

Федорченко С. К., Давыдов В. М., Иванищев Ю. Г.
S. K. Fedorchenko, V. M. Davydov, U. G. Ivanishev

ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ ПОВЕРХНОСТНО-ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ МЕТОДОМ ОБКАТЫВАНИЯ

MACHINING OF PARTS BY SURFACE-PLASTIC DEFORMATION USING THE ROLLING METHOD

Федорченко Сергей Константинович – аспирант Тихоокеанского государственного университета (Россия, Хабаровск). E-mail: s.k.fedor@mail.ru.

Sergey K. Fedorchenko – Post-Graduate Student, Pacific National University (Russia, Khabarovsk). E-mail: s.k.fedor@mail.ru

Давыдов Владимир Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологическая информатика и информационные системы» Тихоокеанского государственного университета (Россия, Хабаровск). E-mail: davellut@mail.ru.

Vladimir M. Davydov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Technological Informatics and Information Systems Department, Pacific National University (Russia, Khabarovsk). E-mail: davellut@mail.ru.

Иванищев Юрий Георгиевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологическая информатика и информационные системы» Тихоокеанского государственного университета (Россия, Хабаровск). E-mail: Ivanishev41@mail.ru.

Uri G. Ivanishev – Ph.D., Associate Professor, Technology Computer Science and Information Systems Department, Pacific National University (Russia, Khabarovsk). E-mail: Ivanishev41@mail.ru.

Аннотация. В статье рассматривается обработка деталей поверхностно-пластическим деформированием с использованием метода обкатывания на станках с числовым программным управлением. Обозначены преимущества обкатного инструмента разных конфигураций. В работе оценивается влияние технологической наследственности при производстве деталей и при поверхностно-пластическом деформировании. Определены параметры оценки качества поверхности, шероховатости, начальные требования к отделочно-упрочняющей обработке и факторы, влияющие на качество поверхностного слоя.

Summary. The article deals with the processing of parts by surface-plastic deformation with the use of the rolling method on numerically controlled machine tools. Advantages of turning tools of different configurations are outlined. The influence of technological heredity in the production of parts and surface-plastic deformation is evaluated. The parameters of surface quality assessment, roughness, initial requirements for finishing and strengthening processing and factors affecting the quality of the surface layer are determined.

Ключевые слова: обкатывание, пластическое деформирование, шероховатость, упрочение, поверхностный слой, технологическая наследственность.

Key words: rolling, plastic deformation, roughness, hardening, surface layer, technological heredity.

УДК 621.7

Введение. Обкатка поверхностей является довольно простым методом механообработки поверхностей, однако при этом имеет ряд особенностей и нюансов. Метод обкатывания поверхностей является одним из методов поверхностно-пластического деформирования (ППД), относится к холодным методам механообработки. Существует несколько методов ППД: раскатывание, обкатывание, выглаживание, накатывание, дорнование. В данной статье рассматривается процесс обкатывания.

Методика обработки. Метод обкатывания поверхности – это статический метод ППД. Обкатывание используется для упрочнения, уменьшения шероховатости, а также образования мак-

симальной площади контакта поверхности за счёт смятия микронеровностей. С помощью обработки таким образом поверхности удастся обеспечить повышение износостойкости и сопротивления усталости детали в несколько раз. Эти методы позволяют механизировать ручной труд и повысить эффективность и производительность окончательных операций.

Основная проблема заключается в том, что не всегда имеется технологическая возможность получить заданное качество поверхности, для таких поверхностей характерна шероховатость в пределах $Ra = 0,4 \dots 0,2$ мкм. Для решения данной проблемы необходимо разрабатывать метод обкатывания с точки зрения применения его на современном оборудовании с использованием новейших технологий.

Главное отличие метода обкатывания от остальных методов ППД заключается в том, что при обкатывании рабочая часть инструмента (ролик, шарик) работает как тело качения, в то время как в других инструментах, таких как выглаживатели и дорны, тело неподвижно. На рис. 1 представлены два основных вида обработки поверхности детали, используемых на серийных и на единичных производствах: обкатывание и выглаживание.

Принцип работы обкатывания: на шарик или ролик (см. рис. 1, а) подаётся определённое усилие P на деталь, и он, катясь по поверхности со скоростью M и подачей F , сминает неровности (шероховатости), образуя при этом наклёпанный поверхностный слой, упрочняя поверхность материала. Принцип действия для выглаживания (см. рис. 1, б) схож с обкаткой, но в качестве инструмента используется неподвижный индентор, который давит с усилием P и подаётся вдоль детали с подачей F .

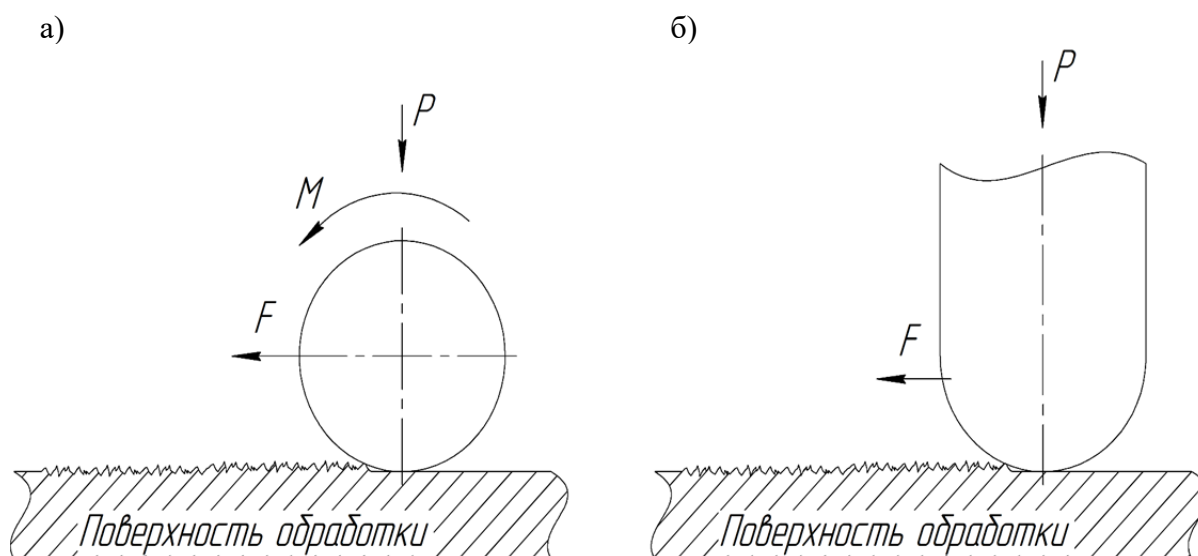


Рис. 1. Основные виды обработки поверхностей ППД (микронеровности показаны для наглядности): а – обкатывание; б – выглаживание

Инструментом для обкатывания обычно служат шариковые и роликовые обкатники. Применяются они обычно на универсальных станках, в качестве финишной операции в современных реалиях необходимо развивать применение данного инструмента на станках с числовым программным управлением (ЧПУ). При применении на станках с ЧПУ появляются возможности к применению этой технологии на сложнопрофильных контурах детали, таких как конус и сфера. В некоторых случаях даже возможна обработка углублений. На рис. 2 представлены типовые обкатывающие инструменты: шариковый, роликовый угловой, роликовый вертикальный.

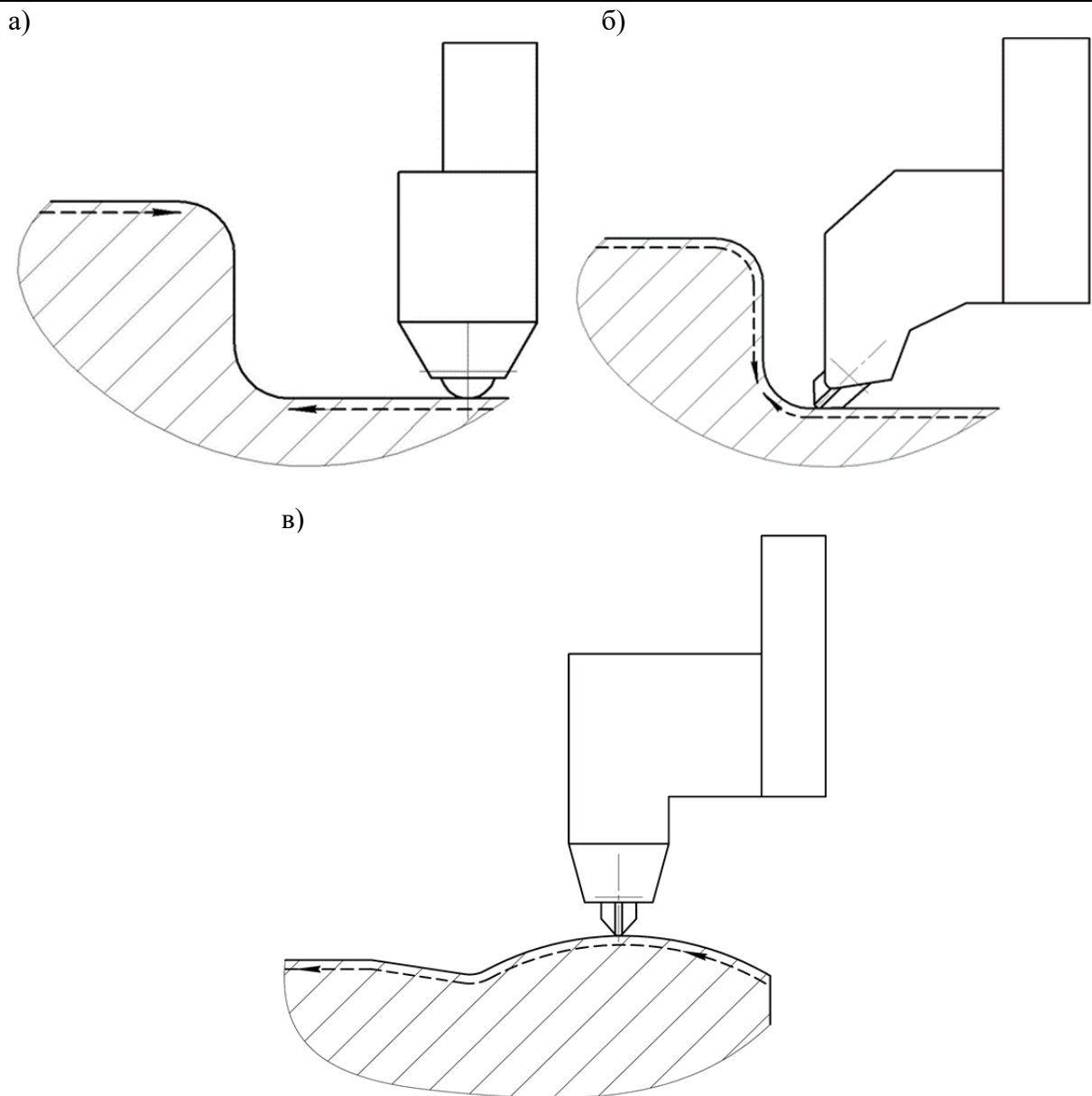


Рис. 2. Обкатывающие инструменты: а – шариковый;
б – роликовый угловой; в – роликовый вертикальный

Стоит отметить, что из-за особенности конструкции инструмента технологические возможности обработки кардинально отличаются для шарикового и роликового инструмента. Существуют такие типы роликовых обкатывающих инструментов, конструкция которых позволяет обработать полностью сферические поверхности одним инструментом за один установ (см. рис. 2, в), однако для обработки торцов такой инструмент уже нельзя использовать, для этого необходимо использовать инструмент роликовый угловой (см. рис. 2, б). Если говорить о шариковом инструменте (см. рис. 2, а), то вследствие механики работы такого инструмента не представляется возможным использовать его для обработки торцов и сфер с большой кривизной поверхности. Однако шариковый инструмент имеет наиболее жёсткую конструкцию, в отличие от роликового, что позволяет применять его для обработки более твёрдых сталей.

Метод обкатывания крайне эффективен в своём применении – при одном проходе возможно достигнуть улучшения поверхности до 80 %.

Применение метода обкатывания для производства деталей. Как уже говорилось выше, разработка и исследование метода обкатывания необходимы для случаев, когда нет возможности

получить заданное качество поверхности после чистового точения, причинами этого могут быть как технологические возможности станков, так и крайне высокие требования к поверхности детали. Необходимо учесть, что данный метод не является новым и используется давно в машиностроении [1]. Несмотря на повсеместное применение отделочно-упрочняющей обработки (ОУО), необходимо рассматривать автоматизированную обработку на станках с ЧПУ. Помимо этого, необходимо акцентировать внимание на технологической наследственности, например, вследствие приложения большой силы прижима к детали при закреплении на станке после обработки могут возникать поводки геометрии, что негативно сказывается на эксплуатационных характеристиках детали либо и вовсе может привести к неисправимому браку.

В данной статье предлагается применение описываемого технологического оборудования на станках с ЧПУ, в особенности на токарных. В качестве обрабатываемых деталей рассматриваются валы. Вал – это деталь машины, предназначенная для передачи крутящего момента и восприятия действующих сил со стороны расположенных на нём деталей. Валы являются ответственными деталями, и к ним предъявляются повышенные требования ещё на этапах изготовления заготовок. При изготовлении важно соблюдать правильную технологию и корректировать операции в ходе изготовления. С момента производства заготовки и до изготовления конечной детали вал претерпевает множество видов операций, говоря иначе, деталь подвергается влиянию технологической наследственности (ТН).

В монографии [2] приводится математическая формула, представляющая конструкторско-технологическую информацию как множественно-векторное выражение; данную формулу возможно использовать для определения влияния ТН на параметры обрабатываемой детали, получаемые после окончательной обработки. Согласно этому математическому представлению, на выходные параметры детали, которые можно интерпретировать как долговечность и трудоёмкость изготовления детали, помимо её геометрических параметров, влияют также тип обрабатываемой поверхности, точность выполнения поверхностей, шероховатость и твёрдость. Последние два параметра позволяют нам использовать раскатной и другой отделочно-упрочняющий инструмент с целью повышения качественных характеристик детали. Если говорить о технологической наследственности и ОУО, то эти два определения применимы к валам и крайне важны при их производстве. В статье [3] автор приводит доводы, что ТН необходимо учитывать при производстве деталей, а также при ОУО. В данной работе получены результаты, позволяющие установить закономерности при формировании остаточных напряжений в зависимости от истории нагружения детали. Таким образом, можно смоделировать технологический процесс и внести правки перед запуском в производство дорогостоящих деталей. На всех стадиях жизненного цикла детали, включая резание, ППД и эксплуатационное нагружение детали, происходят непрерывное накопление деформаций и исчерпание запаса прочности и пластичности металла, что в свою очередь приводит к усталостному разрушению, появлению трещин и выходу детали из строя.

В. И. Аверченков описывал в своей работе [4] сущность технологической наследственности и какое влияние она оказывает на получаемый результат. Согласно данной работе, на качественные показатели детали влияет в большей степени совокупность технологических факторов, воздействующих на деталь при обработке на этапе финишных операций технологического процесса, а оставшуюся часть составляет совокупность факторов, накопленных на предыдущих этапах обработки. Исследование данных факторов поможет достичь наибольшей долговечности деталей, а также – в перспективе – уменьшить затраты на их изготовление.

Требования к обработке обкатыванием. Для метода обкатывания, как и для многих других технологических операций, необходимо соблюдать свои требования перед обработкой и в её процессе. Качество поверхностного слоя материала, подвергающегося ППД, зависит от выбранного инструмента, начальных условий и режимов обработки. В статье [5] рассматривается эксперимент обкатывания поверхности с помощью роликового и шарикового инструментов, в ходе которого автором установлено, что при обработке шариком шероховатость поверхности меньше, чем при обработке роликом, а твёрдость в рамках погрешности одинакова. Также было установлено, что большую роль играют давление инструмента и число оборотов детали, чем вид инструмента.

Начальными параметрами, влияющими на выбор условий обработки методом ППД с помощью обкатывания, являются: шероховатость обрабатываемой поверхности, материал и его физико-механические свойства, а также используемый технологический инструмент.

Шероховатость, согласно рекомендациям, не должна превышать $Ra = 2,5$ мкм, большая величина приведёт к перенаклёпу, повреждению инструмента и менее предсказуемому уменьшению размеров вследствие пластической деформации вершин. Стоит отметить также, что начальная шероховатость зависит и от твёрдости обрабатываемого материала, его свойств и заданной итоговой шероховатости.

Для оценки качества получаемой поверхности рекомендуется использовать следующие параметры:

- Ra – среднее арифметическое отклонение профиля;
- Rt – максимальная шероховатость;
- RSm – средняя ширина выступов и впадин;
- $Mt(c)$ – коэффициент заполнения материалом (кривая Аббота).

Именно данные параметры позволяют сделать наиболее подробную оценку качества поверхности после ОУО и проанализировать эксплуатационный потенциал поверхностей детали.

В свою очередь, от начальной шероховатости зависят режимы обработки обкатным инструментом, как правило, эти режимы устанавливаются эмпирическим путём, однако можно использовать рекомендации в пособиях по обработке материалов ППД [1], таким образом, для ролика с радиусом $r = 5$ мм для достижения параметра шероховатости $Ra = 0,2$ мкм при начальной шероховатости $Ra = 1,25$ мкм оптимальная подача составляет $F = 0,07$ мм/об, при изменении исходного параметра шероховатости до $Ra = 0,63$ мкм рекомендуемая подача будет составлять $F = 0,15$ мм/об. Для шарика с радиусом $r = 6$ мм и с требуемой шероховатостью $Ra = 0,2$ мкм при исходной шероховатости $Ra = 1,6$ мкм рекомендуемая подача составляет $F = 0,14$ мм/об. Вышеописанные принципы относятся к типовым инструментам, при использовании современного и специализированного оборудования необходимо руководствоваться требованиями и рекомендациями производителя инструмента [6]. Стоит отметить, что, помимо вышеуказанного, на качество обработки и эксплуатационные характеристики также влияет история детали, так называемая технологическая наследственность; согласно источнику [3], ТН обязательно должно учитываться при проектировании технологических процессов обработки ППД. При манипуляции с параметрами, влияющими на результат обработки, крайне важно правильно спланировать и провести эксперимент [7–8]. С помощью программного обеспечения возможно исследование ТН, а также остальных входящих параметров, влияющих на конечный результат.

Заключение. Анализ литературных источников показал, что существуют такие параметры, которые влияют на качественные показатели детали и при изменении которых можно добиться повышения срока эксплуатации изделия без увеличения трудоёмкости его изготовления. Рассмотрены методы обкатывания поверхностей с помощью роликового и шарикового инструментов. Обозначены факторы, влияющие на обкатывание поверхности с помощью роликового инструмента, а именно режимы обработки, даны параметры шероховатости, с помощью которых в полной мере можно оценить качество поверхности, получаемой при отделочно-упрочняющей обработке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Одинцов, Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник / Л. Г. Одинцов. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.
2. Давыдов, В. М. Концептуальное проектирование мехатронных модулей механообработки / В. М. Давыдов, Ю. Г. Кабалдин. – Владивосток: Дальнаука, 2003. – 251 с.
3. Блюменштейн, В. Ю. Механика технологического наследования как научная основа проектирования процессов упрочнения деталей машин поверхностным пластическим деформированием / В. Ю. Блюменштейн // Новые материалы и технологии в машиностроении. – 2006. – № 6. – С. 7-9.
4. Аверченков, В. И. Технологическая наследственность при формировании качества изготавливаемых деталей / В. И. Аверченков, А. С. Васильев, М. Л. Хейфец // Научноёмкие технологии в машиностроении. – 2018. – № 10 (88). – С. 27-32.

5. Экспериментальное исследование поверхностно-пластического деформирования стальных деталей механическими инструментами / В. В. Поветкин, А. З. Букаева, Е. П. Орлова, И. Н. Исаева // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2017. – № 3 (58). – С. 59-67.
6. Использование раскатного инструмента в условиях многономенклатурного производства / С. К. Федорченко, В. М. Давыдов, М. Р. Гимадеев, Ю. Г. Иванищев // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2022. – № VII (63). – С. 92-97.
7. Иванищев, Ю. Г. Влияние принимаемых параметров на адекватность регрессионной модели / Ю. Г. Иванищев, В. М. Давыдов. – Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2023. – 94 с.
8. Иванищев, Ю. Г. Практика планирования эксперимента и автоматизированной обработки результатов / Ю. Г. Иванищев, В. М. Давыдов. – Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2022. – 176 с.