



BURNLESS GRINDING OF PRECISION DETAILS OF HYDRODRIVES БЕСПРИЖОГОВОЕ ШЛИФОВАНИЕ ВЫСОКОТОЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ ГИДРОПРИВОДОВ

Проф., докт. техн. наук Старков В.К., канд. техн. наук Рязцев С.А.,
магистр техники и технологии Азза А.В.
МГТУ «Станкин», Москва, Россия
e-mail: starkov@run.ru

Abstract: We're offering to use high-porous abrasive wheels for grinding critical part of hydrodrives, its provide defectless machining with high requirements by accuracy and roughness of a surface. In this article we're shown some results of industrial tests of high-porous wheels, which was made by original technology of MSTU "Stankin", at various type of finish grinding of hydrodrive's details from hardened steel after chemical-thermal treatment.

Keywords: high-porous wheels, burnless, precision, grinding.

1 Введение

Специфика работы узлов и агрегатов гидроприводов различного технологического назначения предъявляет чрезвычайно жесткие технические требования к ответственным деталям гидравлических машин по точности и качеству изготовления. Детали гидроприводов имеют разнообразную конфигурацию и, как правило, выполняются из труднообрабатываемых материалов. Так, в производстве деталей гидроприводов, например, широко используются легированные стали, которые проходят специальные виды химико-термической обработки (цементация, азотирование, нитроцементация и др.). Чистовая обработка поверхностей таких деталей производится в основном шлифованием абразивными инструментами.

Задачей чистовой обработки является обеспечение высокой точности геометрических размеров, формы и минимальной шероховатости при отсутствии дефектов на обработанной поверхности, прежде всего прижогов и трещин, которые снижают эксплуатационный ресурс деталей. Образованию подобных дефектов при шлифовании способствует повышенное термодинамическое воздействие, которое оказывает шлифовальный круг на поверхностный слой, имеющий напряженное состояние структуры после химико-термической обработки. Повышение термодинамической напряженности процесса шлифования обычно связано с действием сил трения, которые составляют до 70 – 80% от общих энергетических затрат на сьем материала. Это обусловлено тем, что большая часть абразивных зерен, которые находятся на рабочей поверхности шлифовального круга, не участвуют в процессе резания, а только деформируют (сминают) обрабатываемый материал, являясь существенным источником теплообразования при шлифовании.

2. Результаты и дискуссия

Для исключения дефектов при шлифовании ответственных деталей гидроприводов предлагается использование абразивных кругов с высокими номерами структуры (высокопористых кругов), которые имеют меньшее содержание зерна в объеме и, соответственно, на рабочей поверхности инструмента. Для изготовления высокопористого инструмента в зависимости от его назначения используются различные по химическому составу, свойствам и размеру порообразующие наполнители. Объемное содержание абразивных зерен у высокопористого круга в сравнении с инструментом нормальной структуры может быть сокращено с 50 до 30% и ниже, а объем пор между ними возрастает до 75% от общего объема. При этом повышается эффективность резания каждого зерна, а дополнительные поры являются емкостью для размещения срезаемой зернами стружки и частиц смазочно-охлаждающей жидкости, что позволяет уменьшить работу трения при шлифовании и, как следствие, интенсивность теплообразования.

В результате чего температура в зоне резания снижается в 1,5...3 раза. Это создает предпосылки для увеличения производительности бездефектного шлифования за счет форсирования параметров режима резания.

Однако, несмотря на свои преимущества, известные высокопористые абразивные круги, имеют ограниченную область применения. Например, они эффективно используются на операциях высокопроизводительного глубинного шлифования, а также для предварительной обработки деталей. Это связано с тем, что шероховатость поверхности обработанной высокопористым кругом, заметно увеличивается в сравнении с обработкой абразивным кругом нормальной структуры. Это объясняется иным механизмом формирования микрорельефа поверхности, в отличие от кругов с нормальной структурой. Микрорельеф поверхности формируется за счет комбинированного наложения друг на друга множества микроцарапин, оставляемых режущими кромками абразивных зерен, и деформированием вершин микронеровностей трущимися о поверхность детали зернами. В связи с тем, что у высокопористых кругов меньше зерен, которые участвуют в резании, а также трущихся зерен, то происходит меньшее количество наложений микроцарапин и меньшая деформация вершин микронеровностей и при одинаковых условиях шлифования их применение дает более высокие значения высоты микронеровностей.

Как показали наши исследования, обеспечить качественную обработку поверхностей деталей высокопористыми кругами возможно только при оптимальном сочетании зернистости, твердости и номера структуры шлифовального круга и технологических условий обработки (параметры режимов шлифования и правки, условия охлаждения и т.д.).

Уменьшение зернистости шлифовального круга и повышение его твердости способствуют снижению высоты микронеровностей на обработанной поверхности детали. Кроме того, такая характеристика инструмента обладает повышенной размерной стойкостью, что является важным фактором достижения заданной точности формы и размеров обрабатываемой детали. Однако при использовании мелкозернистых кругов с повышенной твердостью возрастает возможность появления на обработанной поверхности детали дефектов шлифовочного характера, особенно после их химико-термической обработки. Причиной этому явлению служит интенсивное термодинамическое воздействие большого числа абразивных зерен (их количество возрастает по мере уменьшения размера зерен), контактирующих в процессе шлифования с обрабатываемой поверхностью и прочно закрепленных связкой в объеме инструмента (прочность связи пропорциональна твердости круга).

Чтобы уменьшить указанное термодинамическое воздействие, необходимо увеличить скорость относительного перемещения детали и круга при обильном охлаждении зоны резания. Такое изменение условий шлифования снижает интенсивность теплообразования и, соответственно, вероятность появления дефектов, но способствует увеличению

высоты микронеровностей на обработанной поверхности и снижению точности обработки.

В качестве эффективного решения проблемы бездефектного шлифования высокоточных деталей предложено использование высокопористых абразивных кругов, у которых назначение оптимальных значений зернистости и твердости для конкретного процесса обработки сопровождается выбором соответствующего оптимального номера структуры инструмента: чем меньше размер зерен и больше прочность их связи, тем выше должен быть номер структуры шлифовального круга.

Предлагаемые на мировом рынке высокопористые абразивные круги различных фирм не всегда могут обеспечить требуемую характеристику инструмента для высокоточной бесприжоговой обработки деталей.

В МГТУ «Станкин» разработан и применяется в промышленных масштабах высокопористый абразивный инструмент оригинального состава на основе корунда и карбида кремния различных модификаций. В зависимости от требований обработки его характеристика может изменяться в широком диапазоне: по зернистости от 6 до 50, по твердости от ВМ1 до СТ2, по структуре от 10 до 30 с дисперсией твердости в объеме круга 0,1–0,2 мм.

Новый инструмент в процессе шлифования оказывает минимальное термодинамическое воздействие на систему резания, что создаёт предпосылки для бездефектной и высокопроизводительной обработки. При шлифовании новым инструментом вследствие особенностей его строения низкая температура в зоне резания – на 300 – 500⁰С ниже, чем у аналогов сохраняется как при обработке с охлаждением, так и без применения смазочно-охлаждающих средств. Повышенная стабильность физико-механических свойств в объёме инструмента при минимальном дисбалансе обеспечивают стабильные режущие свойства по всей периферии рабочей поверхности шлифовального круга и соответственно равномерный износ в течение всего периода его работы. Это очень важно при обработке деталей высокой точности.

Такие высокопористые круги, изготовленные из электрокорунда на керамических связках, используются, например, при шлифовании деталей гидроприводов из легированных сталей, имеющих азотированную поверхность с твердостью не менее 700 НV.

При круглом наружном шлифовании азотированных поверхностей отсечных кромок штоков гидроцилиндров из стали 45Х14Н14В2М и комбинированном шлифовании наружной цилиндрической поверхности и торца втулок из стали 95Х18Ш используются высокопористые круги типоразмера 400х10х127 из хромтитанистого электрокорунда марки 92А, с зернистостью 6 или 12, твердостью СМ1 - СМ2 и

номером структуры 10 на керамической связке. Шлифование деталей производится с охлаждением при скорости резания 35 м/с, скорости вращения детали 7-9 м/мин, подаче на врезание 1-3 мкм/об.дет. Правка шлифовального круга осуществляется алмазными карандашами по мере снижения режущей способности круга.

За счет использования мелкозернистого и более твердого высокопористого круга со структурой №10 шероховатость поверхности деталей по сравнению с обработкой кругом нормальной структуры с характеристикой 25А 16Н СМ1 6 К снижается до 2 – 4 раз в зависимости от принятого режима шлифования, условий правки круга и характера обрабатываемой поверхности. Во всех случаях обработки высокопористым кругом обеспечивается бесприжоговое шлифование поверхностей, что подтверждено результатами химического травления. Использование высокопористых абразивных кругов позволило сократить возможное количество бракованных деталей из-за скалывания отсечных кромок с 10% от общего числа обработанных деталей до 2%.

Результаты испытаний (см. табл. 1) также показали, что применение высокопористого абразивного инструмента с характеристикой 92А 6П СМ2 10 К в сравнении с ранее применяемыми кругами нормальной структуры (25А 16Н СМ1 6 К) на операциях шлифования деталей гидроагрегатов с азотированными поверхностями позволило уменьшить время обработки и снизить расход абразивного материала примерно до 6 – 8 раз в зависимости от технологической схемы обработки за счёт сокращения числа промежуточных правок. Положительный эффект при шлифовании азотированных поверхностей получен кругами повышенной твердости.

Новый высокопористый инструмент позволил реализовать экологически безопасный процесс шлифования ответственных деталей гидроаппаратуры без применения смазочно-охлаждающих средств. Обработка без охлаждения, вопреки прогнозам, оказалась чрезвычайно эффективна технологически, и с экономической точки зрения.

Для процесса плоского шлифования деталей гидроагрегатов из цементированных закаленных легированных сталей без охлаждения были разработаны и испытаны рецептуры специальных высокопористых абразивных кругов из электрокорунда зернистостью 12 и 16, твердостью от М1 до С1 с номерами структуры 10 и 12 на керамической связке. В ходе испытаний обрабатывались плоские поверхности деталей гидроагрегатов: «шайба опорная» из стали 95Х13МКЗБ2Ф - ВЧ (HRC₃ 59) или из стали Х12Ф1 (HRC₃ 56..61), «крышка», изготовленная из стали 14Х17Н2 (HRC₃ 55), «матрица» из стали 95Х18 (HRC₃ 50...55) и «шестерня» из стали 16ХЗНВФМБ-Ш (HRC₃ 60).

1. Результаты испытаний при шлифовании деталей гидроприводов высокопористым кругом (I) и кругом с нормальной структурой (II).

| Обрабатываемая деталь | «шток» | | «втулка» | | | |
|--|------------------------------------|------|-----------------------------|-----------|----------------------------|------|
| | круглое шлифование отсечных кромок | | круглое наружное шлифование | | комбинированное шлифование | |
| Операция | | | | | | |
| | I | II | I | II | I | II |
| Число обработанных деталей до правки круга | 10-16 | 6-10 | 15-24 | 8-12 | 1 | 0,5 |
| Шероховатость Ra, мкм | 0,32 | 1,25 | 0,16-0,32 | 0,63-1,25 | 0,32 | 1,25 |

| | | | | | | |
|---|------------|---------|-----------|---------|------|-------|
| Расход абразива материала на 1 деталь, мкм ³ | 64,4-104,7 | 405-676 | 43,5-69,8 | 338-507 | 2093 | 16186 |
|---|------------|---------|-----------|---------|------|-------|

В сравнении с кругами нормальной структуры высокопористые круги позволили увеличить производительность обработки в 2,5 раза. Кроме того, стойкость высокопористого круга на указанных операциях оказалась до 3-х раз выше, что уменьшило расход абразивного материала. Высокопористый инструмент, также как и при обработке с охлаждением, работает в режиме «самозатачивания». При работе кругом с нормальной структурой его необходимо править в 3...5 раз чаще, чем высокопористый круг.

В результате производственных испытаний, было установлено, что при обработке высокоточных и ответственных деталей из закаленных легированных сталей, в том числе коррозионностойких сталей без охлаждения наиболее эффективно использование высокопористого абразивного инструмента из электрокорунда белого марки 25А или его аналогов с зернистостью 25, твердостью М2 и номером структуры 12 на керамической связке.

Достоинством процесса шлифования без охлаждения новым инструментом является минимальное и стабильное во времени термодинамическое воздействие на обрабатываемую деталь. Обеспечению высокой точности обработки способствует также минимальная деформация детали после шлифования, обусловленная более благоприятным характером процесса "нагрев-охлаждение" и однородным распределением температурных деформаций. Как следствие этого, ни на одной из обработанных деталей не было выявлено дефектов шлифовочного характера, которые часто появляются при обработке кругами с нормальной структурой. Подбор оптимальных характеристик высокопористого абразивного инструмента позволил снизить значение шероховатости обработанной поверхности Ra с 1,25 мкм до 0,16...0,32 мкм.

Для случаев, когда при обработке особо точных деталей гидроприводов необходимо обеспечить меньшую шероховатость поверхности (Ra не более 0,1 мкм), которая достигается в основном полированием, нами предложена более производительная операция шлифования микропорошковым абразивным инструментом с графитовым наполнителем. При комбинированном шлифовании цапфы и торца шестерни гидронасоса из стали 20ХМВФ–Ш после цементации и закалки на твердость HRC 56...60 исполь-

зование шлифовального круга прямого профиля с размерами 350x20x127 из микропорошка электрокорунда белого марки 25А зернистостью М28, твердостью М3, на бакелитовой связке позволило реализовать процесс бесприжогового шлифования с обеспечением шероховатости поверхностей Ra не более 0,05 мкм. Таким образом, технологический процесс бесприжоговое шлифование высокоточных деталей гидроприводов включает в себя предварительное шлифование высокопористыми кругами с характеристикой, оптимальной по сочетанию «зернистость–твердость–номер структуры», и финишную обработку кругами с графитовым наполнителем.

3. Заключение

Разработанный для чистового шлифования высокопористый абразивный инструмент обладает большими преимуществами перед кругами с нормальной структурой с точки зрения обеспечения наиболее благоприятных термодинамических условий в зоне резания, обеспечения бездефектного шлифования поверхностей, а также обладает более высокими режущими свойствами и позволяет обеспечить высокую чистоту обрабатываемой поверхности. Новый инструмент можно эффективно использовать на операциях чистовой обработки, как с использованием смазочно-охлаждающей жидкости, так и при сухом прецизионном шлифовании поверхностей ответственных деталей высокоточных деталей гидроприводов.

Эффективность бесприжогового шлифования обеспечивается наряду с выбором рациональных режимов обработки также и назначением характеристики высокопористого абразивного круга, в котором оптимальным образом сочетаются требуемые зернистость и твердость и соответствующая им необходимая пористость инструмента (номер структуры). Выбор этого сочетания определяется необходимостью обеспечить качественную обработку с заданной шероховатостью поверхности детали и максимальной износостойкостью круга.