

**В.Г. ШКУРУПИЙ**, канд. техн. наук, ХНЭУ, Харьков

## **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЭФФЕКТ ПРОЦЕССА ПОЛИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ**

Сформулированы основные условия уменьшения шероховатости поверхности при абразивном полировании. Показано, что эффективность полирования повышается с увеличением окружной скорости полировальника до 30 м/с (и выше) при одновременном снижении зернистости абразива. Установлено, что наличие в крупнозернистой доли фракции отдельных крупных зерен снижает качество обработанной поверхности (шероховатость) в силу наличия глубоких царапин. Для уменьшения времени обработки необходимо, чтобы зернистость абразива при полировании не превышала максимальную высоту микронеровностей исходной поверхности.

**Ключевые слова:** абразивная обработка, полирование, абразив, зернистость, скорость полировальника, обрабатываемая деталь, шероховатость поверхности

**Введение.** Процессы абразивной обработки металлов (доводки, полирования и т.д.) широко применяются в машиностроении. Для формирования абразивного инструмента при доводке используют притиры, а при полировании – полировальники. Шаржирование твердых абразивов в притире выполняют двумя способами: путем принудительного шаржирования и свободным шаржированием в процессе обработки. Притиры изготавливаются из металлов (чугуна, стали, бронзы, меди, цинка) и неметаллических материалов. При выборе материала притира основными критериями являются материалы обрабатываемой детали и абразива, характер операции. Задачи доводочных процессов – обеспечение точности формы и размеров поверхностей, а полировальных процессов – минимизация значений высотных параметров шероховатости поверхности. Однако, как показывает практика, возможности полирования реализуются не в полной мере, что требует проведения дальнейших исследований.

**Анализ последних достижений и литературы.** Механизм резания при доводочных процессах описан в работе Кедрова С. М. [1]. По его мнению, при обработке поверхностей с намазкой притиров абразивной смесью, зерна, находящиеся между притиром и обрабатываемой поверхностью, внедряются в обе поверхности одновременно. В зависимости от формы и размеров зерен при относительном перемещении поверхностей может происходить перекатывание или сдвиг зерен. Это приводит к царапанию или выдавливанию ямок в обеих

поверхностях. В более мягких материалах процесс шаржирования зерен более интенсивный. Влияние вязкой жидкости в составе абразивной смеси Кедров С. М. сводит к препятствию сдвига абразивных зерен с поверхности притира и к гидродинамическому эффекту за счет создания масляных клиньев различной толщины. При этом от вязкости жидкости будет зависеть взвешенное состояние абразивных частиц.

Гребенщиков И. В. [2] предложил теоретическую модель полирования. Когда твердость абразива ниже твердости пленки окислов, образующихся под влиянием кислорода воздуха, тогда с обрабатываемой поверхности удаляется металл только в виде этой пленки. Если обрабатываемую поверхность подключить к аноду, то скорость образования пленок возрастет, и сопутствующие химические процессы положительно скажутся на эффекте процесса полирования. Вместе с тем, в указанных выше работах не выявлены факторы обработки, за счет изменения которых можно существенно повысить эффективность полирования. Поэтому актуальны задачи определения условий уменьшения высотных параметров шероховатости поверхности.

**Цель работы, постановка проблемы.** Целью работы является обоснование факторов, оказывающих наибольшее влияние на процесс полирования, и определение условий уменьшения высотных параметров шероховатости поверхности. Задача состоит в определении условий обработки, которые должны приводить к снижению времени полирования без появления глубоких царапин, т.к. при сглаживании поверхностного слоя появляются дефекты на полированной поверхности в виде глубоких царапин.

**Материалы исследования.** Эффект процесса полирования металлов определяется уровнем достигаемой производительности обработки, т. е. временем достижения заданных параметров шероховатости поверхности, а также сохранностью точности размеров и геометрической формы обрабатываемых поверхностей деталей. Производительность процесса определяет интенсивность процесса сглаживания при полировании. Управлять процессом образования поверхностного слоя можно путем воздействия на наиболее значимые факторы,

оставляя без особого внимания менее значимые факторы. Каширин А. И. на основании своих исследований рекомендует не учитывать те технологические факторы, которые влияют на фактическую величину  $H_{max}$  в пределах до 5 %.

Исаев А. И. [3], изучая доводочные процессы, обращает внимание на особую группу технологических факторов, влияющих на шероховатость поверхности. Эта величина и однородность размеров зерен абразива, скорость резания и число «доводочных» проходов. Полирование с намазкой полировальников исследовал Кедров С. М. [1]. Изучая доводочные процессы, он обратил внимание на пропорциональное увеличение съема металла с увеличением давления притира. Однако влиянию давления притира на изменение параметров шероховатости поверхности было уделено меньше внимания. Проведенные нами эксперименты [4] показали, что при полировании давление полировальника должно быть значительно ниже, чем при доводке, – не более 5 Н/см<sup>2</sup>. Размер абразивных зерен оказывает значительное влияние на эффект полирования при всех его разновидностях. Для достижения минимальных значений высотных параметров шероховатости поверхности необходимо уменьшать размер абразивных зерен, обеспечивать однородность размеров и формы абразивных зерен, уменьшать количество зерен крупной части фракции применяемой зернистости. Понижение производительности процесса полирования может происходить из-за дробления абразивных зерен, а также увеличения загрязнения рабочей абразивной среды диспергированными отходами обрабатываемого материала.

На шероховатость обрабатываемой поверхности оказывает действие и материал полировальника. Проведенные нами эксперименты [5] показали, что для минимизации значений высотных параметров шероховатости поверхности необходимо применять на финишных операциях полирования пекоканифольные полировальники, которые обеспечивают параметр шероховатости поверхности  $R_z \leq 0,025$  мкм. Обработку свободным абразивом металлов с непрерывной подачей абразивной смеси исследовал Худобин Л. В. [6] и сделал вывод об эффективности увеличения скорости резания до 20 м/с. С увеличением размеров зерен абразива ухудшается и шероховатость обрабатываемой поверхности.

Эффективность процесса полирования повышается с увеличением окружной скорости полировальника до 30 м/с (и выше) при одновременном снижении зернистости абразива [4]. В связи с этим следует остановиться на анализе механизма резания-царапания при обработке металлов свободным абразивом. Как известно, в процессе обработки происходит микроцарапание обрабатываемой поверхности большим числом мельчайших абразивных зерен. Механизм процесса определяется геометрией абразивных зерен, характером движения зерен в процессе обработки, особенностью процесса резания-царапания при полировании, силами, развивающимися при резании-царапании, влиянием исходного состояния поверхностного слоя перед обработкой.

Геометрию абразивного зерна оценивают: по количеству режущих углов и выступов; по степени гладкости поверхностей, образующих эти углы и выступы; по величине углов выступающих частей зерен; по радиусу закругления углов и выступов. Абразивные зерна, применяемые для полирования металлов, имеют форму неправильных многогранников, не имеют выступов с точными кристаллографическими углами, а всегда имеют округленные вершины. Это подтверждают исследования Ваксера Д. Б. [7] и Маслова Е. Н. [8]. Измерения углов Ваксером Д. Б. показали, что они изменяются в пределах 100–130°. Значительно реже встречаются углы 60–90°. Вершины всех углов исследуемых зерен имеют закругления в пределах от 6 до 50 мкм. С уменьшением размеров зерен радиусы закругления уменьшаются с меньшей интенсивностью, т.е. более мелкие зерна имеют относительно большую закругленность граней, больший радиус закруглений выступов зерен. С уменьшением размеров зерен радиус закругления их выступов изменяется непропорционально уменьшению размеров зерен. Радиус закругления уменьшается в меньшей степени, чем размеры зерен, т.е. относительная закругленность мелких зерен выше, чем более крупных.

Кроме геометрических характеристик, вторым важным фактором является характер движения абразивных зерен в процессе обработки свободным абразивом. В процессе полирования абразивные зерна, удерживаясь в полировальнике, скользят по обрабатываемой поверхности, часть из них врезается в по-

верхность детали, а часть, перекатываясь, осуществляет микропластическое деформирование. Степень углубления зерен в обрабатываемую поверхность будет разной. Перекатываясь и соударяясь, зерна испытывают значительные напряжения, вызывающие их дробление на большое число мелких частей зерен. Дробление абразивных зерен во время их движения усложняет общий характер движения зерен при полировании. При полировании металлов свободным абразивом могут сниматься очень тонкие слои, достигающие долей микрометра. Поверхность округления выступа зерна можно принять за часть эллипса, а степень остроты угла можно характеризовать радиусом (рис. 1). Фактический передний угол будет определяться глубиной внедрения зерна. В зависимости от глубины погружения абразивного зерна величина фактического переднего угла

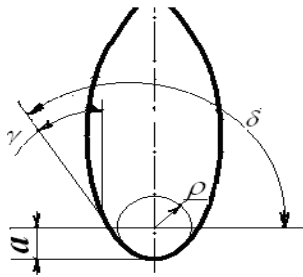


Рис. 1 – Схема к определению фактического переднего угла округления части зерна, которая выступает и царапает

определится по формуле:

$$\gamma = \arcsin \frac{(\rho - a)}{\rho}, \quad (1)$$

где  $a$  – толщина снимаемого слоя;  $\rho$  – радиус округления царапающей части выступа зерна.

Угол резания-царапания (рис. 1) определяется зависимостью:

$$\delta = \frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{(\rho - a)}{\rho}. \quad (2)$$

Следующим важным фактором являются силы, развивающиеся при резании-царапании абразивным зерном, являющееся результатом сложного воздействия сил, изменяющихся в процессе обработки с изменением контактных взаимодействий зерна с обрабатываемой поверхностью. Изменение формы и полноты выступов зерен, вступающих в контакт, степень фиксации зерна в теле полировальника приводит к различной глубине внедрения в обрабатываемую поверхность. Этой глубиной внедрения будут определяться нормальная  $P_y$  и касательная  $P_z$  к обрабатываемой поверхности составляющие силы резания, воздействующей на неровность поверхности. Соотношение составляющих силы резания при полировании определится как и при доводочных процессах:

$$\frac{P_y}{P_z} = \frac{\sin \gamma - \mu \cos \gamma}{\cos \gamma - \mu \sin \gamma}, \quad (3)$$

где  $\gamma$  – фактический передний угол резания-царапания;  $\mu$  – коэффициент трения контактных поверхностей абразивного зерна и царапаемого металла.

Наступление процессов резания-царапания или смятия будет зависеть от соотношения  $a/\rho$  и физико-механических свойств обрабатываемого металла. Смятие металла может происходить по двум схемам: в виде единичного контакта при  $P_{y_{max}}$  и  $P_z \rightarrow 0$ . В этом случае коэффициент трения контактных по-

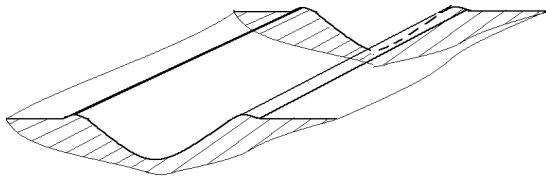


Рис. 2 – Профиль царапины

верхностей зерна и обрабатываемого металла стремится к значению  $ctg\gamma$  (котангенсу фактического переднего угла). По второй схеме: смятие во время скольжения-выглаживания образует профиль царапины, показанный на рис. 2.

С увеличением пластичности металла величина боковых выступов будет возрастать и, следовательно, будет ухудшаться качество обработанной поверхности. В зависимости от формы абразивной частицы, она одна и та же может, скользя, выглаживать, пластически деформируя, поверхность металла, но, повернувшись выступом с меньшим углом и радиусом выступа произвести микроцарапание. В первом случае фактический угол резания будет стремиться к  $180^\circ$ , при этом резание становится невозможным и происходит смятие металла.

Из зависимости (3) следует, если  $P_y \rightarrow 0$ , то  $\mu \rightarrow 0$  – контактное взаимодействие – отсутствует, если  $P_z \rightarrow 0$ , то  $\mu \rightarrow ctg\gamma \rightarrow 0$ ,  $a \rightarrow 0$  – это вмятина (первая схема контактного взаимодействия). Отношение  $P_y/P_z$  увеличивается с увеличением фактического переднего угла. По достижению определенного максимального значения переднего угла это отношение резко возрастает и при условии  $\mu \rightarrow ctg\gamma$  стремится к бесконечности. В результате процесс резания-царапания переходит в процесс скольжения контактирующей выступающей ча-

сти зерна. Нормальная составляющая силы  $P_y$  при этом вызывает пластическое оттеснение металла без снятия стружки.

**Результаты исследований.** Анализируя рис. 1 и зависимость (3), можно сделать вывод, что с уменьшением коэффициента трения значение переднего угла контактирующей выступающей части зерна будет возрастать с переходом в процесс скольжения. Снизить значение отношения  $P_y/P_z$  можно за счет уменьшения коэффициента трения, например, за счет применения СОТС.

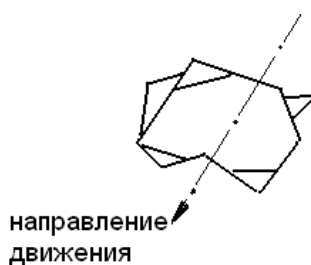


Рис. 3 – Схема беспорядочного расположения выступов зерна

На процесс полирования оказывает влияние реальная поверхность до обработки. Учитывая, что выступающие части зерна имеют смещения относительно направления их движения (рис. 3), обеспечиваемого полировальником, должна появиться вторая горизонтальная составляющая  $P_z$ , которая способствует зигзагообразному движению зерен и увеличивает вероятность их столкновения и дробления.

На процесс полирования оказывает значительное влияние размер абразивных зерен. Количество абразивных зерен, находящихся в зоне резания зависит от размера зерен. Давление полировальника на обрабатываемую поверхность распределяется на количество опорных точек, зависящих от размеров абразивных зерен. С уменьшением размеров абразивных зерен резко уменьшается давление, приходящееся на каждое зерно, что приводит к тому, что глубина внедрения выступов зерен резко уменьшается и количество перекатывающихся зерен (долевое участие) увеличивается. Фактический угол резания при этом будет большим, что и приведет к скольжению зерен по обрабатываемой поверхности. В процессе полирования наряду с основной массой абразивных зерен, выступающие элементы которых образуют большие отрицательные углы в процессе царапания, имеются отдельные зерна с выступающими частями, которые должны в процессе царапания образовывать положительные передние углы. По данным Ваксера Д. Б., острые углы составляют 20 – 25 % от их общего

количества. Степень деформации металла в процессе царапания такими зернами должна быть значительно меньше. Однако, такие зерна больше подвержены дроблению в процессе полирования.

При полировании предпочтение следует отдавать более мелкозернистым абразивным материалам, так как с переходом на более мелкозернистые порошки уменьшается удельное давление, испытываемое каждым зерном, находящимся между полировальником и обрабатываемой поверхностью, а это уменьшает степень углубления абразивных зерен в обрабатываемый материал и вызывает увеличение фактического переднего угла царапающего выступа зерна. Относительно большие радиусы закругления для мелкозернистых абразивов приводят к увеличению фактических передних углов, следовательно вероятность перекатывания мелкозернистых абразивов без срезания стружки значительно выше, а съём металла меньше, эффект полирования выше. Наличие в крупнозернистой доли фракции отдельных крупных зерен снижает качество обработанной поверхности (шероховатость) в силу наличия глубоких царапин, наносимых отдельными крупными зернами, для которых нормальная составляющая  $P_y$  значительно больше, чем для мелких зерен. Наличие таких царапин подтверждается снижением  $R_a / R_{max}$  полированных поверхностей [4, 9].

**Выводы.** Эффективность процесса полирования повышается с увеличением окружной скорости полировальника до 30 м/с (и выше) при одновременном снижении зернистости абразива. В зависимости от формы абразивной частицы, она одна и та же может, скользя, выглаживать, сделать вмятину, пластически деформируя поверхность металла, но повернувшись выступом с меньшим углом и радиусом выступа произвести микроцарапание. Наличие в крупнозернистой доли фракции отдельных крупных зерен снижает качество обработанной поверхности (шероховатость) в силу наличия глубоких царапин, снижая отношение  $R_a / R_{max}$ . Для уменьшения времени обработки необходимо, чтобы зернистость абразива при полировании не превышала максимальную высоту микронеровностей  $R_{max}$  исходной поверхности.



**Список литературы:** 1. *Кедров С. М.* Средства повышения производительности доводки металлов / *С. М. Кедров* // Станки и инструмент, 1987. – №6. – С. 10-13. 2. *Гребенищikov И. В.* Роль химии в процессе полирования / *И. В. Гребенищikov* // Качество поверхности деталей машин: Сб. статей Всесоюзного научно-технического семинара. – М., 1957. – С.17-18. 3. *Исаев А. И.* Влияние температуры шлифования на изменение свойств поверхностного слоя деталей / *А. И. Исаев, С. С. Силин* // Труды МАТИ, 1969. – Вып. 38. – С 32-36. 4. *Шкуруний В. Г.* Підвищення ефективності технології фінішної обробки світловідбиваючих поверхонь деталей із тонкого листа і стрічок: автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.02.08 “Технологія машинобудування”/ *В.Г. Шкуруний*. – Одеса, 2006. – 21 с. 5. *Шкуруний В.Г.* Исследование влияния условий абразивного полирования на изменение высотных параметров шероховатости поверхности / *В. Г. Шкуруний* // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 5 (139). – Донецьк: ДонНТУ, 2008. – С. 134-139. 6. *Худобин Л. В.* Шлифование заготовок из коррозионностойких сталей с применением СОЖ / *Л. В. Худобин, М. А. Белов*. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1989. – 148 с. 7. *Ваксер Д. Б.* Пути повышения производительности абразивного инструмента при шлифовании / *Д. Б. Ваксер*. – М.: Машиностроение, 1964. – 123с. 8. *Маслов Е. Н.* Механизм работы абразивного зерна при шлифовании / *Е. Н. Маслов*. – В кн.: Основные вопросы высокопроизводительного шлифования. – М.: Машгиз, 1960. – 196 с. 9. Качество поверхности при алмазно-абразивной обработке / *Э. В. Рыжов, А. А. Сагарда, В. Б. Ильицкий, И. Х. Чеповецкий*. – К.: Наукова думка, 1979. – 244 с.

*Поступила в редакцию 18.06.2014г.*