

**Ключевые слова:**

выглаживание, поверхностное пластическое деформирование, качество поверхности, поверхностный слой, шероховатость поверхности, сменные многогранные пластины

ОБРАБОТКА НАРУЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ ВЫГЛАЖИВАНИЕМ СМЕННЫМИ МНОГОГРАННЫМИ ПЛАСТИНАМИ

Андрей СМЕРНОВ, Владимир КУЗНЕЦОВ

Приведены результаты исследования метода отделочно-упрочняющей обработки выглаживанием с использованием в качестве инструмента токарного резца со сменной многогранной пластиной из инструментальной керамики. Даны характеристики метода, определены возможные области его применения. По результатам технологических экспериментов даны технологические рекомендации.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из особенностей современного машиностроения является тенденция к увеличению количества предприятий с мелкосерийным и единичным типами производства. Использование большой номенклатуры специализированного оборудования и инструмента на таких предприятиях крайне невыгодно. В то же время известно, что при изменении способа установки инструмента, выполненного в виде сменных многогранных пластин (СМП), значительно меняется функциональное назначение инструмента. Появляется возможность использовать СМП не только для лезвийной обработки резанием, но также и в технологических процессах отделочно-упрочняющей обработки пластическим деформированием (ППД).

Современные машиностроительные предприятия вынуждены выдерживать жесткие и разнообразные требования заказчиков к качеству продукции. Поэтому задача технологического обеспечения качества и снижения себестоимости производимой продукции за счет расширения технологических возможностей универсального инструмента и сокращения его номенклатуры является актуальной. Так, на операциях отделочно-упрочняющей обработки наружных цилиндрических поверхностей выглаживанием возможно эффективно применять уни-

версальный инструмент – СМП для токарной обработки. Для решения этой задачи необходимо было выявить связи, определяющие влияние способа установки СМП на параметры качества обработанных выглаживанием поверхностей.

Выглаживание является одним из широко изученных методов отделочно-упрочняющей обработки ППД [1–5]. Выглаживание может быть реализовано в различных вариациях применяемого инструмента, технологической оснастки и оборудования. В большинстве случаев применение метода выглаживания предполагает использование специального инструмента – выглаживателя или деформирующего индентора. Номенклатура выглаживателей, применяемых в машиностроении, довольно широка. Формы рабочей части данных деформирующих инструментов также довольно разнообразны, но наибольшее распространение получили сферические и цилиндрические выглаживатели. Выглаживатели сферической формы пригодны как для обработки наружных и внутренних поверхностей вращения, так и для обработки плоских поверхностей. Выглаживатели цилиндрической формы применимы только для обработки наружных поверхностей тел вращения. Однако цилиндрические выглаживатели обеспечивают более высокое качество поверхности, так как снижают вероятность

возникновения вибраций в процессе обработки. Следовательно, для выглаживания наружных цилиндрических поверхностей рационально применять деформирующий инструмент цилиндрической формы [6].

Важным этапом развития метода обработки выглаживанием стало рассмотрение его как системы, состоящей из взаимосвязанных атрибутов: способа воздействия, обрабатываемого инструмента, кинематических, силовых и статических характеристик [6–8]. Результатом реализации системного подхода стали работы [6, 9], в которых были проведены исследования метода выглаживания с применением стандартного режущего инструмента – СМП из инструментальной керамики. Данное направление явилось отражением тенденций универсализации используемых в машиностроении инструментов, оборудования и оснастки.

Способ установки выглаживающего инструмента, а именно углы установки СМП и технологический натяг (для выглаживания с жестким закреплением инструмента), оказывает значительное влияние на качество обработанных поверхностей. Влияние это выражается в том, что изменение способа установки инструмента значительно изменяет силу, давление в контакте и цикличность нагружения [10].

УСТАНОВКА СМЕННЫХ МНОГОГРАННЫХ ПЛАСТИН ДЛЯ ВЫГЛАЖИВАНИЯ

Способ установки инструмента определяет геометрические параметры пятна контакта инструмента и обрабатываемой поверхности. Важность геометрических параметров пятна контакта (площадь, длина и ширина) была обоснована результатами работ многих исследователей метода обработки выглаживанием. В работе [12] были установлены закономерности влияния способа установки СМП на площадь и конфигурацию области пятна контакта и выполнены экспериментальные исследования зависимостей качества поверхности обработанных выглаживанием заготовок от способа установки инструмента и технологических режимов обработки [13].

В работе [9] были исследованы способы установки СМП, в которых пластина поворачивается вокруг вертикальной оси на угол φ' и (или) вокруг горизонтальной оси на угол ψ (рис. 1) [11]. Угол поворота считается условно положительным при повороте СМП в направлении, противоположном движению подачи инструмента, и условно отрицательным – при повороте в направлении, совпадающем с движением подачи инструмента [10].

Для выполнения экспериментов было спроектировано и изготовлено оригинальное техноло-

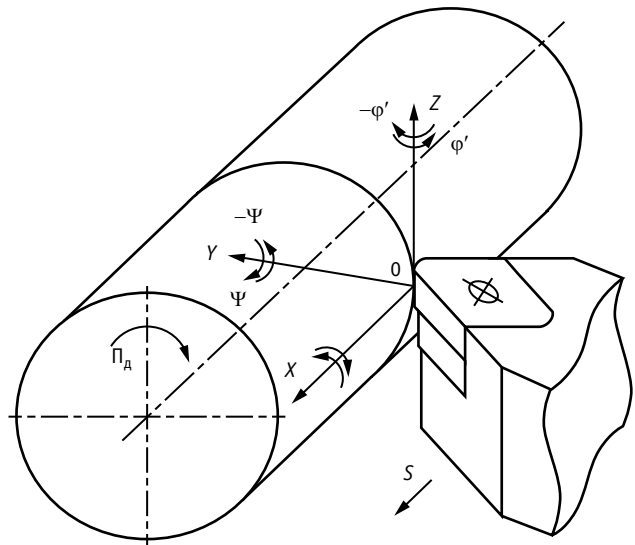


Рис. 1. Схема обработки выглаживанием с применением СМП

гическое приспособление (рис. 2). Для реализации выглаживания СМП необходимо токарный резец, оснащенный СМП, повернуть относительно оси OX в направлении вращения детали на угол, равный заднему углу резца и приподнять вершину резца относительно оси вращения заготовки. В достигнутом взаимном положении инструмента и заготовки СМП контактирует с заготовкой цилиндрической поверхностью, образующей при сопряжении ее задних поверхностей и имеющей радиус, равный радиусу вершин резца в плане.

Данное технологическое приспособление состоит из корпуса 1 с цилиндрическим отверстием, в котором базируется оправка 2, в которой зажимается державка с СМП 4. Державка базируется по плоскости 5 и зажимается двумя винтами. Высота вершины СМП корректируется подкладными пластинами. Зажим оправки в корпусе осуществляется двумя винтами 3. Поворот оправки с деформирующим инструментом осуществляется с помощью рукоятки 7, установленной в одно из трех резьбовых отверстий. Угол поворота устанавливается по угловой шкале 8, закрепленной на задней плоскости корпуса, с помощью стрелки 9, связанной с оправкой через втулку 10 [11].

Для поворота инструмента относительно оси OY необходимо отпустить винты 3 и с помощью рукоятки 7 выполнить поворот оправки 2 на нужный угол. Поворот относительно оси OZ осуществляется вращением всего приспособления по базисующей поверхности суппорта станка, где устанавливается стандартный резцедержатель. Для этого фланец 6 должен иметь диаметр, соответствующий

диаметру установочного места для резцедержателя на суппорте станка.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследования в экспериментах использовались заготовки типа вал диаметром 30–85 мм, длиной 65–100 мм, выполненные из конструкционной стали 45 и легированной подшипниковой стали 75ХГСФ.

Так как выглаживание является чистовой операцией технологического процесса, исходная шероховатость обрабатываемой поверхности была обеспечена чистовым точением и варьировалась в пределах $R_a = 2,0 \dots 1,2$ мкм. Предшествующая выглаживанию токарная обработка наружных цилиндрических поверхностей экспериментальных образцов производилась в центрах с применением поводкового патрона (радиальное биение не превышало 2,5–3 мкм).

В качестве инструмента были использованы СМП для токарной обработки стандартных типоразмеров фирмы Sandvik Coromant геометрии SNGN 120712 (квадратная форма), с радиусом вершины 1,2 мм, из керамики на основе оксида алюминия, карбида кремния, нитрида кремния и нитрида кремния с покрытием CVD.

Для экспериментальных исследований было использовано технологическое оборудование и средства измерений: универсальный токарно-винторезный станок 1А62, профилограф-профилометр Mahr MarSurf M 300, координатно-измерительная машина DKM 1-300DP, твердомер ТП-2 «Виккерс», микротвердомер ПМТ-3М, универсальный динамометр УДМ-600, калибр скоба.

Экспериментальные исследования были проведены в диапазонах варьирования технологических режимов обработки, принятых на основании технологических рекомендаций [5, 14], результатов экспериментов, выполненных в работе [12], а также по данным предварительных поисковых экспериментов.

Исследования закономерности влияния технологического натяга и углов поворота СМП на параметры качества обработанной выглаживанием поверхности проводилось на следующих режимах:

→ заданный натяг $i = 10, 20, 30, 50, 100, 140$ мкм;

- подача инструмента $s = 0,08$ мм/об;
- скорость обработки 50–150 м/мин (в зависимости от диаметра обрабатываемой детали).

Однофакторные поисковые эксперименты были выполнены для выбора инструментального материала СМП, режимов обработки и определения интервалов варьирования углов поворота СМП.

После проведения серии поисковых однофакторных экспериментов и анализа полученных данных было выполнено планирование трех полных факторных экспериментов для нахождения зависимостей параметров качества обработанной поверхности (среднего арифметического отклонения профиля R_a , относительной опорной длины профиля tp , среднего шага неровностей профиля S_m , среднего шага местных выступов профиля S) от параметров, определяющих геометрию контактной области СМП и обрабатываемой заготовки: технологического натяга i , угла ϕ' поворота инструмента вокруг вертикальной оси, угла ψ поворота инструмента вокруг горизонтальной оси.

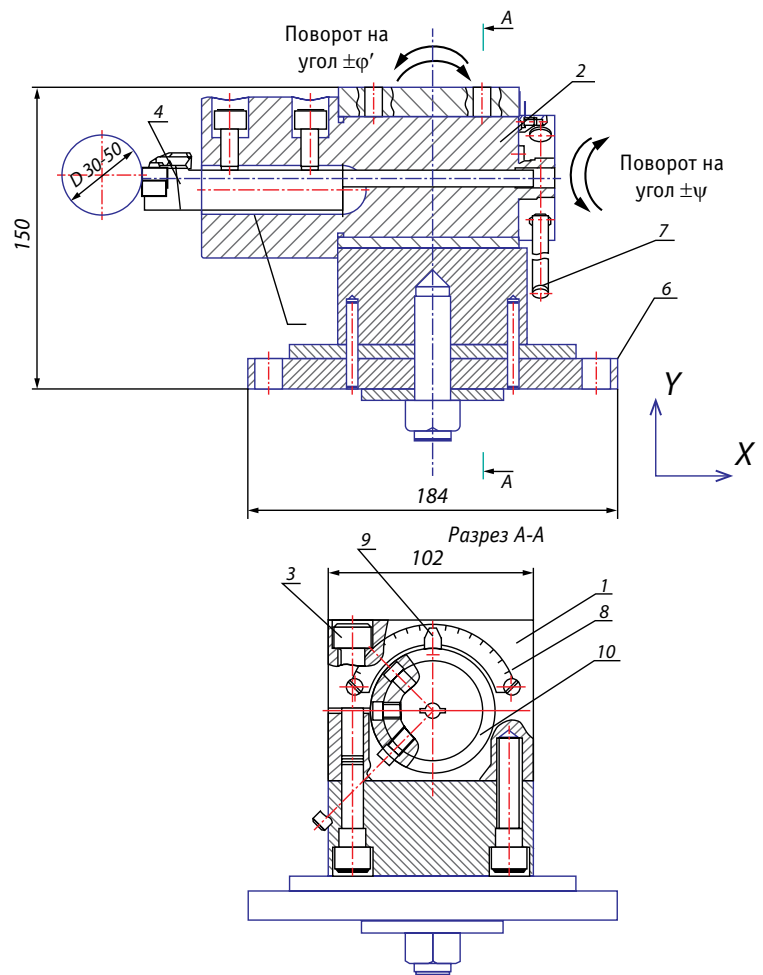


Рис. 2. Сборочный чертеж технологического приспособления для обработки выглаживанием с применением СМП

Для определения степени упрочнения поверхностного слоя заготовок, обработанных выглаживанием при установке СМП с определенными экспериментально рациональными углами и заданным технологическим натягом, были выполнены измерения микротвердости по параметру HV шлифов, изготовленных из выглаженных образцов. Наклеп обработанных выглаживанием поверхностей заготовок из стали 45 составил 60–80%. Это позволило сделать вывод, что выглаживание СМП при рациональных режимах (технологический натяг, движение подачи) и углах установки инструмента не приводит к перенаклепу поверхностного слоя обработанных заготовок [9].

Кроме того, было выполнено экспериментальное исследование влияния износа СМП на шероховатость выглаженной поверхности. Образцы из стали 45 с шероховатостью $R_a = 1,8...2,0$ (мкм) выглаживались СМП из керамики марки ВОК-63 (Sandvik Coromant – 650), установленной по схеме с нулевыми углами установки: $\phi' = \psi = 0^\circ$. Режимы обработки: натяг $i = 40$ (мкм), подача $S = 0,08$ (мм/об), скорость $V = 90...100$ (м/мин), технологическая среда – синтетическая СОТС ТНК Универсал S. Максимально допустимый износ СМП определялся по увеличению шероховатости обработанной поверхности свыше $R_a = 0,8$ (мкм). Катастрофический износ площадью 1,3 (мм) был зафиксирован после прохождения СМП пути выглаживания более 3800 м, что составило 55 мин машинного времени обработки [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате анализа экспериментальных данных были определены области рациональных значений углов установки СМП и уравнения регрессии, описывающие аналитически зависимости параметров шероховатости от технологического натяга и углов установки СМП. Анализ графических зависимостей и профилограмм поверхностей экспериментальных образцов показал, что различные сочетания величин и направлений углов установки СМП обеспечивают большое количество разнообразных сочетаний достигаемых параметров качества поверхности. Например, достижение минимума по величине среднего арифметического отклонения профиля R_a не означает одновременного достиже-

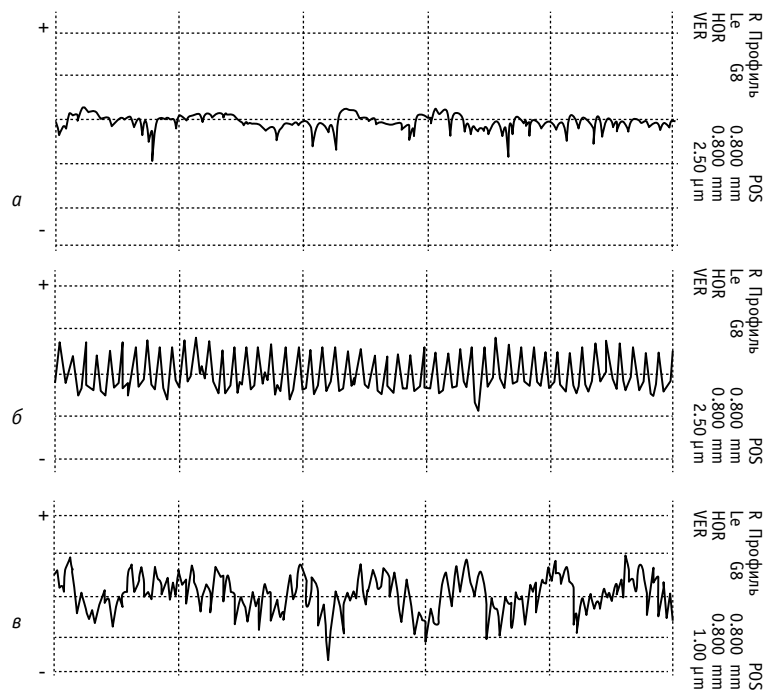


Рис. 3. Профилограммы образцов из стали 75ХГСФ, обработанных выглаживанием с различными схемами установки СМП: *а* – углы $\phi' = 10^\circ$, $\psi = 14^\circ$, натяг 40 мкм, $R_a = 0,266$ (мкм), $t_p = 91\%$, $S = 0,074$ (мм), $S_m = 0,331$ (мм); *б* – углы $\phi' = -10^\circ$, $\psi = -14^\circ$, натяг 40 мкм, $R_a = 0,711$ (мкм), $t_p = 29\%$, $S = 0,031$ (мм), $S_m = 0,082$ (мм); *в* – углы $\phi' = 0^\circ$, $\psi = 0^\circ$, натяг 40 мкм, $R_a = 0,376$ (мкм), $t_p = 76\%$, $S = 0,058$ (мм), $S_m = 0,173$ (мм) [9]

ния максимальной величины шаговых параметров шероховатости (S и S_m) и опорной длины профиля t_p (рис. 3). Поэтому зачастую невозможно корректно оценивать качество обработанной поверхности по какому-либо одному параметру шероховатости [9].

Полученные аналитические зависимости параметров шероховатости обработанной поверхности от параметров установки СМП (углов ϕ' и ψ) и технологического натяга i , а также области рациональных значений параметров качества были использованы при разработке методики расчета и назначения рациональных режимов выглаживания с СМП и способов установки инструмента, подробно изложенной в работе [9].

ВЫВОДЫ

На основе анализа массива экспериментальных данных были предложены некоторые технологические рекомендации для чистовой отделочной обработки выглаживанием СМП с изменением способа установки инструмента.

Таблица 1. Технологические рекомендации

Параметр шероховатости	Технологические режимы	Углы установки СМП, °	
		ϕ'	ψ
Углеродистые конструкционные стали (HV < 2000 МПа)			
$R_a < 0,25$ мкм	Движение подачи $s = 0,08...0,1$ мм/об; скорость $V = 50...120$ м/мин; заданный натяг $i = 40...60$ мкм; СОТС обязательны. Исходная шероховатость $R_a = 1,2...2,0$ мкм	5...10	-14...-5°
$tp > 70\%$		-5...10	-14...-5°
$S_m = 0,25...0,3$ мм		-10...0	5...14°
$S > 0,06$ мм		-10...0	5...14°
Легированные конструкционные стали (HV > 2000 МПа)			
$R_a < 0,25$ мкм	Движение подачи $s = 0,08...0,1$ мм/об; скорость $V = 50...120$ м/мин; заданный натяг $i = 40...60$ мкм; СОТС обязательны. Исходная шероховатость $R_a = 1,2...2,0$ мкм	-10...4	-7...14
$tp > 70\%$		-8...8	-5...14
$S_m = 0,2...0,3$ мм		-10...0	5...14
$S > 0,05$ мм		-10...0	5...14

Использование данных рекомендаций (табл. 1) [9] позволяет достигать требуемых параметров качества обработанной поверхности. Приведенные технологические рекомендации основаны на экспериментальных исследованиях метода выглаживания с жестким закреплением инструмента.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Барац Я. И.** Исследование процесса алмазного выглаживания сталей: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Я. И. Барац. — Тольятти, 1968. 201 с.
2. **Губанов В. Ф.** Обеспечение заданных параметров шероховатости поверхности и микротвердости в процессе выглаживания цилиндрических деталей: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / В. Ф. Губанов. — Тюмень, 2003. 160 с.
3. **Одинцов Л. Г.** Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник / Л. Г. Одинцов. — М.: Машиностроение, 1987. 328 с.
4. **Смелянский В. М.** Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / В. М. Смелянский. — М.: Машиностроение, 2002. 200 с.
5. **Торбило В. М.** Основы обеспечения качества и производительности при отделочно-упрочняющей обработке выглаживанием: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.08 / В. М. Торбило. — Пермь, 1986. 385 с.
6. **Торбило В. М.** Алмазное выглаживание / В. М. Торбило. — М.: Машиностроение, 1972. 105 с.

7. **Кузнецов А. М.** Технологические основы создания методов обработки в машиностроении: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.08 / А. М. Кузнецов. — М., 1975. 298 с.
8. **Кузнецов В. А.** Основы системного анализа методов механической обработки / В. А. Кузнецов. — М.: Изд-во Московского автомобильного механического института, 1989. 113 с.
9. **Смирнов А. В.** Технологическое обеспечение качества наружных цилиндрических поверхностей выглаживанием сменными многогранными пластинами: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / А. В. Смирнов. — М., 2014. 163 с.

10. **Смирнов А. В.** Влияние способа установки сменной многогранной пластины на силу, контактное давление и цикличность нагружения при обработке выглаживанием // Упрочняющие технологии и покрытия. 2014. № 5. С. 19—24.
11. **Кузнецов В. А.** и др. Выглаживание деталей многогранными неперетачиваемыми пластинами / В. А. Кузнецов, П. В. Шестакин, А. В. Смирнов, Д. А. Сазонов // Автомобильная промышленность. 2010. № 10. С. 24—26.
12. **Зубков Э. И.** Повышение эффективности выглаживания наружных цилиндрических поверхностей инструментом из минералокерамики: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Э. И. Зубков. — М., 1992.
13. **Смирнов-Аляев Г. А.** Механические основы пластической обработки металлов / Г. А. Смирнов-Аляев. — М.: Машиностроение, 1968. С. 272.
14. **Мосталыгин А. Г.** Повышение качества наружных цилиндрических поверхностей выглаживанием минералокерамическим инструментом: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / А. Г. Мосталыгин. — Курган, 1984.

СМИРНОВ Андрей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии сварочного производства» Московского политехнического университета

КУЗНЕЦОВ Владимир Анатольевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование и технологии сварочного производства» Московского политехнического университета