

# МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-82-94

\*Никитина И.П., Поляков А.Н.

Оренбургский государственный университет

\*E-mail: innanikitina@list.ru

## ОСОБЕННОСТИ ПРОТЕКАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ДВУСТОРОННИХ ТОРЦЕШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКАХ

**Аннотация.** В работе представлен анализ протекания тепловых процессов в несущей системе двустороннего торцешлифовального станка. Для анализа использовались экспериментальные данные по температурам и перемещениям, полученные при работе станка на холостом ходу, и при имитации процесса шлифования с помощью электронагревателей различной мощности. Выполненные исследования показали, что тепловые деформации двусторонних торцешлифовальных станков с дуговой траекторией подачи заготовок происходят в широком диапазоне как по величине, так и по направлению, и могут нарушать основное требование точной работы станка – симметричность условий обработки на обоих торцах заготовки. Из экспериментов была установлена абсолютная величина непараллельности шлифовальных кругов после трех часов работы, которая почти в два раза превысила величину снимаемого припуска. Анализ кинетических изменений деформаций несущей системы станка при работе под тепловой нагрузкой показал, что с ее прогревом взаимное положение кругов постепенно изменяется от состояния «внизу шире» до состояния «внизу уже». Это приводит к самопроизвольному изменению динамической настройки технологической системы и соответствующему изменению точности обработки. Изменения динамической настройки технологической системы с разной интенсивностью продолжаются в течение всего времени работы станка.

**Ключевые слова:** торцешлифовальные станки, тепловые деформации, избыточные температуры, тепловые перемещения.

**Введение.** Шлифование имеет большое значение в качестве финишной операции в машиностроительном производстве. Поэтому шлифование и шлифовальные станки сегодня по-прежнему являются актуальной областью научных исследований. Достаточно большой объем исследований охватывает реализацию новых технологий шлифования для гарантированного достижения высокого качества поверхностей колец подшипников и торцов роликов с параметром шероховатости Ra не превышающим 0,04 мкм [1, 2]. Экспериментально было показано, что повышение качества поверхности существенно позволяет увеличить срок службы роликовых подшипников за счет стабилизации во времени значений момента трения [2]. В работе [3] авторами была предложена методика расчета параметров шероховатости, сил шлифования и толщины темного слоя на обработанных поверхностях колец подшипников. Предложенные зависимости учитывали конструкторские и технологические параметры процесса шлифования. Это позволило проводить оптимизацию процесса шлифования с контролем выходных параметров обрабатываемых колец подшипников. Для более точного определения температуры шлифования в зоне об-

работки рассчитывался тепловой поток, передаваемый в заготовку. Расчет толщины темного слоя основан на известном значении температуры 150 °С, при котором начинается фазовое превращение в подшипниковой стали. При этом фазовом превращении образуется поверхностный темный слой на кольцах подшипника. В работе [4] представлена тепловая модель шлифования внутреннего кольца подшипника, реализованная в САЕ-системе Ansys. Разработанная модель, учитывающая конструктивные параметры подшипника и технологические параметры шлифования, позволяет проводить оптимизацию процесса резания. В работе [5] рассмотрен прогрессивный метод ультразвукового врезного шлифования, который обеспечивает более чем на 20 % рост эффективности процесса шлифования, снижение шероховатости более чем на 25 %.

Современная тенденция механообработки – замена процесса шлифования лезвийными методами обработки находит отражение и в производстве подшипниковых компонентов [6, 7]. Представленные в работах [6, 7] результаты исследований твердого точения, примененные при изготовлении внутренних колец подшипника на различных станках: Hemburg Mikroturn-100 [6] и Goodway GLS-2000 [7], – показали возможность

достижения качества обработанной поверхности, сопоставимой со шлифованием. Однако, в работе [6] авторы дополнительно рекомендовали проводить после твердого точения глубокую прокатку, приводящую к упрочнению поверхностного слоя. Эти исследования показали, что пока технология шлифования не может быть однозначно заменена на лезвийную обработку.

Технология шлифования и шлифовальные станки не ограничиваются их использованием в подшипниковой промышленности. Так в работах [8, 9] исследованы тепловые характеристики зубошлифовального и червячно-шлифовального станков. Задача термоупругости для несущей системы зубошлифовального и станины червячно-шлифовального станка были реализованы в CAE-системе Ansys. Расчетные данные были подтверждены экспериментально. В работах [10, 11] исследованы тепловые процессы глубинного шлифования. В работе [10] представлена тепловая конечно-элементная модель глубинного шлифования, так как основным ограничением этой технологии является термическое повреждение обрабатываемой детали и быстрый износ круга. В работе [11] показаны результаты экспериментальных исследований, полученные с использованием нового станка, реализующего глубинное шлифование. В работе [12] представлена разработанная упрощенная теоретическая модель тепловых деформаций зубошлифовального станка, основанная на решении задачи изгиба для балки. Эффективность модели была подтверждена экспериментально с погрешностью, не превысившей 5 %. В работах [13–17] исследованы тепловые процессы в чашечных кругах, смазочно-охлаждающей жидкости и заготовках, протекающие при шлифовании. Было показано, что знание изменений тепловых потоков и температур в этих компонентах термодинамической системы станка позволяет снизить тепловые напряжения, возникающие в заготовке при шлифовании и тем самым обеспечить качество обрабатываемых поверхностей.

В работе [18] предложена новая конструкция шлифовального круга, оснащенная тепловой трубкой. Приведены результаты экспериментальных исследований, которые доказывают создание охлаждающего эффекта для шлифовального круга и существенного снижения температуры, что позволяет осуществлять шлифование при более высоких скоростях резания без повреждения обрабатываемой поверхности.

В работе [19] представлена модель расчета температурного поля в зоне шлифования, основанная на методе конечных разностей. Разработанная модель генерации тепла позволяет учесть технологические режимы шлифования: подачу,

глубину резания и скорость резания. Было показано, что влияние подачи на температуру шлифования более значительно, чем скорость шлифования и глубина резания.

Таким образом, обзор современных исследований, выполненных для шлифовальных станков за последние пять-семь лет, показал, что одним из важнейших факторов, определяющих точность и качество обработанных поверхностей, являются тепловые процессы в зоне шлифования. Работы, в которых комплексно исследуются тепловые процессы, протекающие в несущей системе шлифовального станка, сегодня встречаются редко. В представленной работе рассмотрены особенности протекания тепловых процессов в двустороннем торцешлифовальном станке, выявленные экспериментально.

**Экспериментальное исследование.** Эксперименты проводились на станке модели 3А343АДФ2 (1990 год выпуска) с индивидуальным баком охлаждения, характеристика которого приведена в [20]. Температура характерных точек станка измерялась по методике, предложенной в [20], изменение углового положения кругов оценивалось с помощью принципа пневматического упора, по методике, также предложенной в [20]. Контролировались температуры окружающей среды и смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), выходящей из станка. Температура измерялась в точках, показанных на рис. 1.

**Экспериментальное исследование на холостом ходу.** Изменения температур узлов станка в зависимости от продолжительности работы станка на холостом ходу показаны на рис. 2 и 3.

Избыточные температуры корпусов (задней и передней стенок) шпиндельных бабок (рис. 2) в точках 5, 6, 15, 16, 8, 9, 18, 19 определялись избыточными температурами пинолей в зоне передних опор шпиндельных узлов, и составляли в диапазоне от 0,8 до 1,5 °С. Избыточные температуры торцов шпиндельных бабок (точки 1, 2, 11, 12) определялись избыточными температурами пинолей в зоне задних опор шпиндельных узлов и выделением тепла от приводных шкивов и электродвигателей. Избыточная температура торцов шпиндельных бабок в точках 1, 2, 11, 12 составила в диапазоне от 1,5 до 2 °С.

Избыточная температура торцов станины определялась выделением тепла от пинолей шпиндельных бабок, приводных шкивов и электродвигателей [20]. Избыточные температуры верхней и нижней частей поверхности торцов станины одинаковы, вследствие того, что к внутренней верхней поверхности каждого торца прижимается множество перегородок, отводящих тепло от торцевой поверхности. В нижней части

поверхности каждого торца станины перегородки отсутствуют, поэтому происходит накопление тепла. Избыточная температура в точках 3, 13, 4, 14 составляла в диапазоне от 0,8 до 1,3 °С (рис. 3). Верхняя часть станины, вблизи ограждения (точки 7, 17, 10, 20), имела избыточную температуру в диапазоне от 0,5 до 0,9 °С, определяемая избыточными температурами пинолей в

зоне задних опор шпиндельных узлов и СОЖ. Наименьшую избыточную температуру имела нижняя часть станины (точка 23) – 0,1 °С, как наиболее удаленная от источников тепловыделения. Избыточная температура под кожухами шкивов (точки 21, 22) составила 3,9 °С (рис. 4), СОЖ – 4 °С (рис. 5).

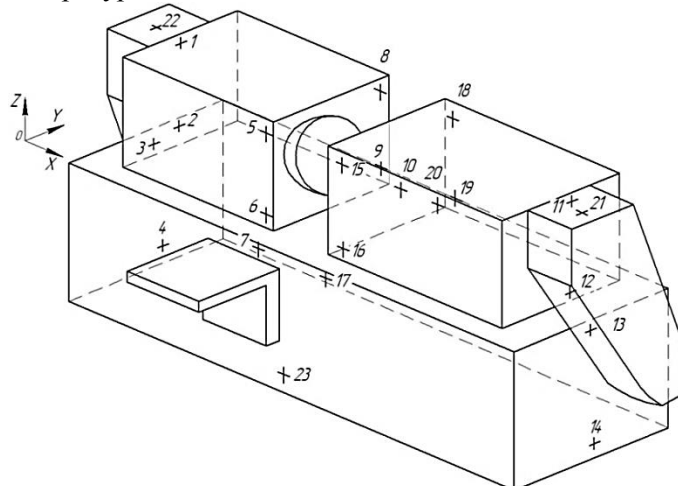


Рис. 1. Схема распределения контрольных точек измерения температур (редуктор с диском подачи не показаны)

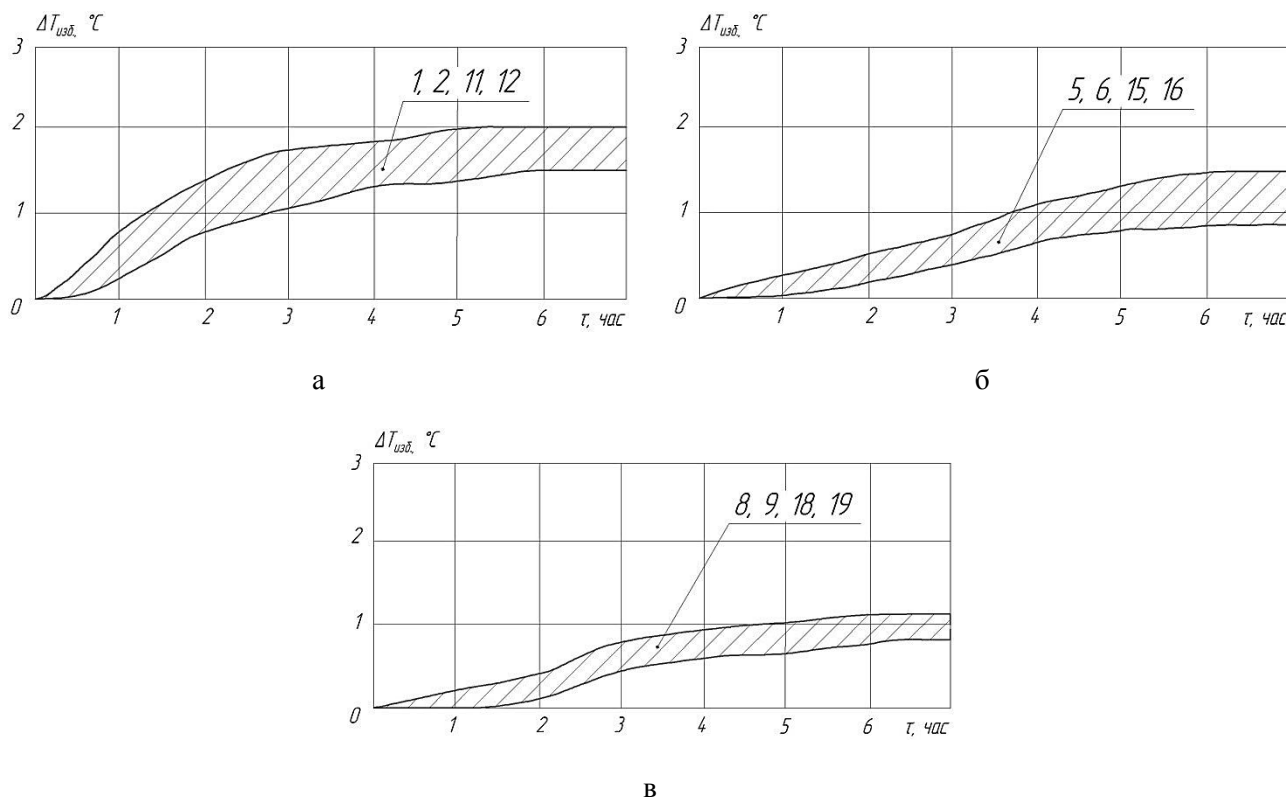


Рис. 2. Изменения температур характерных точек шпиндельных бабок станка при работе на холостом ходу: а – избыточная температура внешних торцов (точки 1, 2, 11, 12); б – избыточная температура передних стенок (точки 5, 6, 15, 16); в – избыточная температура задних стенок (точки 8, 9, 18, 19)

Выполненные измерения смещений фланцев шпинделя при работе станка на холостом ходу показали, что тепловые перемещения кругов от-

носительно плоскости подачи заготовки происходят неодинаково (рис. 6). Основной процент перемещений происходил в первые два часа работы станка и составлял: у левого круга – 8 мкм,

у правого – 22 мкм. Это означает, что левый круг изменяет свое положение относительно диска подачи на величину практически втрое меньшую, чем правый круг. Стабилизация положения фланца правого круга наступала через 6–7 часов работы, а положение левого круга при этом оставалось практически стабильным. Таким образом,

за время работы станка круги занимали положение, называемое «внизу шире». Это объясняется тем, что основными деформируемыми под действием тепловых процессов элементами станка оказываются наружные торцы шлифовальных бабок и станины, так как центр станины прогревался существенно слабее.

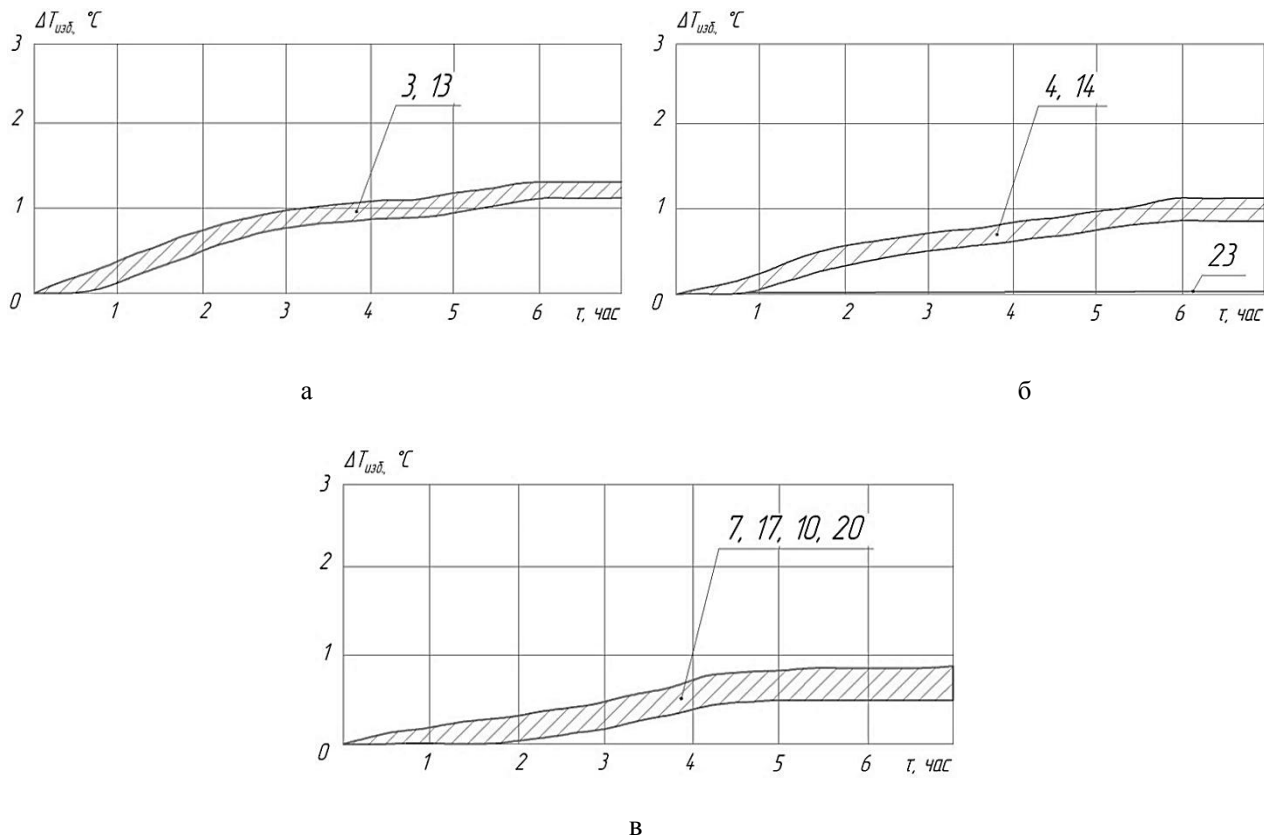


Рис. 3. Изменения температур характерных точек станины станка при работе на холостом ходу: а – избыточные температуры верхней части торцов станины (точки 3, 13); б – избыточные температуры нижней части торцов (точки 4, 14) и нижней части передней стенки (точка 23) станины; в – избыточные температуры верхней части передней и задней стенок станины вблизи ограждения (точки 7, 17, 10, 20)

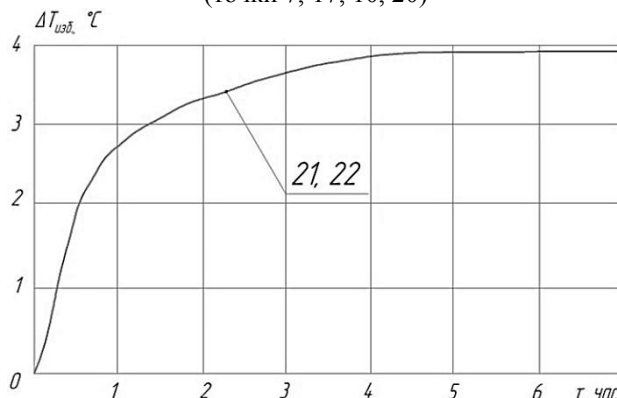


Рис. 4. Изменения избыточных температур кожухов шкивов на холостом ходу

**Экспериментальное исследование при имитации рабочего хода.** Изменения температур узлов станка в зависимости от продолжительности работы электронагревателей с мощностью 6 кВт, используемых для имитации

работы станка при шлифовании [20], показано на рис. 7 и рис. 8.

Так избыточные температуры на передней и задней стенках шпиндельных бабок (точки 5, 6, 15, 16, 8, 9, 18, 19), а также на их торцах внизу

(точки 2, 12) имели значения в диапазоне от 3,1 до 3,7 °С. На торцах шпиндельных бабок сверху (точки 1, 11) избыточные температуры составляли в диапазоне от 2,1 до 2,5 °С. Избыточные температуры корпусов шпиндельных бабок в соответствующих точках оказывались практически одинаковыми и имели равную скорость нарастания. Наибольшую избыточную температуру имела верхняя часть

станины вблизи ограждения (точки 7, 17, 10, 20) – диапазон температур составлял от 4,3 до 4,8 °С. Наименьшую избыточную температуру имела нижняя часть станины (точки 4, 14, 23) – диапазон температур составлял от 1 до 1,2 °С. Торцы станины в верхней ее части (точки 3, 13) имели избыточные температуры в диапазоне от 2,3 до 2,9 °С. Избыточная температура СОЖ составляла 14 °С (рис. 9).

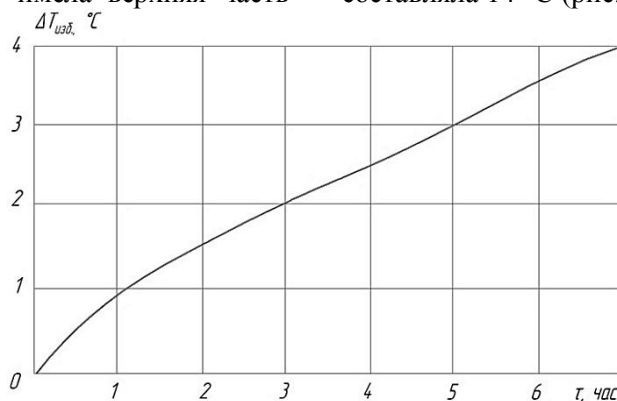


Рис. 5. Изменение избыточной температуры СОЖ на холостом ходу

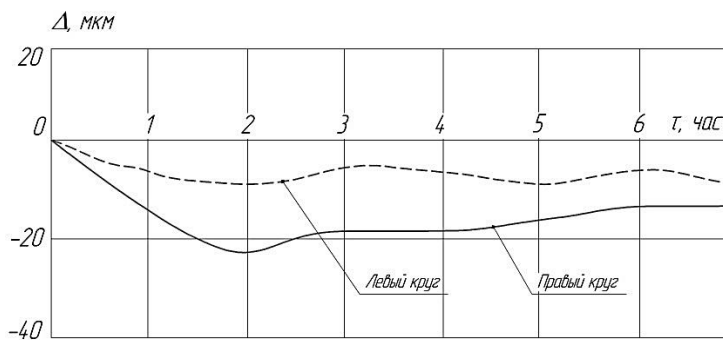
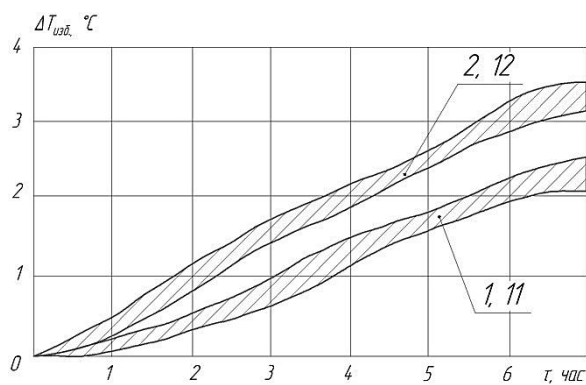
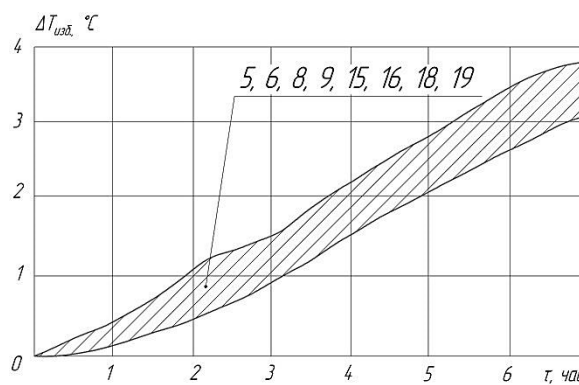


Рис. 6. Тепловые перемещения шлифовальных кругов на холостом ходу



а



б

Рис. 7. Изменения температур характерных точек шпиндельной бабки станка при работе под тепловой нагрузкой (N = 6 кВт):

а – избыточные температуры верхней (точки 1, 11) и нижней (точки 2, 12) частей внешних торцов шпиндельной бабки; б – избыточные температуры на передних (точки 5, 6, 15, 16) и задних (точки 8, 9, 18, 19) стенках шпиндельных бабок

На рис. 10 и рис. 11 показаны изменения температур характерных точек станка при нагреве СОЖ нагревателями мощностью 18 кВт [20]. Избыточные температуры торцов станины в точках 3, 13 и торцов шпиндельных бабок в точках 2, 12

составляли в диапазоне от 3,5 до 5 °С. В верхней части торцов шпиндельных бабок (точки 1, 11) фиксировался диапазон избыточных температур от 3 до 3,4 °С. Избыточные температуры на корпусах шпиндельных бабок вблизи ограждения

составляли в диапазоне от 5,6 до 6,7 °С. Наибольшую избыточную температуру имела средняя часть станины вблизи ограждения – в диапазоне от 12,5 до 13,5 °С. Избыточная температура СОЖ при этом фиксировалась на уровне 32 °С (рис. 9). Наименьшую избыточную

температуру имела нижняя часть станины – в диапазоне от 1 до 1,5 °С.

По характеру распределения температур видно, что при работе станка под тепловой нагрузкой доминирующим источником тепловыделения является СОЖ.

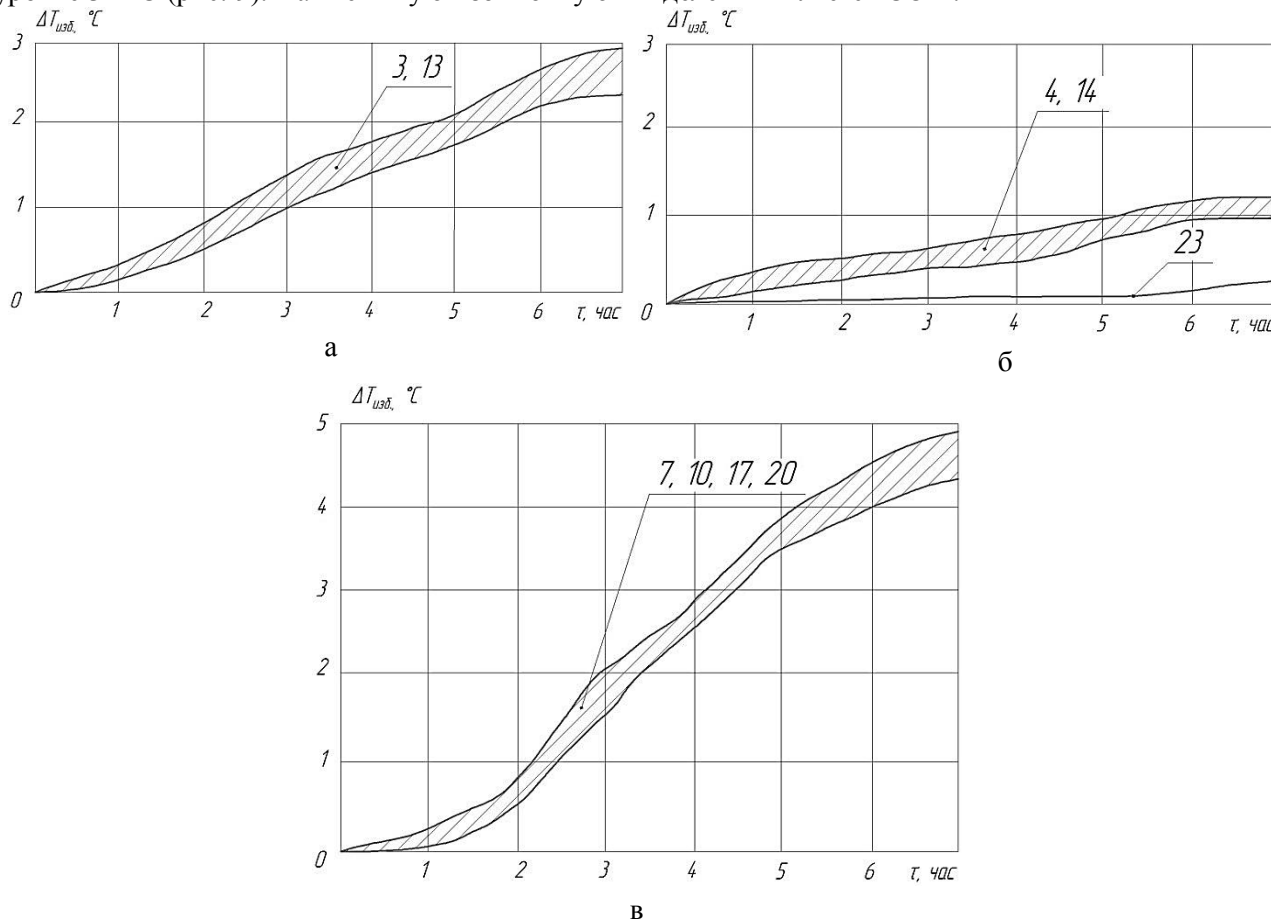


Рис. 8. Изменения температур характерных точек станины станка при работе под тепловой нагрузкой ( $N = 6$  кВт):

- а – избыточная температура верхней части торцов станины (точки 3, 13); б – избыточные температуры нижней части торцов (точки 4, 14) и нижней части передней стенки (точка 23) станины;
- в – избыточные температуры верхней части передней (точки 7, 17) и задней (точки 10, 20) стенок станины вблизи ограждения

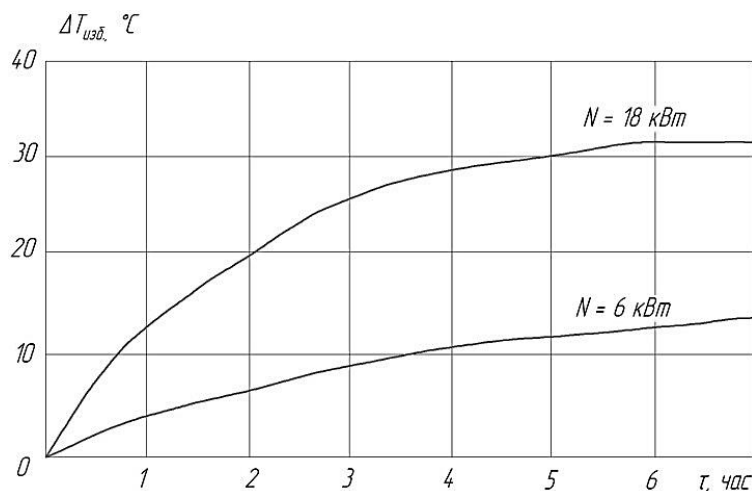


Рис. 9. Изменение избыточной температуры СОЖ при работе под тепловой нагрузкой

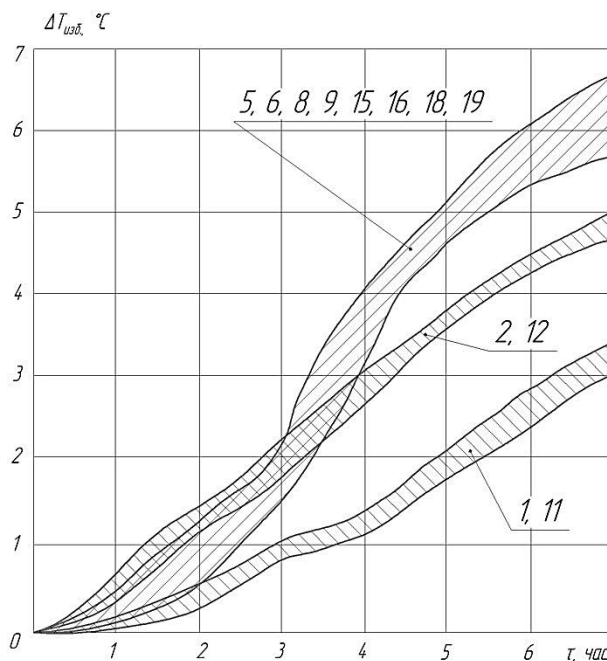


Рис. 10. Изменения температур характерных точек шпиндельной бабки станка при работе под тепловой нагрузкой ( $N = 18$  кВт)

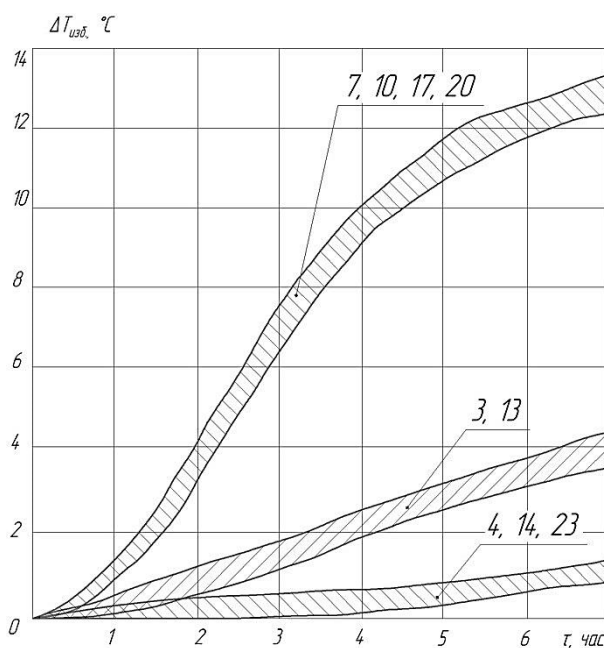


Рис. 11. Изменения температур характерных точек станины станка при работе под тепловой нагрузкой ( $N = 18$  кВт)

**Обсуждение.** Как показали исследования, тепловые перемещения фланцев кругов относительно плоскости подачи заготовки на холостом ходу станка происходили неодинаково. Еще более разительна перемена при работе под нагрузкой. Из графика (рис. 12) видно, что стабилизация положения правого круга за 7 часов не происходила, но скорость изменения углового положения значительно снижалась. Так, если по завершению второго часа эксперимента изменение углового положения правого круга за один час ( $N = 6$  кВт) составило 14 мкм, то после семи часов эксперимента часовое изменение составило лишь

7 мкм. При этом абсолютные значения изменений угловых положений кругов за 7 часов работы составили: правого – 82 мкм, левого – 5 мкм.

При работе под нагрузкой в 18 кВт (рис. 13) изменения угловых положений кругов за 7 часов работы станка составили: правого – 152 мкм, левого – 45 мкм. Выделенное в середине станка тепло привело к полной асимметричности положения кругов относительно плоскости подачи заготовки, тем самым нарушая одно из основных требований высококачественного шлифования. Стабилизация положения фланцев кругов происходила через 5–6 часов нагрева.

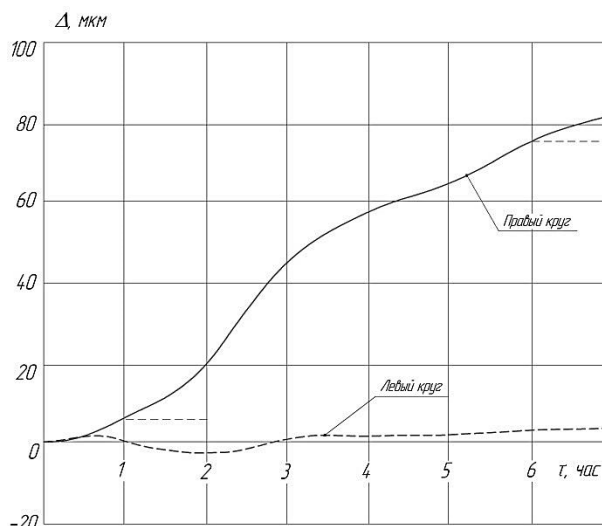


Рис. 12. Тепловые перемещения шлифовальных кругов при работе под тепловой нагрузкой (N = 6 кВт)

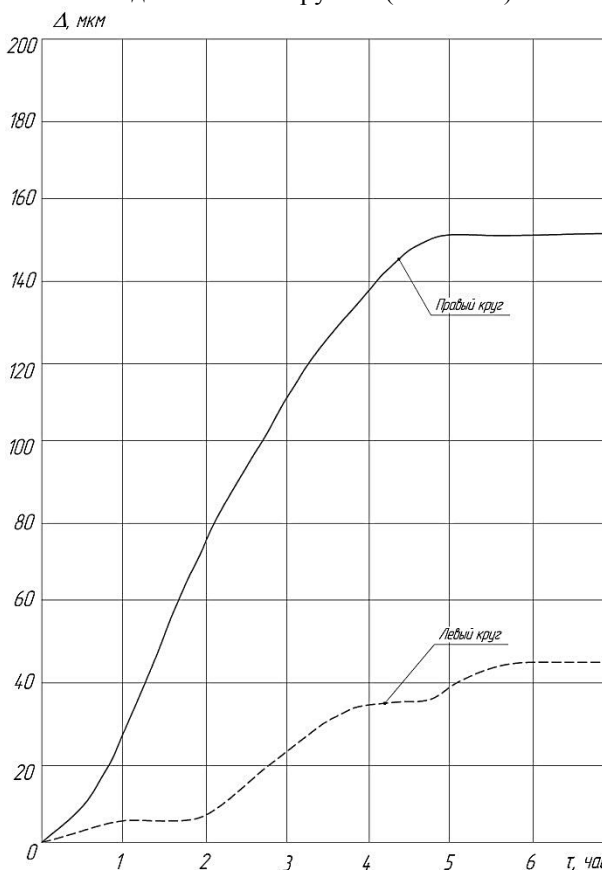


Рис. 13. Тепловые перемещения шлифовальных кругов при работе под тепловой нагрузкой (N = 18 кВт)

На рис. 14 показан характер изменения несимметричности перемещений шлифовальных кругов  $\Delta_{пр}/\Delta_{л}$  (отношение перемещения правого круга  $\Delta_{пр}$  к левому  $\Delta_{л}$ ) при тепловой нагрузке 18 кВт.

Из графика видно, что несимметричность имела максимальное значение после 1,5 часов работы станка –  $\Delta_{пр}/\Delta_{л} = 10$  в отличие от первоначального значения – 1.

При работе станка под тепловой нагрузкой

станина, в центральной своей части прогревалась сильнее торцов, что приводило к изменению относительного положения, называемого «внизу уже».

Таким образом, экспериментально было установлено, что при работе станка тепловые деформации происходили в широком диапазоне, как по величине, так и по направлению.

Исключение фактора времени позволило получить зависимости: изменения углового



положения шлифовальных кругов от избыточной температуры СОЖ (рис. 15); изменения величины торцевого биения обработанных

роликов от величины угловых перемещений шлифовальных кругов (рис. 16).

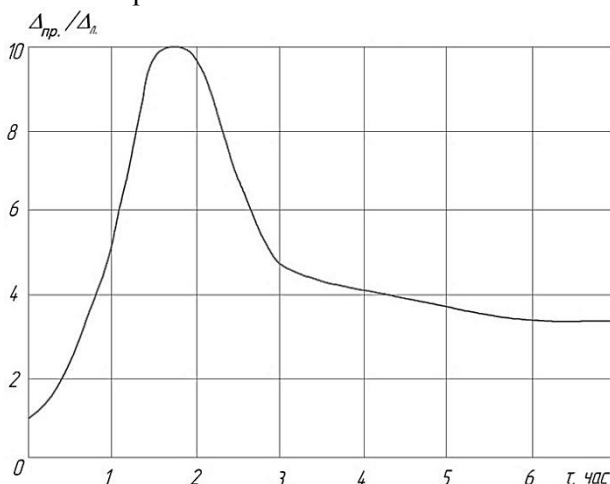


Рис. 14. Изменение несимметричности перемещений шлифовальных кругов

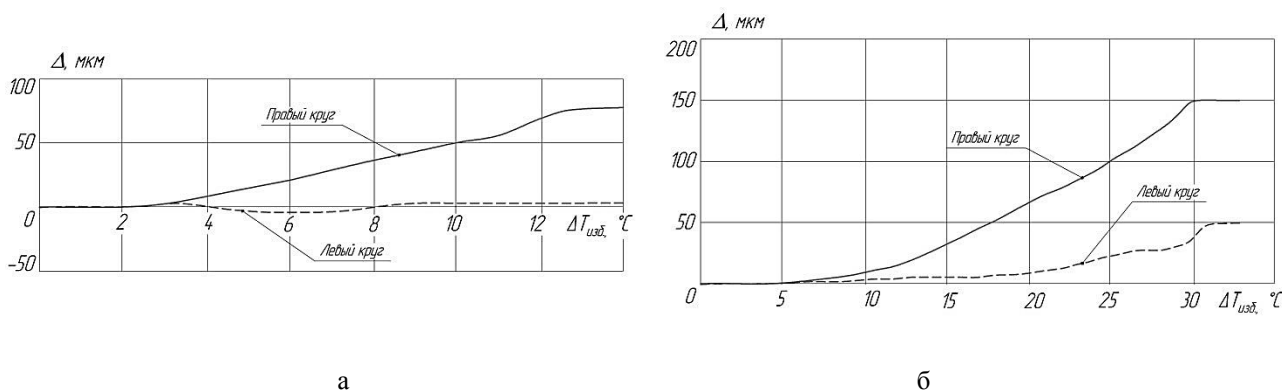


Рис. 15. Изменения угловых положений шлифовальных кругов в зависимости от величины избыточной температуры СОЖ:

а – при работе под тепловой нагрузкой  $N = 6$  кВт; б – при работе под тепловой нагрузкой  $N = 18$  кВт

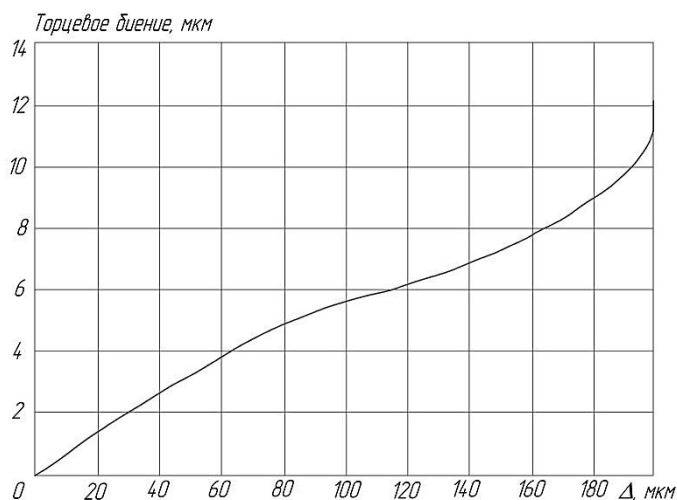


Рис. 16. Влияние тепловых перемещений шлифовальных кругов на торцевое биение ролика

**Выводы.**

1. Температурные характеристики станка на холостом ходу и при работе под тепловой нагрузкой разные.
2. Узлы торцешлифовального станка при работе на холостом ходу и при работе под тепловой

нагрузкой нагреваются неодинаково. Наибольшие температуры при работе станка на холостом ходу имеют торцы шпиндельных бабок и станины, а при работе под тепловой нагрузкой – части станины, находящиеся вблизи ограждения зоны шлифования и торцы шпиндельных бабок,

обращенные к ограждению.

3. Температурные перемещения кругов неодинаковы. Перемещение правого круга относительно диска подачи заготовок в 3 раза больше, чем левого на холостом ходу и в 5 раз больше – при работе под тепловой нагрузкой.

4. При работе станка на холостом ходу круги вследствие температурных деформаций перемещаются в направлении «внизу шире», что лишает зону обработки участка калибрования заготовки и приводит к ухудшению точности шлифования.

5. При работе под тепловой нагрузкой станок постепенно прогревается, а взаимное положение кругов постепенно изменяется от «внизу шире» до «внизу уже», т.е. самопроизвольно изменяется настройка станка, его зона обработки. При этом эти изменения с разной интенсивностью продолжаются за все время работы станка.

6. Шлифовальные круги изменяют свое положение в вертикальной плоскости пропорционально величине избыточных температур СОЖ и времени работы станка.

7. Выявлен скачок по величине торцового биения после 1,5 часов работы станка, который определился максимальной на данный момент несимметричностью перемещений шлифовальных кругов. Дальнейший рост величины торцового биения обусловлен ростом абсолютной величины непараллельности взаимного положения кругов.

8. Величина торцового биения обработанных роликов увеличивается пропорционально величине угловых перемещений шлифовальных кругов.

9. Круги перемещаются относительно диска на разную величину, что создает несимметричность зоны обработки относительно подающего диска (технологической базы заготовки), которая, в свою очередь, создает на заготовке асимметричность силовых нагрузок, которые нарушают законы вращения заготовки вплоть до полной остановки.

10. Абсолютная величина изменяющейся непараллельности шлифовальных кругов после 3-х часов работы составила 0,13 мм, что можно признать достаточно большим, так как при шлифовании весь снимаемый припуск составляет 0,05–0,07 мм. Рациональный припуск на обработку связан с взаимным положением кругов, следовательно, если это положение изменяется (увеличивается), а заданный припуск остается постоянным, то условия обработки отклоняются от заданных.

Итак, выполненные исследования показывают, что тепловые деформации двусторонних торцешлифовальных станков с дуговой траекторией подачи заготовок происходят в широком

диапазоне как по величине, так и по направлению, и могут нарушать основное требование точной работы станка – симметричность условий обработки на обоих торцах заготовки. Следовательно, для дальнейшего повышения качества работы станков данного типа необходимо рассмотреть мероприятия, которые уменьшили бы тепловые деформации и обеспечили симметричность работы станка во всех температурно-временных диапазонах.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Luk'yanov K.Y. More efficient grinding of conical roller-bearing surfaces by the end of a discontinuous wheel // *Russ. Engin. Res.* 2011. Vol. 31. Pp. 185–186.
2. Jurko J., Panda A., Valíček J., Harničárová M., Pandová I. Study on cone roller bearing surface roughness improvement and the effect of surface roughness on tapered roller bearing service life // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2016. Vol. 82. Pp. 1099–1106.
3. Jiang J., Ge P., Sun S., Wang D. The theoretical and experimental research on the bearing inner ring raceway grinding process aiming to improve surface quality and process efficiency based on the integrated grinding process model // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2017. Vol. 93. Pp. 747–765.
4. Yu G., Wang Q., Song Z., Fang D., Li Y., Yao Y. Toward the temperature distribution on ball bearing inner rings during single-grit grinding // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2019. Vol. 102. Pp. 957–968.
5. Zhao B., Guo X., Yin L., Chang B., Li P., Wang X. Surface quality in axial ultrasound plunging-type grinding of bearing internal raceway // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2020. Vol. 106. Pp. 4715–4730.
6. Denkena B., Grove T., Maiss O. Influence of the cutting edge radius on surface integrity in hard turning of roller bearing inner rings // *Prod. Eng. Res. Devel.* 2015. Vol. 9. Pp. 299–305.
7. Afteni M., Terecoasa I., Afteni C., Paunoiu V. Study on hard turning process versus grinding in manufacturing some bearing inner rings // In: *Proceedings of 5th international conference on advanced manufacturing engineering and technologies.* 2017. Pp. 95–111.
8. Shi X., Zhu K., Wang W., Fan L., Gao J. A thermal characteristic analytic model considering cutting fluid thermal effect for gear grinding machine under load // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2018. Vol. 99. Is. 5-8. Pp. 1755–1769.
9. Shi X., Wang W., Mu Y., Yang X. Thermal characteristics testing and thermal error modeling on a worm gear grinding machine considering cutting fluid thermal effect // *Int. J. Adv. Manuf.*

Technol. 2019. Vol. 103. Pp. 4317–4329.

10. Ortega N., Bravo H., Pombo I., Sanchez J.A., Vidal G. Thermal analysis of creep feed grinding // Procedia Engineering. 2015. Vol. 132. Pp. 1061–1068.

11. Batako A.D.L., Morgan M.N., Rowe B.W. High efficiency deep grinding with very high removal rates // Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2013. Vol. 66. Pp. 1367–1377.

12. Wang S., Zhou B., Fang C., Sun S. Research on thermal deformation of large CNC gear profile grinding machine tools // Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2017. Vol. 91. Is. 1–4. Pp. 577–587.

13. Winter M., Madanchi N., Herrmann C. Comparative thermal analysis of cutting fluids in pendular surface grinding // Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2016. Vol. 87. Pp. 1751–1763.

14. Zhang Xl., Yao B., Chen Bq., Sun Wf., Wang Mm., Luo Q. Thermo-mechanical properties of bowl-shaped grinding wheel and machining error compensation for grinding indexable inserts // J. Cent. South Univ. 2015. Vol. 22. Pp. 3830–3836.

15. Ivanova T.N. Structural-Technological Methods for Reduction of Thermal Stress in Grinding // J. Eng. Phys. Thermophy. 2018. Vol. 91. Pp. 1413–1418.

16. Nadolny K., Kieraś S., Sutowski P. Modern Approach to Delivery Coolants, Lubricants and

Antiadhesives in the Environmentally Friendly Grinding Processes // Int. J. of Precis. Eng. and Manuf.-Green Tech. 2020. <https://doi.org/10.1007/s40684-020-00270-y>.

17. Said Z., Gupta M., Hegab H., Arora N., Khan A.M., Jamil M., Bellos E. A comprehensive review on minimum quantity lubrication (MQL) in machining processes using nano-cutting fluids // Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2019. Vol. 105. Pp. 2057–2086.

18. He Q., Fu Y., Chen J., Cui Z. Experimental investigation of cooling characteristics in wet grinding using heat pipe grinding wheel // Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2018. Vol. 97. Pp. 621–627.

19. Wang X., Yu T., Sun X., Shi Y., Wang W. Study of 3D grinding temperature field based on finite difference method: considering machining parameters and energy partition // Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2016. Vol. 84. Pp. 915–927.

20. Никитина И. П., Поляков А. Н. Экспериментальное исследование температурных и точностных характеристик двустороннего торцевшлифовального станка // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2019. № 11. С. 112–120.

#### Информация об авторах

**Никитина Инна Петровна**, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов. E-mail: [innanikitina@list.ru](mailto:innanikitina@list.ru). Оренбургский государственный университет. Россия, 460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13.

**Поляков Александр Николаевич**, доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов, профессор. E-mail: [anp\\_temos@mail.ru](mailto:anp_temos@mail.ru). Оренбургский государственный университет. Россия, 460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13.

Поступила 09.01.2021

© Никитина И.П., Поляков А.Н., 2021

**\*Nikitina I.P., Polyakov A.N.**

Orenburg state University

\*E-mail: [innanikitina@list.ru](mailto:innanikitina@list.ru)

## SPECIFIC FEATURES OF THERMAL PROCESSES IN DOUBLE-SIDED FACE GRINDING MACHINES

**Abstract.** *The paper presents an analysis of thermal processes in the bearing system of a double-sided face grinding machine. Experimental data on temperatures and displacements obtained when the machine is idling and when imitating the grinding process with the help of electric heaters of various powers are used for analysis. The performed studies have shown that thermal deformations of double-sided face grinding machines with an arc trajectory of workpiece feed occur in a wide range in magnitude and direction. It can violate the main requirement for the precise operation of the machine - the symmetry of processing conditions at both ends of the workpiece. From the experiments, the absolute value of the non-parallelism of the grinding wheels after three hours of operation is established; it is almost twice the value of the removed allowance. Analysis of the kinetic change in the deformations of the supporting system of the machine tool during operation under thermal load shows that as it warms up, the relative position of the grinding wheels gradually changes from*

*the state "wider at the bottom" to the state "narrower below". This leads to a spontaneous change in the dynamic tuning of the technological system and a corresponding change in the processing accuracy. Changes in the dynamic tuning of the technological system with varying intensity continue throughout the entire operating time of the machine.*

**Keywords:** *face grinding machines, thermal deformations, excess temperatures, thermal displacements.*

#### REFERENCES

1. Luk'yanov K.Y. More efficient grinding of conical roller-bearing surfaces by the end of a discontinuous wheel. *Russ. Engin. Res.* 2011. Vol. 31. Pp. 185–186.
2. Jurko J., Panda A., Valíček J., Harničárová M., Pandová I. Study on cone roller bearing surface roughness improvement and the effect of surface roughness on tapered roller bearing service life. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2016. Vol. 82. Pp. 1099–1106.
3. Jiang J., Ge P., Sun S., Wang D. The theoretical and experimental research on the bearing inner ring raceway grinding process aiming to improve surface quality and process efficiency based on the integrated grinding process model. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2017. Vol. 93. Pp. 747–765.
4. Yu G., Wang Q., Song Z., Fang D., Li Y., Yao Y. Toward the temperature distribution on ball bearing inner rings during single-grit grinding. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2019. Vol. 102. Pp. 957–968.
5. Zhao B., Guo X., Yin L., Chang B., Li P., Wang X. Surface quality in axial ultrasound plunging-type grinding of bearing internal raceway. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2020. Vol. 106. Pp. 4715–4730.
6. Denkena B., Grove T., Maiss O. Influence of the cutting edge radius on surface integrity in hard turning of roller bearing inner rings. *Prod. Eng. Res. Devel.* 2015. Vol. 9. Pp. 299–305.
7. Afteni M., Terecoasa I., Afteni C., Paunoiu V. Study on hard turning process versus grinding in manufacturing some bearing inner rings. In: *Proceedings of 5th international conference on advanced manufacturing engineering and technologies.* 2017. Pp. 95–111.
8. Shi X., Zhu K., Wang W., Fan L., Gao J. A thermal characteristic analytic model considering cutting fluid thermal effect for gear grinding machine under load. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2018. Vol. 99. Is. 5–8. Pp. 1755–1769.
9. Shi X., Wang W., Mu Y., Yang X. Thermal characteristics testing and thermal error modeling on a worm gear grinding machine considering cutting fluid thermal effect. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2019. Vol. 103. Pp. 4317–4329.
10. Ortega N., Bravo H., Pombo I., Sanchez J.A., Vidal G. Thermal analysis of creep feed grinding. *Procedia Engineering.* 2015. Vol. 132. Pp. 1061–1068.
11. Batako A.D.L., Morgan M.N., Rowe B.W. High efficiency deep grinding with very high removal rates. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2013. Vol. 66. Pp. 1367–1377.
12. Wang S., Zhou B., Fang C., Sun S. Research on thermal deformation of large CNC gear profile grinding machine tools. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2017. Vol. 91. Is. 1–4. Pp. 577–587.
13. Winter M., Madanchi N., Herrmann C. Comparative thermal analysis of cutting fluids in pendular surface grinding. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2016. Vol. 87. Pp. 1751–1763.
14. Zhang Xl., Yao B., Chen Bq., Sun Wf., Wang Mm., Luo Q. Thermo-mechanical properties of bowl-shaped grinding wheel and machining error compensation for grinding indexable inserts. *J. Cent. South Univ.* 2015. Vol. 22. Pp. 3830–3836.
15. Ivanova T.N. Structural-Technological Methods for Reduction of Thermal Stress in Grinding. *J. Eng. Phys. Thermophy.* 2018. Vol. 91. Pp. 1413–1418.
16. Nadolny K., Kieras S., Sutowski P. Modern Approach to Delivery Coolants, Lubricants and Antiadhesives in the Environmentally Friendly Grinding Processes. *Int. J. of Precis. Eng. and Manuf.-Green Tech.* 2020. <https://doi.org/10.1007/s40684-020-00270-y>.
17. Said Z., Gupta M., Hegab H., Arora N., Khan A.M., Jamil M., Bellos E. A comprehensive review on minimum quantity lubrication (MQL) in machining processes using nano-cutting fluids. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2019. Vol. 105. Pp. 2057–2086.
18. He Q., Fu Y., Chen J., Cui Z. Experimental investigation of cooling characteristics in wet grinding using heat pipe grinding wheel. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2018. Vol. 97. Pp. 621–627.
19. Wang X., Yu T., Sun X., Shi Y., Wang W. Study of 3D grinding temperature field based on finite difference method: considering machining parameters and energy partition. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2016. Vol. 84. Pp. 915–927.
20. Nikitina I.P., Polyakov A.N. Experimental investigation of the temperature and accuracy characteristics of a bilateral face grinding machine [Экспериментальное исследование температурных и точностных характеристик двустороннего торцешлифовального станка]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov.* 2019. No. 11. Pp. 112–120. (rus)

*Information about the authors*

**Nikitina, Inna P.** PhD, Assistant professor. E-mail: [innanikitina@list.ru](mailto:innanikitina@list.ru). Orenburg State University. Russia, 460018, Orenburg, av. Pobedy, 13.

**Polyakov, Aleksandr N.** PhD, Professor. E-mail: [anp\\_temos@mail.ru](mailto:anp_temos@mail.ru). Orenburg State University. Russia, 460018, Orenburg, av. Pobedy, 13.

---

*Received 09.01.2021*

**Для цитирования:**

Никитина И.П., Поляков А.Н. Особенности протекания тепловых процессов в двусторонних торцешлифовальных станках // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 1. С. 82–94. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-82-94

**For citation:**

Nikitina I.P., Polyakov A.N. Specific features of thermal processes in double-sided face grinding machines. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 1. Pp. 82–94. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-82-94