

УДК 621.923

С.М. Братан, профессор, д-р техн. наук,**С.Е. Сазонов,****В.А. Титков***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: root@sevastopol.ua***РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ВОЛНИСТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ
НА ОПЕРАЦИЯХ ШЛИФОВАНИЯ**

В статье предложена методика, позволяющая повысить качество обработки шлифовочных поверхностей для наиболее распространенных схем круглого наружного и плоского шлифования.

Одной из основных задач машиностроения является повышение производительности технологических процессов при одновременном улучшении качества выпускаемой продукции. Эта задача особенно актуальна для чистовых и отделочных операций в связи с тем, что именно они окончательно формируют потребительские качества изделия. Это и является основной причиной повышения внимания к таким операциям, при выполнении которых, как показывают статистические данные, большую долю составляет обработка абразивными инструментами.

По имеющимся данным, за последние годы в мировом производстве число операций, выполняемых абразивными инструментами, увеличилось примерно на 20 %. При этом трудоемкость чистовых и отделочных операций составила 34 % от общей трудоемкости механической обработки деталей в основном производстве, что вызывает потребность повышения производительности таких операций с одновременным обеспечением заданного качества деталей.

Весьма широкое применение процессы круглого, плоского, и бесцентрового шлифования нашли в двигателестроении. Наиболее существенными требованиями, предъявляемыми к изготовленным деталям, при этом оказываются уменьшение отклонений от заданных геометрических параметров и других качеств поверхности изделий.

Такие выходные параметры деталей, как отклонения формы и волнистость, в существенной степени определяются ходом протекания процессов чистового шлифования, а их динамические свойства определяют качество деталей [1]. Колебания, возникающие и распространяющиеся в системе обработки, неизбежно находят свое отражение в параметрах формы выпускаемых изделий.

Целью данной статьи является разработка методов снижения волнистости поверхностей на операциях шлифования.

Для обеспечения требуемого качества обрабатываемой поверхности применяют методы, направленные на подавление колебаний в технологической системе. В первую очередь, целесообразно подавление причин возникающих колебаний, одним из источников которых, как известно, являются колебания, вызванные инструментом (отклонения формы и дисбаланс шлифовального круга). Для уменьшения влияния таких факторов осуществляют периодическую правку и динамическую балансировку круга непосредственно на шлифовальном станке. Однако применения такого подхода повышает трудоемкость, снижает производительность обработки и период стойкости шлифовального круга.

Для уменьшения влияния износа круга в период между правками и балансировкой целесообразно применение стабилизации параметров методами систем с переменной структурой или параметрами [2], направленными на подавление вынуждающих колебаний. В частности, находят применение динамические виброгасители с переменными параметрами (переменной жесткостью и демпфированием), устанавливаемые между шпинделем станка и шлифовальным кругом [3]. К недостаткам таких методов, следует отнести необходимость проектирование и изготовление специальных устройств, и неполное гашение возникающих колебаний (до уровня примерно 20...30 % от исходных), с существенной зависимостью от диапазона изменения параметров колебаний.

При шлифовании также применяется метод, включающий этап прекращения работы привода вращения шлифовального круга с его выбегом при выхаживании поверхности заготовки [4]. К его недостаткам необходимо отнести существенное уменьшение производительности процесса в целом, а также невысокую эффективность снижения волнистости обрабатываемой детали, однако рассмотренный подход не исчерпал все свои возможности.

Целесообразно разделить задачу получения заданной формы на два этапа и решать их последовательно.

На первом этапе производится съем основной части припуска (оставляя припуск Δ на этап выхаживания) на максимально возможных режимах резания, допускаемых технологическим оборудованием. Использование современных шлифовальных кругов (например, кругов из синтетических

сверхтвердых материалов (СТМ) на металлической связке) позволяет проводить обработку на очень высоких режимах резания. При этом ограничения на выбор режимов накладываются только конструкцией станка (например, мощностью привода его главного движения). Использование мелкозернистых кругов из СТМ при шлифовании на таких режимах позволяет получить хорошие показатели шероховатости обработанной поверхности, однако, вследствие значительных усилий возникающих при обработке в таких режимах и неравномерности износа шлифовальных кругов, а также недостаточных параметров жесткости технологической системы, на обрабатываемой поверхности образуется значительная волнистость.

Второй этап сводится к выхаживанию детали с устранением ранее присутствовавшей и образовавшейся на первом этапе волнистости. Для этого второй этап может осуществляться либо заторможенным кругом, либо инструментом, вращающимся на пониженных оборотах.

В ходе этого этапа устанавливают предварительный натяг на ту же величину припуска Δ , которая и была оставлена после первого этапа обработки.

При остановке шлифовального круга происходит прекращение колебаний в технологической системе, обусловленных его дисбалансом. Остановленный круг начинает работать одним участком (безразлично, выступом или впадиной), что исключает влияние волнистости его рабочей поверхности на волнистость обрабатываемой поверхности, а определяющее влияние на волнистость поверхности заготовки оказывает форма осевого сечения рабочей поверхности круга, отработавшего к этому моменту этап интенсивного съема, и имеющего коническую форму [5].

Угол конуса шлифовального круга определяется глубиной предыдущего этапа шлифования t , а его влияние на волнистость может быть исключено выбором достаточной высоты H шлифовального круга в соответствии с выражением

$$\frac{2H}{t} < 1000, \quad (1)$$

так как при отношении шага к высоте волны более 1000 поверхность не считается волнистой [4].

Процесс выхаживания проводят до прекращения съема металла.

Выбор величины Δ , а, следовательно, и предварительный натяг, обусловлен значением минимальной глубины шлифования, $t_{\phi \min}$ при котором происходит преимущественное резание металла и величиной износа шлифовального круга ΔR за проход при выхаживании.

Такие условия соблюдаются, когда отношение фактической глубины резания к радиусу закругления зерен не превышает критических значений ξ . По данным [7] ξ лежит в пределах 0,08 ... 0,14. Радиус закругления зерен можно определить по данным [8].

Натяг Δ также должен компенсировать износ круга ΔR , т.е. удовлетворять выражению

$$\Delta \geq t_{\phi \min} + \Delta R. \quad (2)$$

При обработке остановленным кругом в процессе его износа на рабочей поверхности образуется площадка износа, при этом ΔR есть длина стрелки изношенного сегмента круга.

Численные расчеты показывают, что $t_{\phi \min} = 0,3...5,0$ мкм, $\Delta R = 10...25$ мкм.

Вследствие того, что в вышеприведенных выражениях не учитываются такие факторы как неоднородность связки круга, структура обрабатываемого материала и жесткости шпиндельного узла станка, то их необходимо рассматривать только как оценки для рассмотренных величин.

Выполненные экспериментальные исследования при шлифовании различных материалов кругами из СТМ на металлической связке позволили установить, что удовлетворительные показатели волнистости обработанной поверхности получают при установке предварительного натяга между кругом и деталью в пределах 10...25 мкм. Причем меньшую величину натяга можно устанавливать при высокой жесткости системы СПИД. Анализ полученного интервала для значений величины Δ выражения (2) показывает, что его можно представить в виде

$$\Delta = k(t_{\phi \min} + \Delta R),$$

где $k = 1,0...1,5$ – коэффициент, зависящий от условий обработки.

Необходимо отметить, что при обработке небольших площадей (до 0,1 мм²), происходит незначительный износ работающего участка шлифовального круга при выхаживании, т.к. металлическая связка достаточно прочна и хорошо удерживает режущие зерна из СТМ от выпадения (в отличие от абразивных кругов). Поэтому обработка последующих деталей не требует дополнительной правки круга.

Если при проведении этапа выхаживания необходима обработка больших площадей заготовки, локальный износ круга ΔR к зоне его контакта с обрабатываемой деталью можно рассматривать как причину образования такой волнистости на круге, величина которой окажется неприемлемой для дальнейших операций. В таком случае целесообразно осуществлять вращение шлифовального круга со скоростью, при которой влияние текущих параметров его волнистости не оказывает существенного влияния на обрабатываемую поверхность.

Согласно [2] связь между формируемой на поверхности волнистостью с динамическими и кинематическими параметрами работающего инструмента может быть представлена в виде

$$Y = Y_{огиб\ дин.} + Y_{огиб\ кин.},$$

где $Y_{огиб\ дин.}$ – параметры кривой, связанные с динамикой процесса; $Y_{огиб\ кин.}$ – параметры кривой, связанные с кинематикой формирования неровностей в зависимости от геометрических параметров круга.

Анализ баланса перемещения в технологической системе с учетом динамики процесса шлифования [1], показывает, что при низких скоростях шлифовального круга высота волнистости обрабатываемой поверхности W_z практически равна высоте волнистости инструмента W , что нашло свое экспериментальное подтверждение при шлифовании с окружной скоростью вращения шлифовального круга в пределах от 0 до 5 м/с.

При низкоскоростном режиме шлифования вклад динамических составляющих (амплитуд переходных процессов $Y_{огиб\ дин.}$) в волнообразование на поверхности детали становится существенно меньшим, чем $Y_{огиб\ кин.}$. Это и позволяет рассчитывать шаг волнистости S на обрабатываемой поверхности при малых скоростях шлифовального круга по известной зависимости

$$S = \frac{V_d}{V_k} \cdot H, \quad (3)$$

где V_d и V_k – окружные скорости обрабатываемой детали и шлифовального круга, соответственно; H – длина волны (шаг волны на рабочей поверхности шлифовального круга).

Необходимо отметить, что для кругов, работающих в режиме преимущественного самозатачивания, высота волнистости на рабочей поверхности изменяется только в период приработки с последующей ее стабилизацией, и, следовательно $W(\tau) \leq W_\infty$.

Ввиду сложности измерения параметров формы шлифовального инструмента в ходе выполнения технологической операции, определение момента τ_m начала стабилизации волнистости круга при достижении максимального значения $W(\tau_m) = W_\infty$ целесообразно производить по прекращению роста эффектов, сопровождающих обработку волнистым инструментом, например, по стабилизации амплитуд вибрации шпиндельного узла станка в процессе шлифования.

В соответствии с (3) предельная скорость шлифовального круга, при которой еще обеспечивается выполнение условия (1), определится как

$$V_{k\ max} \leq \frac{V_d}{1000} \cdot \frac{H}{W_\infty}.$$

В связи с тем, что волнистость шлифованной поверхности оценивается как в направлении продольной подачи (продольная волнистость) так и поперечной подачи (поперечная волнистость) [2], что, как указано ранее, определяется формами продольного и поперечного (осевого) сечения рабочей поверхности шлифовального круга, соответственно, необходимо контролировать волнистость каждого из соответствующих профилей.

Для проверки предложенных режимов в лабораторных условиях на шлифовальном станке мод. 3Г71М провели шлифование образца из стали X12M площадью 250x150 мм, СОЖ – 0,3 %-й раствор кальцинированной Величина предварительного натяга при выхаживании составляла 20 мкм. соды, шлифовальный круг – 1А1 250К40К76Х5 – АС6 – 50/40М – М04 – 4.

При этом итоговая производительность обработки возросла на 10 % по сравнению с технологическим процессом, выполненным с типовыми режимами, что сократило время выхаживания на 1,4 мин при одновременном улучшении параметров качества поверхности (Ra и W_z) на 30...60 %. При этом износ алмазного круга не изменился.

Таблица 1 – Основные результаты экспериментальных исследований

Ход и показатели процесса	Известные методы	Рассматриваемый метод					
1	2	3					
Время балансировки, мин	15	10					
Время операции правки шлифовального круга, мин	20	не требуется					
Натяг между кругом и деталью, мкм	–	5					
Достигаемая производительность съема припуска, мкм ³ /мин	100	100	10	20	45	50	
Время выхаживания, мин	5,2	5,2	105	110	120	125	
Достигаемая шероховатость по параметру Ra , мкм	0,5	0,5	3,8	3,4	2,9	3,0	
Достигаемое значение показателя волнистости (максимальное значение на трассе проффилографирования), W_z , мкм	2,0	2,0	0,4	0,3	0,3	0,5	
Износ круга, мг/г (относительный расход алмазов)	6,3	6,3	1,8	1,5	1,0	2,3	

При выхаживании поверхности вращающимся кругом со скоростью 2,2 м/с, определенной из (2) с учетом параметров микрогеометрии круга и скорости детали, износ круга уменьшился на 10 % при постоянстве остальных контролируемых параметров по сравнению с обработкой неподвижным инструментом.

Анализ показывает, что рассматриваемый метод шлифования, позволяет сократить время балансировки круга в 1,5 раза, исключить правку круга, повысить производительность обработки (выхаживания) до 1,5 раза, при одновременном снижении шероховатости и волнистости обрабатываемой поверхности в 1,5...1,8 раза по сравнению с шлифованием, выполняемым по традиционным режимам.

Рассмотренные методы могут быть положены в основу создания технологических процессов, обеспечивающих высокие требования к показателям качества шлифованной поверхности.

Перспективы дальнейшего использования предложенных методов заключается в их распространении на другие схемы шлифования бесцентровое, круглое с перекрещивающимися осями и т.д.

Библиографический список

1. Братан С.М. Экспериментальные исследования случайных размерных параметров шлифовального круга и построение аналитических зависимостей для оценки влияния его рельефа на входные шумы операции шлифования / С.М. Братан // Нові матеріали і технології в металургії: Науковий журнал ЗДТУ — Запоріжжя, 2000. — Вып. 1 — С. 83 – 86.
2. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю.К. Новоселов. — Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1979. — 232 с.
3. Прилуцкий В.А. Технологические методы снижения волнистости поверхностей / В.А. Прилуцкий. — М.: Машиностроение, 1978. — 105 с.
4. Братан С.М. Стабилизация волнистости шлифованных поверхностей за счет построения циклов управления на основе теоретико-вероятностных моделей / С.М. Братан // Вестник СевГТУ Сер. Автоматизация процессов и управление: сб. науч. тр. — Севастополь, 1998 г. — Вып. 14. — С. 157 – 160.
5. Лоповок Т.В. Волнистость поверхности и ее измерение / Т.В. Лоповок. — М.: Изд-во стандартов, 1973. — 184 с.

Поступила в редакцию 22.07.2007 г.