алмазных кругов [4], который приводит к снижению амплитуды колебаний системы, что позволяет повысить стабильность процесса шлифования и качество поверхностного слоя обработанных деталей.

Появление современных спектроанализаторов вибрации, повышение быстродействия и уменьшение габаритов приборов позволяют проводить исследования в производственных условиях, что дает возможность использовать методы виброметрии для определения рациональных режимов обработки, обеспечивающих заданные параметры качества шлифованной поверхности [5, 6].

Целью работы является определение спектрального состава вибрационного сигнала на холостом ходу и при плоском шлифовании статически и динамически отбалансированным кругом и рассмотрение возможности применения методов виброметрии для обеспечения необходимых параметров качества обработанной поверхности.

2. Основное содержание и результаты работы

Исследования проводили на плоскошлифовальном станке модели 3Д711АФ11, модернизированном для электроэрозионной правки алмазных кругов на металлической связке (рис. 1, а), с установкой статически уравновешенного шлифовального круга 1А1 250×76×15×5 АС6 160/125-4-М2-01. Для измерений использовали спектроанализатор вибрации модели 795М (рис. 1, б).

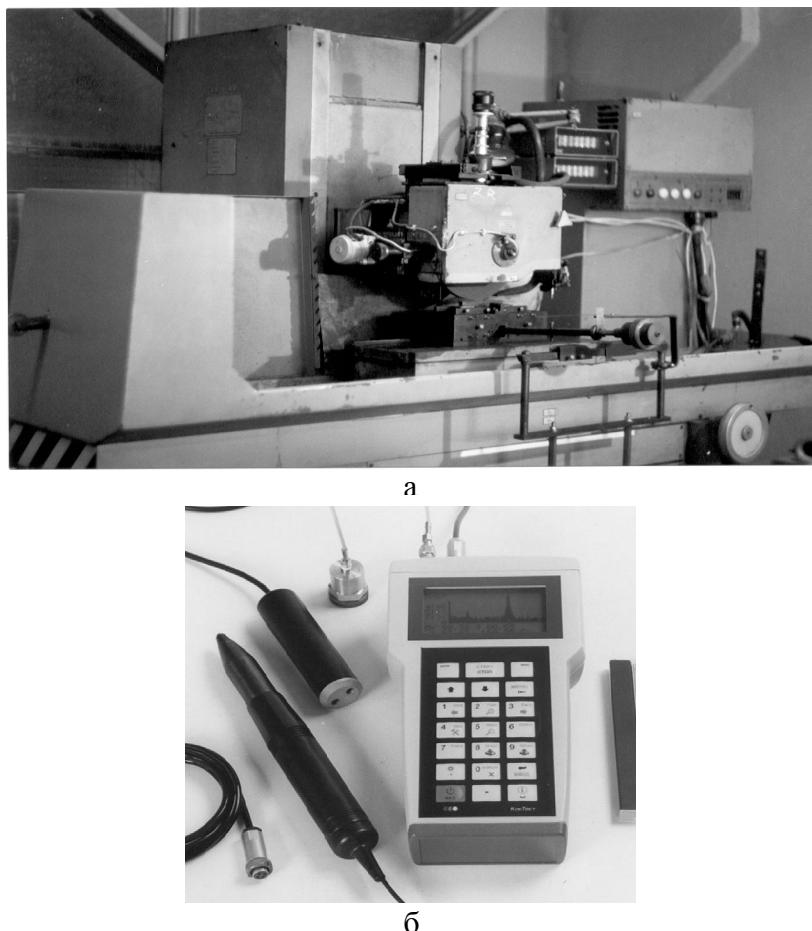


Рис. 1. Общий вид модернизированного плоскошлифовального станка модели 3Д711АФ11 (а) и анализатора спектра вибрации модели 795М (б)

Производили измерения общего уровня вибрации, анализ спектрального состава вибрационного сигнала, а также фазы первой гармоники вибрационного сигнала.

Первый этап - проведено измерение общего уровня вибрации по частотным диапазонам и определён спектральный состав вибрационного сигнала на режиме холостого хода. Расположение точек измерения показано на рисунке 2.

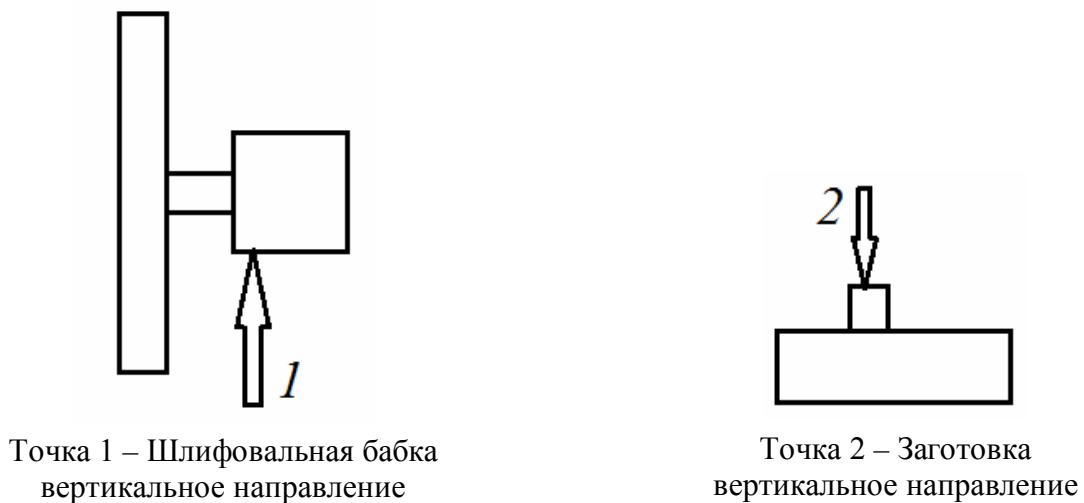


Рис. 2. Расположение точек измерения вибрации

Результаты измерения общего уровня вибрации по частотным диапазонам приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты измерения общего уровня вибрации по частотным диапазонам

Точка измерения	Вибропрелемещение, мкм	Виброскорость, мм/с	Виброускорение, м/с ²	Частотный диапазон, Гц
1			1,66/3,98	2...400
1	0,85	0,206	1,45/2,7	10...1000
1			1,0/2,07	10...4000

Анализ полученных результатов показывает, что при частоте вращения шлифовального круга 2232 об/мин наиболее информативным является частотный диапазон 10...1000 Гц. Это подтверждается спектральным составом вибрационного сигнала, представленным на рисунке 3. Увеличение толщины заготовки с 15 мм до 100 мм не приводит к существенным изменениям значений вибрационных параметров.

Второй этап – проведено измерение фазы вибрационного сигнала в режиме холостого хода. Результаты измерения фазы вибрационного сигнала на оборотной частоте в режиме холостого хода приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты измерения фазы в режиме холостого хода

Точка измерения	Виброскорость, мм/с в полосе	Виброскорость, мм/с в линии	Фаза сигнала	Примечание
1	0,189	0,143	170 ⁰	
2	0,134	0,104	25 ⁰	толщина заготовки 15 мм
2	0,129	0,099	19 ⁰	толщина заготовки 100 мм

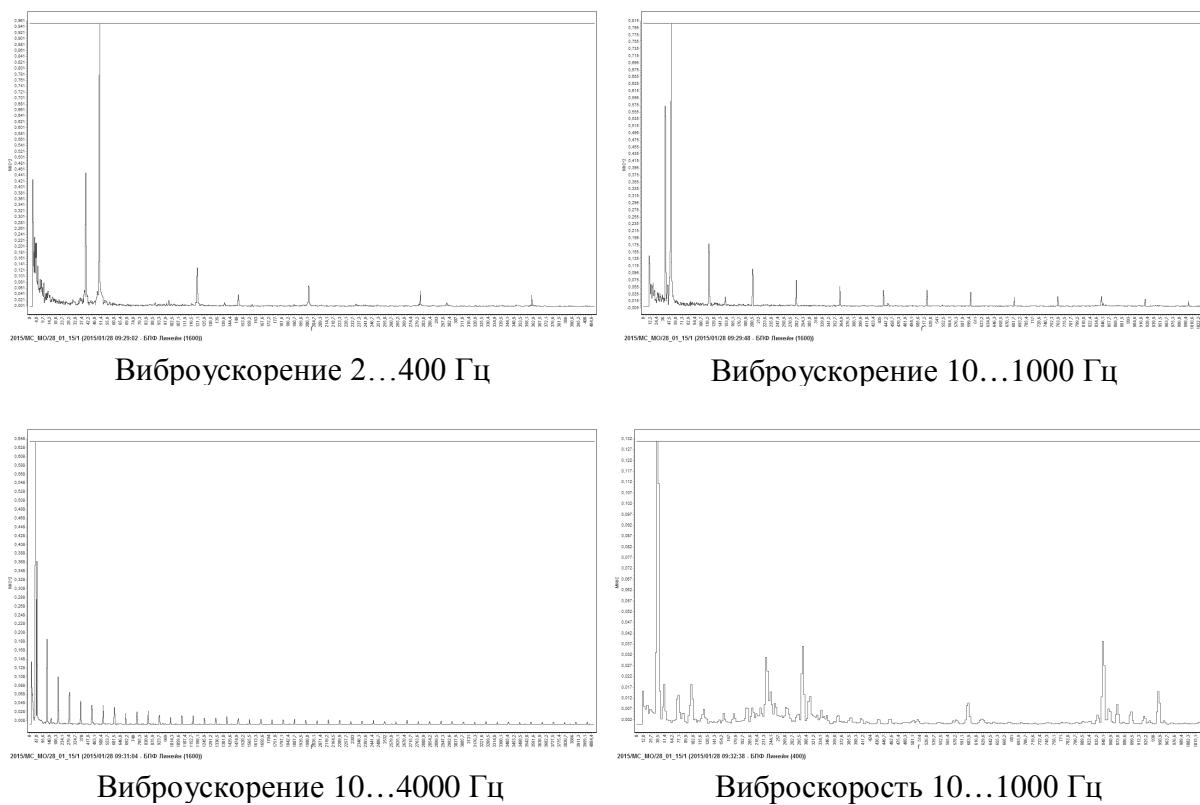


Рис. 3. Спектрограмми вибрационного сигнала в точке 1
в режиме холостого хода

Анализ полученных результатов показывает, что изменение толщины заготовки приводит к изменению фазы оборотной составляющей виброскорости. В режиме холостого хода разница фаз колебаний на шлифовальной бабке и на заготовке достигает 150°.

Третий этап – проведена динамическая балансировка шлифовального круга. Результаты уравновешивания приведены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты динамической балансировки шлифовального круга

Точка измерения	Виброскорость, мм/с в полосе	Виброскорость, мм/с в линии	Фаза сигнала	Примечание
1	0,2284	0,145	47°	
1	0,2291	0,1465	46°	
1	0,124	0,0256	159°	136° 19,4 г
1	0,127	0,0256	146°	136° 19,4 г

Первую гармонику оборотной частоты - составляющую от дисбаланса шлифовального круга удалось уменьшить в 6...7 раз, что привело к снижению общего уровня виброскорости в 1,8 раз. Значительно изменилась спектральная картина, представленная на рисунке 4. Исчезли амплитуды гармоник оборотной частоты, появилось большое количество составляющих кинематического движения элементов станка с малой амплитудой. Амплитуда составляющей на частоте 840 Гц осталась неизменной.

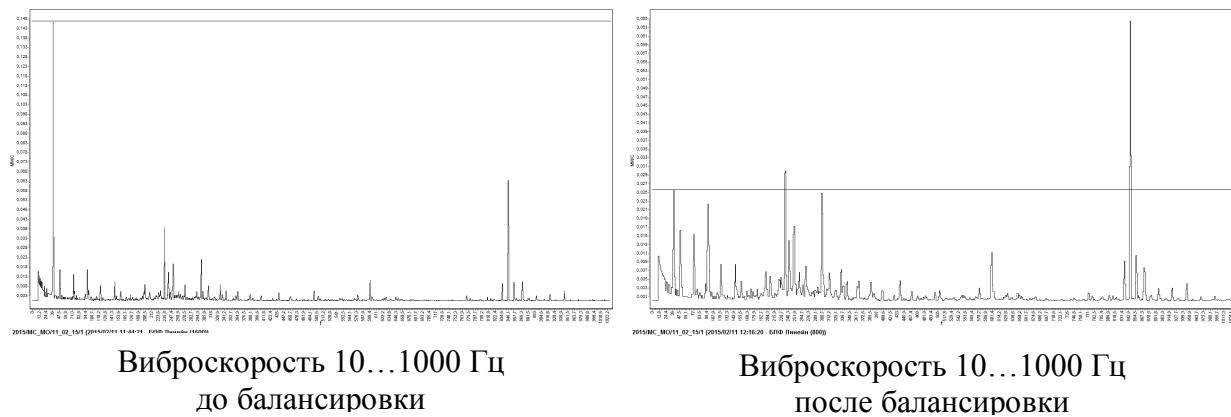


Рис. 4. Изменение спектральной картины вибrosкорости в точке 1 после динамического уравновешивания шлифовального круга

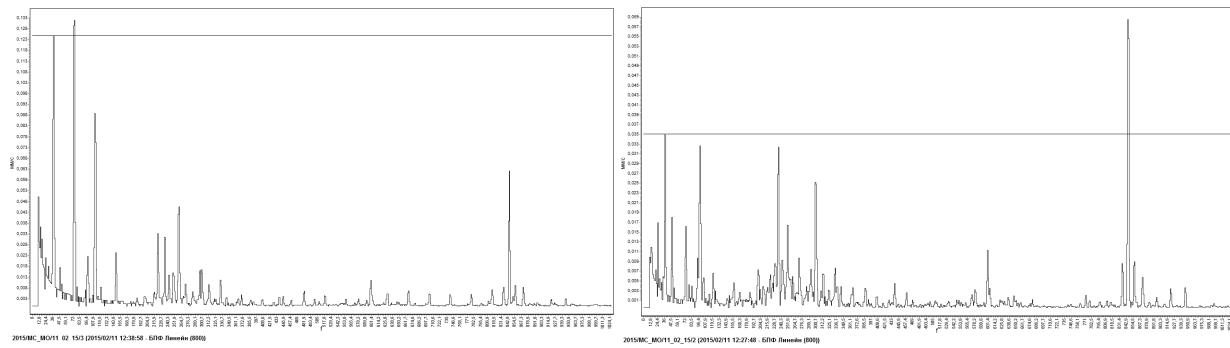
Четвёртый этап – измерение параметров вибрации в точке 1 при шлифовании статически и динамически уравновешенным кругом. Режимы обработки: скорость круга $v_k = 30$ м/с, скорость стола $v_{cm} = 1$ м/мин, глубина шлифования $t = 0,020$ мм. Обрабатываемый материал – сталь Р6М5Ф3.

Результаты измерений приведены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты измерения вибрации при шлифовании круга

Точка измерения	Вибrosкорость, мм/с в полосе	Вибrosкорость, мм/с в линии	Фаза сигнала	Примечание
Шлифование статически уравновешенным кругом				
1	0,3301	0,1253	35^0	
1	0,3056	0,1209	48^0	
1	0,2648	0,128	18^0	
Шлифование динамически уравновешенным кругом				
1	0,1466	0,0341	151^0	136^0 19,4 г
1	0,1436	0,0327	139^0	136^0 19,4 г
1	0,1399	0,0356	147^0	136^0 19,4 г

Шлифование статически уравновешенным кругом приводит к увеличению общего уровня вибrosкорости в 1,14...1,44 раза. Фаза меняется до 30^0 . Шлифование динамически уравновешенным кругом приводит к возрастанию общего уровня вибrosкорости в 1,12...1,17 раза. Фаза меняется до 12^0 . Можно утверждать, что процесс шлифования становится более стабильным. Спектральная картина вибrosкорости в точке 1 при шлифовании статически и динамически уравновешенного круга показана на рисунке 5. При шлифовании статически уравновешенного круга преобладают первая, вторая и третья гармоники оборотной частоты, имеющие наибольшее влияние на значения параметров шероховатости обрабатываемой поверхности. После динамического уравновешивания низшие гармоники имеют малую амплитуду, влияние частоты 840 Гц на качество поверхности предполагается незначительным.



Виброскорость 10...1000 Гц

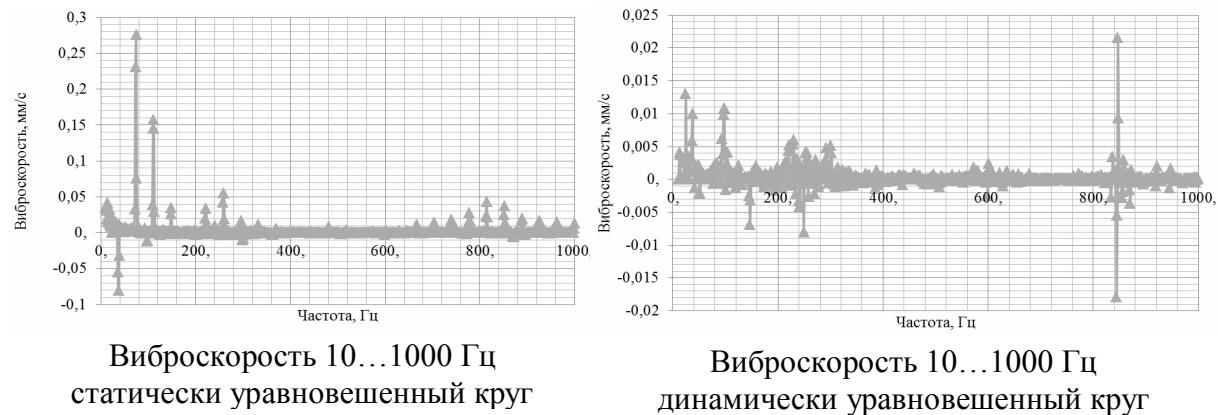
статически уравновешенный круг

Виброскорость 10...1000 Гц

динамически уравновешенный круг

Рис. 5. Спектральная картина виброскорости в точке 1
при шлифовании статически и динамически уравновешенным кругом

Наличие данных о спектральном составе вибрационного сигнала при шлифовании и на холостом ходу после математической обработки позволило получить вибрационную картину шлифования статически и динамически уравновешенным кругом (рис. 6).

Виброскорость 10...1000 Гц
статически уравновешенный кругВиброскорость 10...1000 Гц
динамически уравновешенный кругРис. 6. Спектральная картина процесса шлифования
статически и динамически уравновешенным кругом

Шлифование статически уравновешенным кругом приводит к появлению 2-й и 3-й гармоник оборотной частоты и к большим в 10 раз амплитудным значениям составляющих. Необходимо отметить изменение фазы и частоты вращения круга в процессе шлифования, чем объясняется появление пиков на частоте 840 Гц при шлифовании динамически уравновешенным кругом.

3. Заключение

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Фазы вибрационного сигнала на шлифовальной бабке плоскошлифовального станка и на заготовке имеют различия на уровне 120^0 , что является одной из причин возникновения волнистости и шероховатости обрабатываемой поверхности.
2. Уравновешивание шлифовального круга в динамическом режиме позволяет снизить общий уровень вибрации в 1,8 раза, а составляющую от дисбаланса в 6-7 раз.

3. Шлифование динамически уравновешенным кругом делает процесс обработки более стабильным по сравнению со шлифованием статически уравновешенным кругом, на что указывает полученная спектральная картина шлифования.

4. Направление дальнейших исследований связано с определением зависимости между уровнем вибрации и параметрами шероховатости и волнистости обработанной поверхности. Это позволит разработать методику определения режимов плоского шлифования, обеспечивающих заданные параметры шероховатости и волнистости, с учетом возникающих при обработке колебаний шлифовального круга и заготовки.

Список литературы:

1. Свирщев В.И. Об одном из путей динамической стабилизации процесса шлифования / В.И. Свирщев, Л.Ю. Ковалев, В.А. Гордеев // Совершенствование процессов в абразивно-алмазной и упрочняющей обработке в машиностроении: Межвуз. сб. научн. трудов. – Пермь, 1988. – С. 121-124.

2. Матюха П.Г. Якість обробленої поверхні та продуктивність шліфування ванадієвих інструментальних сталей: монографія / П.Г. Матюха, Н.В. Азарова, В.П. Цокур, В.В. Габітов. – Донецьк: Вид-во «Ноулідж», 2014. – 164 с.

3. Кудинов В.А. Динамика станков / В.А. Кудинов. – М.: Машиностроение, 1967. – 359 с.

4. Добросок В.Л. Регулирование вибраций при шлифовании труднообрабатываемых материалов путем формирования рационального продольного профиля рабочей поверхности кругов / В.Л. Добросок, А.Н. Шпилька // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Серія: Машиноприладобудування та транспорт.– Вип. 139/2013. – Севастополь, 2013. – С. 76-78.

5. Сидоров В.А. Вибродиагностика бесцентровых токарных станков / В.А. Сидоров, А.Л. Нестеров // Международный информационно-технический журнал «Оборудование и инструмент для профессионалов, серия Металлообработка», №2 (134) 2011. - С. 70 – 74.

6. Молчанов А.Д. Практическая виброметрия металлорежущих станков / А.Д. Молчанов, В.А. Сидоров // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. - № 1(11)'2014. – Донецьк, 2014. – С. 165-172.

Надійшла до редакції 01.12.2014.

N.V. Azarova, V.A. Sidorov, V.P. Tsokur

VIBRATIONAL RESEARCH THE GRINDING PROCESS OF HARD MACHINING MATERIALS

The spectral composition of the vibration signal at idling speed, measured the vibration parameters at flat grinding statically and dynamically balanced wheel. Found that grinding dynamically balanced range makes the processing more stable compared to statically balanced grinding wheel.

Keywords: grinding, dynamic balancing, vibration parameters, spectrum of oscillations.

Н.В. Азарова, В.А. Сидоров, В.П. Цокур

ВІБРАЦІЙНІ ДОСЛДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ШЛІФУВАННЯ ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ МТЕРІАЛІВ

Визначено спектральний склад вібраційного сигналу в режимі холостого ходу, проведено вимірювання параметрів вібрації при плоскому шліфуванні статично і динамічно врівноваженим кругом. Встановлено, що шліфування динамічно врівноваженим кругом робить процес обробки більш стабільним в порівнянні зі шліфуванням статично врівноваженим кругом.

Ключові слова: шліфування, динамічне балансування, параметри вібрації, спектр коливань.