

## ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ ВНУТРЕННЕМ ШЛИФОВАНИИ С ПРОДОЛЬНОЙ ПОДАЧЕЙ

© 2016

*И.М. Салов*, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения»*Д.П. Салова*, кандидат технических наук*Т.Г. Виноградова*, кандидат технических наук, доцент*С.С. Сайкин*, кандидат технических наук, профессор

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, Чебоксары (Россия)

**Ключевые слова:** наличие перебега; ограниченная жесткость; неравномерная теплонапряженность; круг конусообразный; перераспределение нагрузки.

**Аннотация:** В статье приводятся результаты анализа процесса внутреннего шлифования с продольной подачей. Рассмотрено наличие и влияние перебега, при котором происходит перераспределение нагрузки по высоте круга, а также ограниченная жесткость технологической системы. Просмотрены условия, приводящие к образованию в поверхностном слое тепловых дефектов. Установлено, что неравномерный износ круга приводит к снижению стойкости и производительности процесса, способствует увеличению трудоемкости процесса при достижении высокой точности. Произведены расчеты перебега, способствующего большему тепловому нагружению в зоне реверсирования. Анализируются условия для улучшения теплоотвода в круг и заготовку. Объясняется факт разной величины перебега по краям отверстия. Практически доказана эффективность использования конусообразных кругов.

Подчеркнуто, что деформации от эквивалентной силы, изменяющейся во время продольного хода стола (круга), могут существенно исказить мгновенную эпюру нагружений. Объяснено, что при работе конусообразным кругом величины силы и длина плеча во время перебегов изменяются незначительно, однако при выходе круга из отверстия его небольшой разворот неизбежен. Доказано, что усредненная по площади эпюры нагружения нагрузка и теплонапряженность процесса при одинаковом перебеге цилиндрического круга существенно больше в глубине, чем при выходе его из отверстия. Объяснено различие в температурах в момент реверса продольного перемещения. Наибольшие вибрации и температуры возникают во время выхода круга из отверстия, когда интенсивно уменьшается усилие отжатия. Проанализировано, что ухудшение теплоотвода с торцевой поверхности отверстия может компенсироваться уменьшением числа источников в приторцевой области и температура на торце может быть меньше, чем в срединной части отверстия.

Тепловые явления при шлифовании играют основную роль в механизме образования поверхностных дефектов, прижогов, растягивающих остаточных напряжений [1–10]. Они во многом определяют условия резания и стружкообразования, изнашивания абразивных зерен [1–20]. Значительное влияние они оказывают на общий износ круга, производительность процесса и геометрическую точность деталей, а также технологическую наследственность [1–20].

При наличии продольной (поперечной) подачи процесс внутреннего шлифования не является квазистабильным, так как зона резания дополнительно перемещается в продольном направлении. Квазистабильность нарушается из-за частичного или полного выхода круга из контакта с заготовкой и/или когда торец круга удаляется от конца обработанной поверхности на расстояние более 3–5 длин дуги контакта круга с заготовкой [13–20].

При работе с продольной подачей плотность теплового потока не является постоянной. Максимальная величина его  $q_{и\ max}$  при предварительном шлифовании возникает в момент реверса продольной подачи в глубине отверстия, когда интенсивность нагрузки под цилиндрическим кругом при изгибе оправки максимальна.

При врезном шлифовании усредненная плотность теплового потока

$$q = \frac{Q}{B \cdot l_{и}},$$

где  $Q$  – мощность теплового потока в заготовку и круг;  $B$  – ширина шлифования;

$q$  – плотность теплового потока;

$l_{и}$  – длина источника.

Плотность теплового потока в заготовку

$$q_{и} = m \cdot q,$$

где  $m$  – доля тепла, поступающего в заготовку.

При работе с перебегом круга за край отверстия условия теплообмена непостоянны по длине шлифуемого отверстия. Например, в зоне реверса, когда цилиндрический круг находится в глубине отверстия, наибольшие силовые и тепловые нагрузки приходятся на оставшийся в контакте с обрабатываемой поверхностью прикраевой пояс круга. В этой зоне отвод тепла в заготовку не затруднен, но затруднен в круг. В этот момент несколько затруднен теплоотвод от заготовки с торцевой поверхности канавки, который контактирует с внешней средой, имеющей меньшую способность к теплопоглощению, чем материалы круга и заготовки. Смазочно-охлаждающая жидкость (СОЖ), подаваемая под давлением, способна преодолеть приторцевые воздушные потоки и проникать в прикраевую зону круга, т. е. участвовать в распределении тепла в зоне резания.

При выходе круга из отверстия, когда выводится из контакта наиболее нагруженная его часть, возникают благоприятные условия для теплоотвода в круг и неблагоприятные – в приторцевой части заготовки. Эта часть заготовки также является одной из самых теплонагру-

женных. На ней вероятность возникновения прижогов большая, чем в срединной части отверстия. Стойкость круга на наиболее нагруженном участке меньше. Как правило, наиболее нагруженная кромка осыпается.

Следует дополнительно подчеркнуть, что деформации от эквивалентной силы, изменяющейся во время продольного хода стола (круга), могут существенно исказить мгновенную эпюру нагружений. Определенную опасность может представлять деформация оправки круга при выходе последнего из отверстия при перебеге. Когда наклоненный цилиндрический круг выходит из отверстия, натяг в технологической системе уменьшается. Вместе с тем уменьшающаяся равнодействующая сил отжатия смещается к краю консоли, увеличивая плечо. Увеличение плеча приложения силы увеличивает деформацию в шпиндельной системе заготовки, что также уменьшает натяг. Если изгибающий момент возрастает, то дополнительно изгибается в первую очередь наиболее податливое звено – оправка с кругом. Дополнительный изгиб оправки может привести к резкому уменьшению ширины контакта круга с заготовкой и появлению на приторцовочной поверхности заготовки теплового дефекта, а также к засаливанию круга [18].

Точно описать зависимости, связывающие углы поворота расчетного сечения оправки с изменением податливости и усилий в технологической системе, представляется весьма сложной задачей.

Угол поворота упругой консольной балки постоянного сечения жесткостью  $EI$ :

$$\Theta = \frac{P \cdot l^2}{2EI},$$

где  $P$  – сила;

$l$  – длина плеча.

Для выполнения условия  $\Theta = const$  необходимо  $P \cdot l^2 = const$ .

Выполненный в работе [18] анализ показывает, что при черновом шлифовании цилиндрическим кругом глубоких отверстий при перебеге круга из отверстия разворот круга увеличивается, т. к. увеличение  $l^2$  доминирует над уменьшением  $P$ . При перебеге круга внутри отверстия уменьшение величины  $l^2$  доминирует над увеличением  $P$  и угол  $\Theta$  остается неизменным, т. к. повороту круга в противоположном направлении мешают заготовка.

При работе конусообразным кругом величины  $P$  и  $l$  во время перебегов изменяются незначительно, однако при выходе круга из отверстия его небольшой разворот неизбежен. Возникающие при этом локальные силовые и тепловые нагрузки по краю заготовки срезают этот край. На заготовке формируется фаска под углом разворота круга, на торце возможно образование прижогов. На круге появляется углубление в виде «тали» [18].

С увеличением высоты круга  $B_K$  и уменьшением соотношения  $l/B_K$  угол разворота увеличивается.

Примем распределение теплового потока таким же, как и удельная нагрузка.

В произвольный момент времени локально-усредненная плотность теплового потока

$$q_{II} = \frac{Q_{yc} K_H}{B_K (1 - K_B) \cdot l_{II} \cdot K_l},$$

где  $Q_{yc}$  – усредненная мощность теплового потока в заготовку;

$B_K$  – ширина (высота) круга;

$K_B$  – доля круга, вышедшая в данный момент из контакта,  $K_B \approx 0,5$ ;

$K_l$  – коэффициент, показывающий увеличение длины дуги контакта круга с заготовкой (ширины зоны контакта  $l$ ),  $K_l \approx 1,0 \div 1,1$ ;

$K_H$  – коэффициент, характеризующий перераспределение нагрузки по высоте круга  $B_K$  [18].

При нагружении круга по треугольнику в срединной части отверстия для усредненной по площади эпюры нагружения нагрузки имеем  $K_H=1,3$ ,  $K_B=0$  и  $K_l=1$ , тогда

$$q_{II\text{cp.ср}} = 1,3 \frac{Q_{yc}}{B_K \cdot l_{II}}.$$

При перебеге – выходе этого круга в глубине отверстия (момент реверса в глубине отверстия) на величину  $B_K/3$  при  $K_H=1,2$ ,  $K_l=1,1$ ,  $K_B=1/3$  для усредненной трапецидальной нагрузки имеем

$$q_{II\text{гл.ср}} = 1,64 \frac{Q_{yc}}{B_K \cdot l_{II}},$$

а при выходе на величину  $B_K/3$  из отверстия (момент реверса на входе в отверстие), когда  $K_l=1,05$ ,  $K_H=1,1$ ,  $K_B=1/3$  и трапецидальной эпюры нагружения:

$$q_{II\text{гл.ср}} = 1,57 \frac{Q_{yc}}{B_K \cdot l_{II}}.$$

Из чего следует, что усредненная по площади эпюры нагружения нагрузка и теплонапряженность процесса при одинаковом перебеге цилиндрического круга существенно больше в глубине, чем при выходе его наружу.

При работе равнонагруженным конусообразным кругом

$$q_{II\text{ср.ср}} = 1,3 \frac{Q_{yc}}{B_K \cdot l_{II}} \quad (K_H=1, K_l=1);$$

$$q_{II\text{гл.ср}} = 1,5 \frac{Q_{yc}}{B_K \cdot l_{II}} \quad (K_H=1,1, K_l=1,1);$$

$$q_{II\text{гл.ср}} = 1,5 \frac{Q_{yc}}{B_K \cdot l_{II}} \quad (K_H=1,05, K_l=1,05).$$

Из чего следует, что применение конусообразного круга уменьшает локальную плотность теплового потока в заготовку.

Как показывает выполненный в работе [18] анализ, в момент реверса, когда удельные нагрузки на заготовку (круг) за время двойного хода максимальны,

зафиксированы контактные температуры на 15–20 % больше, чем в тот период, когда круг работает всей шириной.

С увеличением числа двойных ходов –  $n_{\text{дв.х}}$  натяг в технологической системе увеличивается.

При шлифовании цилиндрическим кругом зафиксированы средние контактные температуры от 420 до 540 °С, а в момент реверса – от 610 до 780 °С (рис. 1 а). Температуры такого уровня предполагают различную вероятность снятия металла в различных сечениях отверстия, что необходимо учитывать при управлении геометрической точностью.

При шлифовании конусообразным кругом его обрабатывающая наклонена на угол, соответствующий деформациям технологической системы на 28-м ходу стола. Выбор этой геометрии обусловлен тем, что она обеспечивает наибольшую производительность процесса за 40 двойных ходов. Во всем диапазоне исследований (от 1 до 40 дв. х.) зафиксировано увеличение контактных температур с увеличением усилия прижатия. Вместе с тем в диапазоне 24–32 двойных ходов интенсивность нарастания температур уменьшается. Это объясняется тем, что в этом диапазоне круг более равномерно нагружается по высоте (рис. 1 б).

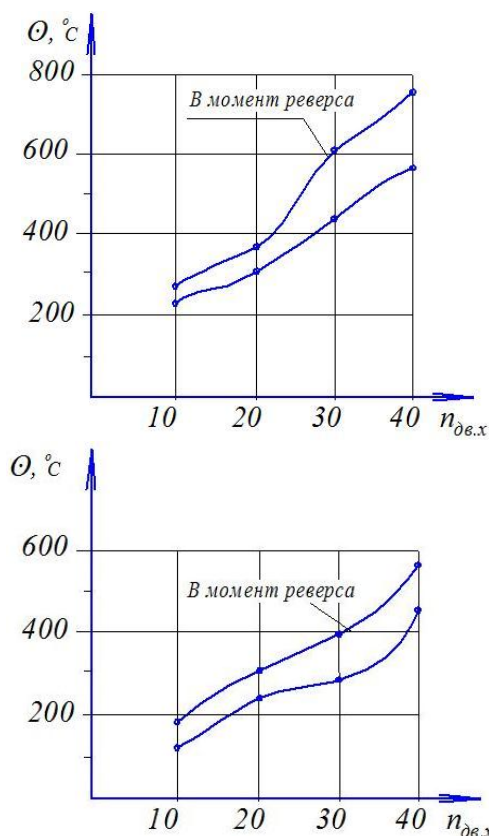


Рис. 1. Изменение температуры при увеличении натяга в технологической системе:  
а – цилиндрический, б – конусообразный круг

Как видно из рис. 1, замеренные температуры при шлифовании коническим кругом были меньше на 40...90 °С в момент работы круга в срединной части отверстия и на 60...220 °С – в момент реверса (при вы-

ходе круга из отверстия). Столь большое различие в температурах в момент реверса продольного перемещения, по-видимому, можно объяснить возникающими вибрациями. Наибольшие вибрации и температуры возникают во время выхода круга из отверстия, когда интенсивно уменьшается усилие отжатия, т. к. из отверстия выходит наиболее нагруженная часть цилиндрического круга. Резкое торможение при реверсе, затем интенсивный разгон вызывают динамические удары и повышение вибрации. Температуры при перебеге круга внутри отверстия зафиксированы меньше на 50–80 °С, что, по-видимому, связано с перераспределением нагрузки в менее нагруженной части круга.

Импульсные температуры с увеличением числа ходов увеличиваются менее интенсивно, чем контактные, т. к. они во многом зависят от случайного стечения обстоятельств, приводящих к возникновению единичных мощных тепловых источников (импульсов). При эльборовом шлифовании контактные температуры при втором цикле не превышают 500 °С. Экспериментальные температуры при эльборовом шлифовании коническим кругом при ранее указанных условиях не превышали 420 °С в момент реверса. Меньшие экспериментальные температуры объясняются, по-видимому, тем, что в расчетной модели в тепловом балансе не учитывается наличие продольной подачи. При длине заготовки большей, чем высота круга, теплоотвод из заготовки, а при выходе круга из отверстия – и из круга, улучшается, что уменьшает интенсивность теплового источника.

Как показано в работе [18], круг должен иметь конусообразную форму, соответствующую мгновенной величине, отжимающей его от заготовки, эквивалентной силе. При значительном несоответствии на заготовке может возникнуть локальный дефект. Естественно, целесообразна работа круга с постоянным усилием прижатия к заготовке.

При эльборовом и аэроборном шлифовании в условиях самозатачивания кругов температуры невысоки, они не оказывают значительного влияния на вероятность снятия материала по сечениям отверстия. Вероятность появления локальных тепловых дефектов мала. Большое число участвующих в работе зерен создает непрерывный тепловой фон на обрабатываемую поверхность, поэтому для оценки тепловой ситуации можно воспользоваться схемой расчета температур, используя полосовой тепловой источник [1–3; 6; 9; 13].

Следует заметить, что поверхность, шлифованная эльборовыми и аэроборными кругами, внешне выглядит как поверхность после алмазного хонингования: без блеска, с четко выраженными рисками от прохода зерен; без следов пластического оттеснения.

Усредненное число источников тепла, участвующих в нагреве (подогреве) любой фиксированной точки на поверхности заготовки, зависит от ширины источника  $\epsilon_{\text{н ср}}$  и расстояния  $L_K$ , которое проходит круг за время  $\tau_K$  перемещения точки по длине дуги контакта круга с заготовкой  $l_K$ .

$$\tau_K = l_K / V_3; L_K = V_{\text{И}} \tau_K,$$

где  $V_3$  – скорость заготовки,  
 $V_{\text{И}}$  – скорость перемещения теплового источника.

Точку *A*, расположенную в срединной части заготовки, подогревают источники, проходящие по обе стороны от нее. Максимально возможная осредненная ширина действия этих источников равна  $(2 \cdot \epsilon_{и\text{ ср}})$ . Из чего следует, что точку *A* будут подогревать зерна на круге, расположенные на площади  $(2 \cdot L_K \times \epsilon_{и\text{ ср}})$ . Их число равно

$$Z_A = 2z_p L_K \epsilon_{и\text{ ср}},$$

где  $z_p$  – число активных зерен на единице площади круга.

Точку *B* будут подогревать только те источники, которые (см. рис. 2) правее ее, и их число будет в 2 раза меньше, чем для точки *A*:

$$Z_B = z_p L_K \epsilon_{и\text{ ср}}.$$

По термопаре диаметром  $d_{эл}$  пройдет  $L_T = (2 \epsilon_{и\text{ ср}} + d_{эл}) \cdot L_K \cdot z_p$  зерен, т. е. ее будет подогревать большее число источников, чем точку *A*. Поэтому при определении числа зерен, проходящих через выделенную точку на обрабатываемой поверхности, числа рисок и т. п. с помощью термопары необходимо учитывать размер ее горячего спая. В противном случае результат может быть значительно завышен или занижен.

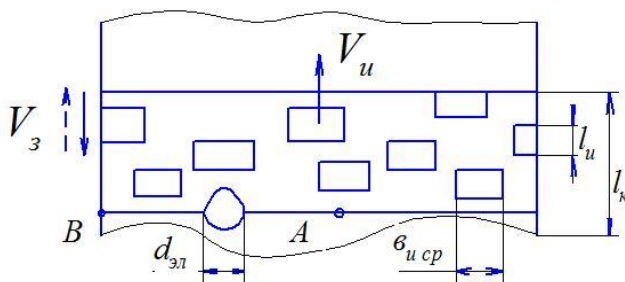


Рис. 2. Схема для расчета числа подогревающих импульсов

Из сравнительного анализа числа тепловых источников по краям отверстия и в середине следует, что ухудшение теплоотвода с торцевой поверхности отверстия может с лихвой компенсироваться уменьшением числа источников в приторцевой области и температура на торце может быть меньше, чем в срединной части отверстия. Кроме того, как ранее подчеркивалось, у края отверстия возможно создать условия, когда СОЖ будет активно участвовать в распределении тепла.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. М.: Машиностроение, 1981. 279 с.
2. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. М.: Машиностроение, 1990. 228 с.
3. Евсеев Д.Г., Сальников А.Н. Физические основы процесса шлифования. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1978. 128 с.
4. Малышев В.И. Исследование теплофизики процесса резания в трудах отечественных и американских ученых // Теплофизические и технологические аспекты

повышения эффективности машиностроительного производства: сб. трудов III Междунар. науч.-технической конференции (Резниковские чтения). Тольятти: Изд-во ТГУ, 2011. С. 3–9.

5. Малышев В.И. Очерки истории науки о резании металлов. Тольятти: ТГУ, 2011. 216 с.
6. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. М.: Машиностроение, 1978. 167 с.
7. Лурье Г.Б. Шлифование металлов. М.: Машиностроение, 1969. 176 с.
8. Старков В.К. Шлифование высокопористыми кругами. М.: Машиностроение, 2007. 688 с.
9. Ящерицын П.И., Цокур А.К., Еременко М.Л. Тепловые явления при шлифовании и свойства обработанных поверхностей. Минск: Наука и техника, 1973. 184 с.
10. Силин С.С., Рыкунов Н.С. Баланс механической и тепловой энергии и критерии подобия при плоском шлифовании периферией круга // Сборник трудов Ярославского политех. ин-та и Рыбинск. авиацион. техн. ун-та. 1975. № 3. С. 122–133.
11. Горшков Б.М. Повышение точности технологических обрабатывающих систем с составными станинами методом автоматической компенсации их деформаций: дис. ... д-ра техн. наук. Тольятти, 2005. 338 с.
12. Носов Н.В. Технологические основы проектирования абразивных инструментов. М.: Машиностроение, 2003. 257 с.
13. Салов П.М., Салова Д.П. Рациональное использование рабочей поверхности абразивных кругов. Чебоксары: ЧПИ, 2010. 332 с.
14. Дилигенский Н.В., Иванов Ю.И. Расчет температур и баланс тепла при контактом теплообмене системы тел // Инженерно-физический журнал. 1971. Т. XXI. № 6. С. 1068–1073.
15. Редько С.Г. Процессы теплообразования при шлифовании металлов. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1962. 241 с.
16. Кремень З.И., Юрьев В.Г., Бабошкин А.Ф. Технология шлифования в машиностроении. СПб.: Политехника, 2007. 424 с.
17. Виноградова Т.Г., Салов П.М., Салова Д.П. Определение вероятности удаления материала при резании абразивным зерном // Высокие технологии в машиностроении: материалы Всерос. науч.-техн. интернет-конф. Самара: СамГТУ, 2010. С. 18–20.
18. Салов П.М., Салова Д.П., Виноградова Т.Г. Внутреннее шлифование с продольной подачей. Чебоксары, 2012. 56 с. Деп. в ВИНТИ 22.06.12, № 286-В.
19. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1979. 232 с.
20. Салова Д.П., Салов П.М., Виноградова Т.Г. Колебания и число зерен в зоне контакта при шлифовании // Механика XXI века: сб. трудов XII Всерос. науч.-техн. конф. Братск: Изд-во БрГУ, 2013. С. 95–98.

#### REFERENCES

1. Reznikov A.N. *Teplofizika protsessov mekhanicheskoy obrabotki materialov* [Thermal physics of processes of materials machining]. Moscow, Mashinostrieniye Publ., 1981. 279 p.

2. Reznikov A.N., Reznikov L.A. *Teplovye protsessy v tekhnologicheskikh sistemakh* [Thermal processes in technological systems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1990. 228 p.
3. Evseev D.G., Salnikov A.N. *Fizicheskie osnovy protsessy shlifovaniya* [Physical basis for grinding process]. Saratov, Saratovskiy universitet Publ., 1978. 128 p.
4. Malyshev V.I. The study of thermal physics of the cutting process in the materials of Russian and American scientists. *Sbornik trudov III mezhdunar. nauchno-tekhn. konferentsii "Teplofizicheskie i tekhnologicheskie aspekty povysheniya effektivnoyosti mashinostroitel'nogo proizvodstva"*. Togliatti, TGU Publ., 2011, pp. 3–9.
5. Malyshev V.I. *Ocherki istorii nauki o rezanii metallov* [Outline of history of metal cutting science]. Togliatti, TGU Publ., 2011. 216 p.
6. Sipaylov V.A. *Teplovye protsessy pri shlifovanii i upravlenie kachestvom poverkhnosti* [Thermal processes during grinding and the surface quality control]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1978. 167 p.
7. Lurye G.B. *Shlifovanie metallov* [Metal grinding]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1969. 176 p.
8. Starkov V.K. *Shlifovanie vysokoporistymi krugami* [Grinding using high porous wheels]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2007. 688 p.
9. Yashcheritsyn P.I., Tsokur A.K., Eremenko M.L. *Teplovye yavleniya pri shlifovanii i svoystva obrabotannykh poverkhnostey* [Thermal phenomena during grinding and properties of treated surfaces]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1973. 184 p.
10. Silin S.S., Rykunov N.S. Balance of mechanical and heat energy and similarity criteria during flat grinding using the wheel periphery. *Sbornik trudov Yaroslavskogo politekhnicheskogo instituta i Rybinskogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta*, 1975, no. 3, pp. 122–133.
11. Gorshkov B.M. *Povyshenie tochnosti tekhnologicheskikh obrabatyvayushchikh sistem s sostavnymi staninami metodom avtomaticheskoy kompensatsii ikh deformatsiy*. Diss. dokt. tekhn. nauk [The improvement of composite housing processing systems accuracy using the method of automated compensation of their deformations]. Togliatti, 2005. 338 p.
12. Nosov N.V. *Tekhnologicheskie osnovy proektirovaniya abrazivnykh instrumentov* [Technological backgrounds of designing abrasive tools]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2003. 257 p.
13. Salov P.M., Salova D.P. *Ratsionalnoe ispolzovanie rabochey poverkhnosti abrazivnykh krugov* [Rational use of abrasive wheels working surface]. ChPI Publ., 2010. 332 p.
14. Diligenskiy N.V., Ivanov Yu.I. Calculation of temperatures and heat balance at the contact heat transfer of the bodies system. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal*, 1971, vol. XXI, no. 6, pp. 1068–1073.
15. Redko S.G. *Protsessy teploobrazovaniya pri shlifovanii metallov* [Heat production during metal grinding]. Saratov, Saratovskiy universitet Publ., 1962. 241 p.
16. Kremen Z.I., Yuryev V.G., Baboshkin A.F. *Tekhnologiya shlifovaniya v mashinostroenii* [Grinding technology in machine building]. St. Petersburg, Politekhnik Publ., 2007. 424 p.
17. Vinogradova T.G., Salov P.M., Salova D.P. Determination of material removal probability during cutting by abrasive grain. *Materialy Vseros. nauch.-tekhn. internet-konf. "Vysokie tekhnologii v mashinostroenii"*. Samara, SamGTU Publ., 2010, pp. 18–20.
18. Salov P.M., Salova D.P., Vinogradova T.G. Internal grinding with longitudinal feed. Cheboksary, 2012. 56 p. (In Russian, unpublished).
19. Novoselov Yu.K. *Dinamika formoobrazovaniya poverkhnostey pri abrazivnoy obrabotke* [The dynamics of surface shaping during abrasive processing]. Saratov, Saratovskiy universitet Publ., 1979. 232 p.
20. Salova D.P., Salov P.M., Vinogradova T.G. Vibrations and grain number in the contact zone during grinding. *Sbornik trudov XII Vseros. nauch.-tekhn. konf. "Mekhaniki XXI veku"*. Bratsk, BrGU Publ., 2013, pp. 95–98.

**THERMAL PHENOMENA DURING INTERNAL GRINDING WITH SLIDING FEED**

© 2016

*P.M. Salov*, Doctor of Sciences (Engineering), professor of Chair “Mechanical engineering”

*D.P. Salova*, PhD (Engineering)

*T.G. Vinogradova*, PhD (Engineering), Associate Professor

*S.S. Saikin*, PhD (Engineering), Professor

*I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary (Russia)*

*Keywords:* override occurrence; limited stiffness; irregular thermal factor; cone wheel; reallocation of load.

*Abstract:* The paper presents the results of analysis of the process of internal grinding with sliding feed. The authors considered the override occurrence and influence when the load is reallocated throughout the wheel height and the technological system limited stiffness takes place, as well as examined the conditions causing thermal phenomena in the surface layer. It is established that the uneven wheel wear causes the decrease of the process stability and productivity, and stimulates the increase of the process labor intensity when getting high accuracy. During the study, the calculation of override stimulating larger thermal loading in the reversing area was carried out. The authors analyzed the conditions for the improvement of heat-removal to the wheel and workpiece, explained the fact of different sizes of override on the periphery of a hole and almost proved the efficiency of the cone wheels application. The authors highlighted that the deformations caused by equivalent force changing during the table (wheel) longitudinal travel can significantly impair the instantaneous loading distribution and explained that, while using the cone wheel, the force intensity and the arm length during the overrides change slightly, however, during the wheel breakout its insignificant turn is unavoidable. It is proved, that at equal override of cylinder wheel the process loading and thermal factor are mean by loading distribution are considerably greater in depth than during the wheel breakout. The authors explained the differences in temperature in the moment of longitudinal travel reverse. Maximal vibrations and temperatures occur during the wheel breakout when the release loading actively decreases. The authors analyzed that the heat-removal degradation at the hole end surface can be compensated by the decrease of the number of sources at the end area and the temperature at the end face can be less than in the midpart of the hole.