

УДК 621.9.048

М.А. ТАМАРКИН, Э.Э. ТИЩЕНКО, В.Г. ЛЕБЕДЕНКО

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ В ГИБКИХ ГРАНУЛИРОВАННЫХ СРЕДАХ

В статье представлены результаты исследований методов поверхностного пластического деформирования гибкой гранулированной средой. Определены глубина внедрения частицы среды, среднее арифметическое отклонение профиля установившейся шероховатости, глубина упрочненного слоя и степень упрочнения. Приведена зависимость шероховатости от времени для различных видов обработки методом поверхностного пластического деформирования гибкой гранулированной средой.

Ключевые слова: гибкая гранулированная среда, среднее арифметическое отклонение профиля установившейся шероховатости, глубина упрочненного слоя, степень упрочнения.

Введение. В условиях современного машиностроительного производства необходимо добиваться постоянного повышения производительности труда и улучшения качества выпускаемых изделий. Для решения этой задачи разрабатываются и внедряются новые методы обработки. К таким методам относятся методы обработки поверхностным пластическим деформированием (ППД) в гибких гранулированных рабочих средах. В последнее время они находят всё большее применение в различных отраслях промышленности на этапах финишной обработки, так как имеют достаточно широкие технологические возможности, что в свою очередь позволяет обрабатывать детали самой различной конфигурации и обеспечивать высокое качество поверхностного слоя.

Обработка, основанная на пластическом деформировании тонкого поверхностного слоя (отделочно-упрочняющая обработка) при помощи гибкой рабочей среды, имеет по сравнению с другими финишными методами обработки поверхности ряд преимуществ: сохраняется целостность волокон металла и образуется мелкозернистая структура в поверхностном слое; отсутствуют термические дефекты; обеспечивается стабильное качество поверхности; обеспечивается возможность достижения минимальных высотных параметров шероховатости поверхности как на термически необработанных сталях, цветных сплавах, так и на высокопрочных материалах; создается благоприятная форма микронеровностей с большой долей опорной площади на уровне вершин неровностей; создаются благоприятные сжимающие остаточные напряжения в поверхностном слое; повышается микротвердость поверхности. Обработка поверхностным пластическим деформированием гибкой гранулированной средой (ППД ГГС) не требует применения сложного оборудования и оснастки. ППД ГГС могут подвергаться детали разнообразных форм и размеров, изготовленные из различных материалов.

Методы обработки ППД ГГС широко применяются в промышленности. Каждый из этих методов имеет свою область применения, преимущества и недостатки. Рассмотрим некоторые из них подробнее.

Отделочно-упрочняющая вибрационная обработка (ВиОУО) представляет собой механический или механохимический процесс сглаживания микронеровностей за счет их пластического деформирования частицами рабочей среды, совершающими колебательное движение [1]. Процесс сопровождается последовательным нанесением на поверхность деталей большого количества микроударов частицами рабочей среды при их взаимных соударениях и скольжении. Удары вызваны действием колебаний, сообщаемых рабочей камере.

Рабочей камере, смонтированной на упругих элементах и имеющей возможность колебаться в различных направлениях, сообщается вибрация от инерционного вибратора в виде вращающегося вала с несбалансированными грузами с частотой 15...50 Гц и амплитудой 0.5...2.5 мм. В процессе вибрирования заготовки и рабочая среда непрерывно подвергаются переменным по знаку ускорениям, приходят в интенсивное относительное перемещение, совершая два вида движений: колебания и медленное перемещение всей массы (циркуляционное движение). От стенок рабочей камеры вибрация передается прилегающим слоям рабочей среды, которые передают ее следующим слоям и т.д. Схема вибрационной обработки представлена на рис.1.

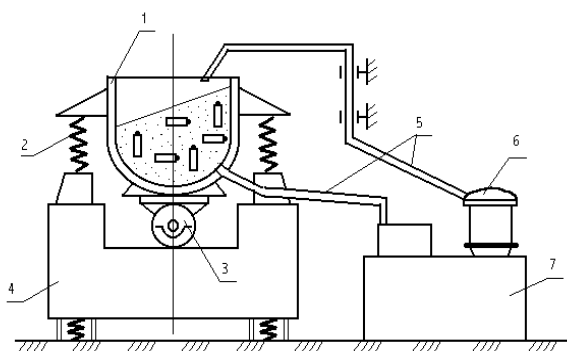


Рис.1. Схема станка для ВиОУО: 1 – рабочая камера; 2 – упругий элемент; 3 – дебалансный вибратор; 4 – основание; 5 – шланги для подачи и слива технологической жидкости; 6 – pompa; 7 – бак-отстойник

В процессе обработки заготовка занимает различные положения в рабочей среде, что обеспечивает достаточно равномерную обработку всех поверхностей во всех точках рабочей камеры. Несколько эффективней обработка у дна, где давление рабочей среды выше. По мере удаления от стенок рабочей камеры амплитуда колебаний частиц рабочей среды и интенсивность обработки уменьшаются. Воздействие на обрабатываемую деталь одновременно большого числа микроударов в различных направлениях способствует удержанию ее во взвешенном состоянии, исключая грубые забоины и повреждения. Процесс обработки осуществляется преимущественно с периодической или непрерывной подачей в рабочую камеру технологической жидкости (ТЖ) требуемого состава и значительно реже всухую.

Интенсивность вибрационной обработки зависит от режима и продолжительности обработки, характеристики и размеров частиц рабочей среды, объема рабочей камеры и степени ее заполнения, механических свойств материала обрабатываемых деталей и др.

ВиОУО, используемая для достижения упрочняющего или стабилизирующего эффекта, осуществляется преимущественно в среде металлических и твердосплавных тел. ВиОУО является универсальным методом обработки. Наиболее ощутимы его преимущества при обработке деталей сложной формы, а также при упрочнении большой партии деталей небольших размеров. При этом достигается равномерное упрочнение тонкого поверхностного слоя всех элементов детали, отделка и скругление острых кромок, плавность переходов.

В работах исследователей ВиОУО [1,2,3] приводится значительное количество факторов, влияющих на производительность и качество обработки. Многие из них выделяют следующие основные факторы: амплитуда и частота колебаний рабочей камеры, параметры частиц рабочей среды; свойства обрабатываемого материала; степень заполнения рабочей камеры; время обработки; соотношение объемов обрабатываемых заготовок и гибкой рабочей среды; наличие и свойства ТЖ; исходное состояние поверхности заготовок и др.

ВиОУО позволяет получить в зависимости от состояния исходной заготовки и используемой среды шероховатость поверхности до Ra 0.5 мкм, повышение микротвердости на 20...60% на глубине 0.1...0.5 мм и более, величину сжимающих остаточных напряжений 100...120 МПа на глубине 0.5...0.8 мм, скругление острых кромок, уменьшение и ликвидацию концентраторов напряжений.

Центробежно-ротационная обработка в среде стальных шариков является одним из отделочно-упрочняющих динамических методов обработки.

Метод центробежно-ротационной обработки занимает особое место среди известных методов обработки деталей ППД ГГС, так как обеспечивает наибольшую производительность процесса обработки, многократно превышающую производительность многих других методов.

Сущность метода отделочно-упрочняющей центробежно-ротационной обработки (ОУ ЦРО) состоит в том, что гранулированный наполнитель 3 и обрабатываемые детали 4 (рис.2) загружаются в рабочую камеру и приводятся во вращательное движение вокруг вертикальной оси таким образом, что вся масса загрузки приобретает форму тора [4].

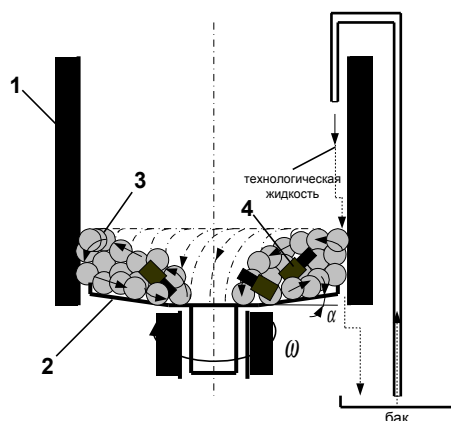


Рис.2. Схема процесса

центробежно-ротационной обработки

Тороидально-винтовой поток обеспечивается конструкцией рабочей камеры, состоящей из неподвижной цилиндрической вертикально расположенной обечайки 1 и примыкающего к ней вращающегося дна 2, имеющего форму тарели. Для уменьшения износа внутренние поверхности дна и неподвижную часть рабочей камеры покрывают износостойким материалом. Чаще всего используются резиновые или полиуретановые покрытия. Вращение дна обычно обеспечивается реверсивным электродвигателем или гидродвигателем.

К основным преимуществам ОУ ЦРО относятся: высокая интенсивность обработки; простое по конструкции оборудование; возможность одновременной обработки заготовок «внавал» большими партиями.

Шероховатость обработанной поверхности при ОУ ЦРО зависит от характеристик гибкой рабочей среды, режимов обработки, объема загрузки рабочей камеры, физико-механических свойств обрабатываемого материала, исходной шероховатости и других факторов.

При ОУ ЦРО воздействие множества микроударов частиц гибкой рабочей среды на поверхность обрабатываемых заготовок создает предпосылки для изменения физико-механических свойств поверхностного слоя деталей.

Наряду с шероховатостью и микротвердостью поверхности важным критерием, определяющим эксплуатационные свойства детали, являются остаточные напряжения в её поверхностном слое. Так как процесс ОУ ЦРО является низкотемпературным (температура в рабочей камере не превышает 50°C) и осуществляется при постоянном воздействии ТЖ, единственным источником возникновения остаточных напряжений может быть пластическая деформация от микроударов частиц рабочей среды.

В известных работах [4,5] приводится значительное количество факторов, влияющих на производительность и качество обработки, но большинство исследователей выделяют следующие основные: угловая скорость вращения дна; угол наклона дна; параметры частиц рабочей среды (размеры шариков); свойства обрабатываемого материала; степень заполнения рабочей камеры; время обработки; соотношение объемов обрабатываемых заготовок и гибкой обрабатывающей среды; наличие и свойства ТЖ; исходное состояние поверхности заготовок и др.

ОУ ЦРО позволяет получить в зависимости от обрабатываемого материала шероховатость поверхности Ra до 0,8 мкм, величину сжимающих остаточных напряжений 100...130 МПа на глубине залегания 0,5...1 мм, повышение усталостной долговечности в 1,5...1,6 раз, повышение степени упрочнения до 20%.

Обработка дробью (ОД) осуществляется ударами дроби по деформируемому материалу. ОД используется для упрочнения деталей и инструментов сложной формы, а также для обработки деталей, имеющих малую жесткость (зубьев шестерен, листовых рессор, витых пружин, лопаток компрессоров и турбин и др.) [6,7].

Эффект, достигаемый при ОД, обеспечивается за счет создания в поверхностном слое детали сжимающих остаточных напряжений, однородной текстуры металла и специфической микрогеометрии, свойственной всем методам ОУО ГРС.

Процесс ОД включает две группы методов:

1) дробеударная обработка (ДО), объединяющая методы обработки ППД сухой дробью: дробеструйный, дробеметный, гравитационный, пневмодинамический, беспыльная ДО;

2) гидродробеударная обработка (ГДО), включающая методы упрочнения дробью с применением ТЖ: пневмогидродробеструйный, гидродробеструйный, гидродробеметный, упрочнение микрошариками.

Принципиальные схемы основных способов ОД приведены на рис.3.

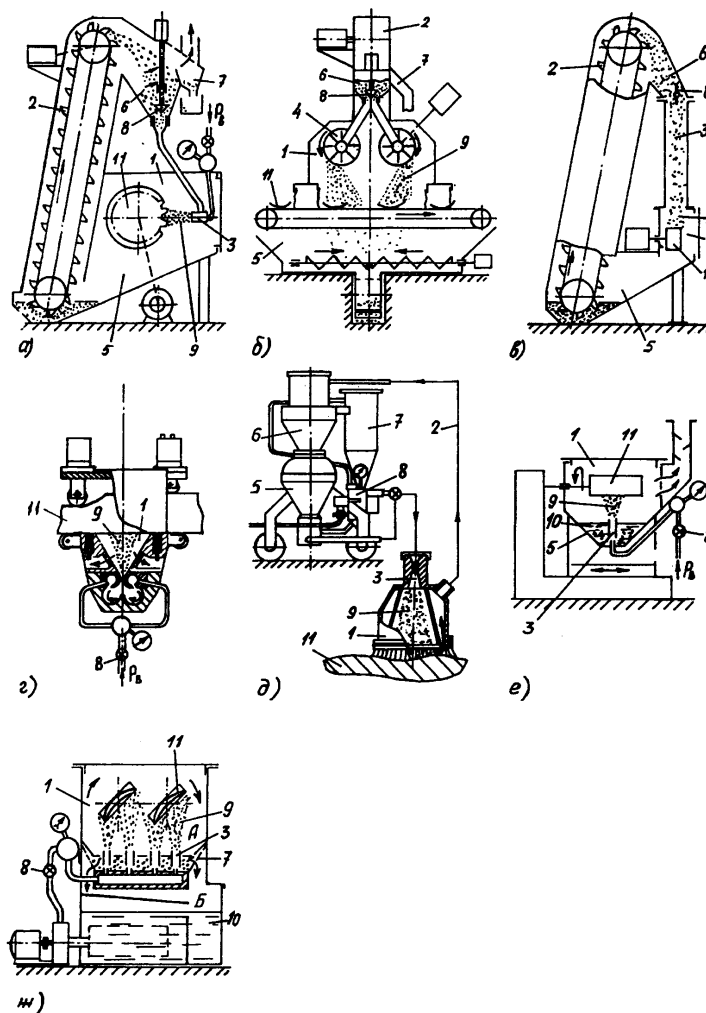


Рис.3. Принципиальные схемы обработки дробью: а – дробеструйное упрочнение; б – дробеметная обработка; в – гравитационная обработка; г – пневмодинамическая обработка; д – беспыльная дробеструйная обработка; е – пневмогидродробеструйная обработка; ж – гидродробеструйная обработка: 1 – рабочая камера; 2 – элеватор (возврат дроби); 3 – струйный аппарат; 4 – ротор-дробемет; 5 – нижний бункер; 6 – верхний бункер; 7 – сепаратор дроби; 8 – запорно-регулирующее устройство; 9 – поток дроби; 10 – рабочая жидкость; 11 – деталь

ОД позволяет получить в зависимости от обрабатываемого материала шероховатость поверхности R_a до 0.8 мкм, величину сжимающих остаточных напряжений 100...130 МПа на глубине залегания 0.5...1 мм, повышение усталостной долговечности в 1.5...1.6 раз, повышение степени упрочнения до 20%.

Постановка задачи. Несмотря на широкое распространение методов ППД ГГС, имеющиеся результаты, полученные рядом исследователей, недостаточно полно описывают процесс, носят эмпирический характер или рассматривают частные вопросы. Нет сведений по выбору технологических режимов применительно к процессу достижения заданных параметров поверхностного слоя (шероховатость поверхности, глубина упрочненного слоя, степень упрочнения), практически не изучено влияние механических характеристик материала. Из выполненных исследований наибольший интерес в этой области представляют работы А.П. Бабичева, В.О. Трилиско-го, Ю.Р. Копылова, В.В. Петросова, И.В. Кудрявцева, В.М. Смелянского и др. На основании результатов их работ, а также результатов собственных исследований разработана комплексная система моделей ППД ГГС, включающая взаимосвязанные модели единичного взаимодействия частиц рабочей среды с поверхностью детали, формирования шероховатости обработанной поверхности, глубины упрочненного слоя, степени упрочнения. Проведено исследование эксплуатационных свойств обработанных деталей.

Содержание и результаты исследований. При исследовании основных технологических параметров методов ППД ГГС (производительности процесса и качества обработанной поверхности) одним из важнейших является вопрос теоретического моделирования процесса единичного взаимодействия частиц среды с поверхностью обрабатываемой детали. Разработка теоретических зависимостей, описывающих форму и размеры следов обработки, позволяет в дальнейшем перейти к теоретико-вероятностному описанию распределения следов на поверхности детали, что в свою очередь даёт возможность разработать модель формирования профиля шероховатости и физико-механических свойств поверхности детали.

Деформирование неровностей при ППД ГГС происходит следующим образом: частица среды взаимодействует с выступами микропрофиля поверхности обрабатываемой детали, в результате чего эти выступы пластически деформируются, вызывая течение металла (в микрообъёмах), причём пластическая деформация происходит в поверхностном слое детали. Это связано со значительным превышением твёрдости рабочих тел по сравнению с твёрдостью обрабатываемого материала.

В начале процесса взаимодействия частица среды соприкасается с вершинами неровностей детали по дуге. Длина отрезка контакта увеличивается по мере внедрения частицы в поверхность вплоть до частичной или полной деформации микронеровностей. При этом силы трения на поверхности контакта препятствуют деформации неровностей в окружном направлении. Возникшие в результате взаимодействия касательные напряжения максимальны на контактной поверхности и уменьшаются по мере удаления вглубь материала. Увеличивающиеся на поверхности контакта неровности с частицей среды давления приводят к пластическому течению металла в направлении минимального сопротивления, т.е. в направлении свободной поверхности впадины микронеровностей. В результате перераспределения усилий впадины микронеровностей "поднимаются" вплоть

до контакта с поверхностью обрабатываемого тела. Этот процесс протекает тем интенсивнее, чем деформируемый выступ находится ближе к зоне максимальных давлений.

Глубину внедрения частицы среды можно определить по зависимостям:

- для отделочно-упрочняющей вибрационной и центробежно-ротационной обработки

$$h_{\max} = 2 \psi V_{\text{эф}} \psi R \psi \sin \alpha \psi \sqrt{\frac{\rho_{\text{ч}}}{3 k_s \psi c \psi \sigma_s}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{эф}}$ - эффективная скорость частицы (определяется особенностями конкретного вида обработки); R - радиус частицы; α - угол встречи частицы с поверхностью детали; $\rho_{\text{ч}}$ - плотность материала частицы;

k_s - коэффициент, учитывающий влияние шероховатости детали;

c - коэффициент несущей способности контактной поверхности;

σ_s - предел текучести материала детали;

- для обработки дробью

$$h_{\max} = 1.6 \psi K_L \psi R \psi \sqrt{\frac{P_{\text{дин}} \psi \rho_{\text{ч}}}{k_s \psi c \psi \rho_{\text{см}} \psi \rho}}, \quad (2)$$

где $P_{\text{дин}}$ - динамическое давление; K_L - коэффициент потерь, учитывающий расстояние до обрабатываемой детали и плотность потока шариков (определяется при проведении экспериментальных исследований);

$\rho_{\text{см}}$ - плотность смеси.

Величина деформации поверхностного слоя в значительной степени определяется физико-механическими свойствами материала обрабатываемой детали, а также количеством взаимодействий, приходящихся на каждую точку обрабатываемой поверхности.

Контактные напряжения, возникающие в зоне обработки под действием частиц среды, зависят не только от усилия соударения, но и от размера частицы и высоты исходных микровыступов.

Контактная поверхность вследствие её зависимости от угла соударения и формы исходной шероховатости имеет сложную пространственную форму. В случае обработки стальными полированными шариками представляется возможным принять эллипсоидную форму номинальной контактной поверхности. Это значительно упрощает дальнейшие теоретические расчёты.

Пятно контакта частицы среды с поверхностью детали представляет собой эллипс, размеры полуосей которого:

$$b = \sqrt{R^2 - (R - h_{\max})^2}; \quad a = \frac{\pi}{2} \psi (\operatorname{ctg} \alpha - f) \psi h_{\max} + b, \quad (3)$$

где f - коэффициент трения частицы по поверхности детали.

Пластическое деформирование поверхности детали происходит при многократном взаимодействии с ней частиц среды. Образуются единичные лунки с поперечной шероховатостью, зависящие от параметров исходного профиля. Микрорельеф поверхности образуется путём наложения и пере-

сечения единичных следов (лунок).

Если прекратить процесс обработки до получения установившейся шероховатости, будет наблюдаться увеличение опорной поверхности профиля по сравнению с исходной.

Продолжение процесса приведёт к передеформированию выступов исходной шероховатости в том случае, если детали изначально не имели очень высокую твёрдость и значительную исходную шероховатость.

На поверхности детали образуется новый специфический микрорельеф, характеризующийся однородностью свойств по всем направлениям. При продолжении процесса обработки он постоянно воспроизводится, а его параметры не будут изменяться в некоторый промежуток времени (вплоть до наступления перенаклёпа поверхности). Параметры установившейся шероховатости будут определяться только технологическими режимами и размерами частиц среды.

Среднее арифметическое отклонение профиля установившейся шероховатости при ППД ГГС можно определить по зависимостям:

- для отделочно-упрочняющей вибрационной и центробежно-ротационной обработки

$$Ra_{уст} = k_R \psi \sqrt{\frac{h_{max} \psi_a \psi_b \psi_{ed}}{R^2}}, \quad (4)$$

l_{ed} - единичная длина, k_R - эмпирический коэффициент;

- для обработки дробью

$$Ra_{уст} = 0.009 \psi \frac{b}{R} \sqrt{h_{max} \psi_{ed}}. \quad (5)$$

Снижение высотных параметров исходной шероховатости при ППД ГГС имеет сложный характер. Поэтому получить строгую теоретическую модель для определения времени обработки пока не представляется возможным.

Как отмечают многие исследователи [2,8], изменение шероховатости поверхности носит экспоненциальный характер. Скорость образования нового рельефа снижается от максимального значения в начальный период, до значений, мало отличающихся от нуля к моменту образования установившейся шероховатости, что свидетельствует о формировании непрерывно воспроизводимого рельефа поверхности. Каждой комбинации технологических параметров соответствуют такая удельная плотность взаимодействий и такой уровень энергии частиц среды, которые однозначно определяют как продолжительность периода, так и высотные параметры установившегося рельефа, причем последние зависят от исходной шероховатости.

Вышеуказанным условиям удовлетворяет выражение

$$Ra = (Ra^u - Ra_{уст}) e^{-k_u t} + Ra_{уст}, \quad (6)$$

где Ra^u - среднее арифметическое отклонение профиля исходной шероховатости; k_u - коэффициент интенсивности уменьшения шероховатости; t - время обработки; $Ra_{уст}$ - установившаяся шероховатость поверхности.

Выразив из полученной зависимости (6) время обработки, получим следующую формулу:

$$t_3 = - \frac{1}{k_u} \cdot \ln \frac{R_{az} - R_{уст}}{R_{a_{исх}} - R_{a_{уст}}}, \quad (7)$$

где k_u - коэффициент интенсивности изменения шероховатости; $R_{a_{исх}}$, R_{az} , $R_{уст}$ - исходная, заданная и установившаяся шероховатость поверхности соответственно.

При решении технологических задач ППД ГРС важное значение имеет аналитический расчет ожидаемого значения глубины упрочненного слоя и степени упрочнения. От толщины упрочненного слоя h_n зависят многие эксплуатационные свойства деталей, например, усталостная прочность. Величина h_n определяет зону поверхностного слоя, в которой имеются остаточная деформация зерен и дислокаций кристаллической решетки, образованные в результате приложения внешней нагрузки. Аналитическое определение толщины упрочненного слоя и степени упрочнения в зависимости от физико-механических свойств материала детали и параметров процесса является очень сложной задачей. Существующие математические зависимости, выведенные несколькими авторами [9,10], были получены на основе теории упругости или пластичности после принятия многочисленных упрощений и допущений.

Значительные исследования в этой области проведены И.В. Кудрявцевым, В.П. Пшибыльским, Е.Г., Папшевым и др. [9,10,11].

В работе [9] приведена зависимость для определения глубины упрочненного слоя в зависимости от характеристик следа:

$$h_n = 3rk, \quad (8)$$

где k - коэффициент, зависящий от степени наклепа; r - радиус пластического отпечатка.

В случае эллиптической формы отпечатка

$$r = \sqrt{a \cdot b}, \quad (9)$$

где a и b - полуоси эллипса контакта.

На основании приведенных зависимостей для ППД ГРС глубину упрочненного слоя можно определить по формуле:

$$h_n = 3k\sqrt{a \cdot b}. \quad (10)$$

Согласно определения под степенью пластической деформации ε условно принимается отношение радиуса остающейся от вдавливания лунки r к радиусу вдавливаемой сферы R .

В работах [9] также приводится зависимость для определения степени упрочнения:

$$\varepsilon = \frac{r}{R}, \quad (11)$$

где r - радиус пластического отпечатка; R - радиус шарика.

Используем зависимость (11) для определения степени упрочнения при обработке гибкой гранулированной средой.

Учитывая ранее приведенные зависимости (9), (11), можно записать для ППД ГГС

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{h_{\max}}{R} \cdot \left(2 - \frac{h_{\max}}{R}\right)}. \quad (12)$$

Полученная система моделей прошла комплексную экспериментальную проверку. Установлено, что расхождение между результатами теоретических и экспериментальных исследований не превышает 20%, поэтому система моделей может быть использована для проектирования технологических процессов ППД ГГС, обеспечивающих повышение качества поверхностного слоя обрабатываемых деталей. На её основе разработаны методика оптимизации технологических процессов и САПР технологических процессов ППД ГГС.

Проектирование технологических процессов при ППД ГГС включает в себя комплекс работ по изысканию, исследованию и расчётам, имеющих целью получение описания предмета проектирования, необходимого и достаточного для создания и реализации нового технологического процесса, удовлетворяющего заданным требованиям. Сложность процесса проектирования, многовариантность технологических решений, большая трудоёмкость определения оптимального варианта вызывают необходимость автоматизации проектных работ.

Для построения математического описания процесса проектирования необходимо провести формализацию, математический аппарат которой позволит описать сложные взаимосвязи, изучаемые технологией, и определить процедуры, позволяющие построить проектные решения. В основу такого аппарата для ППД ГГС могут быть положены полученные выше модели. Они в полной мере отражают всё многообразие технологических ситуаций, содержат описание свойств процесса, пригодное для синтеза алгоритмов. Результаты ППД ГГС можно описать множеством критериев: шероховатость обработанной поверхности; глубина упрочнённого слоя; степень упрочнения; время или производительность обработки и т.д.

Полученные модели позволяют представить каждый показатель (критерий) в виде функциональной зависимости от множества исходных данных: управляемых технологических параметров и свойств обрабатываемого материала. Эти зависимости являются исходными в задачах оптимизации и управления.

При моделировании процессов ППД ГГС рассмотрено влияние исходных факторов на основные показатели обработки (технологические режимы, исходная шероховатость поверхности обрабатываемой детали, размеры среды). Это позволило произвести ранжирование технологических факторов, выбрать основные, которые оказывают существенное влияние, определить какие из них следует задавать одним значением, а какие массивом чисел для формирования множества проектных решений.

При создании САПР ТП разработаны технологические алгоритмы по двум методическим направлениям:

1) структурная оптимизация (выбор метода обработки, разработка процессов с минимальным числом операций и станков);

2) параметрическая оптимизация (главным образом оптимизация режимов обработки) отдельных операций.

Выводы. Разработанная САПР ТП позволяет по характеристике детали выбрать возможные методы ППД ГГС (в порядке предпочтительности), для каждого из них определить технологические режимы и характеристики рабочих сред, обеспечивающие минимальное время обработки, рассчитать необходимое количество станков и рабочих сред для выполнения годовой программы, затем путем экономического сравнения выбрать оптимальный вариант технологического процесса.

Библиографический список

1. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии. / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1999. – 621 с.
2. Тамаркин М.А. Теоретические основы оптимизации процессов обработки деталей свободными абразивами: дис... докт. техн. наук. / М.А. Тамаркин. – Ростов н/Д, 1995.
3. Копылов Ю.Р. Виброударное упрочнение: моногр. / Ю.Р. Копылов. – Воронеж: Воронежский институт МВД России, 1999. – 386 с.
4. Трилисский В.О. Объемная центробежно-ротационная обработка деталей / В.О. Трилисский и др. – М.: НИИмаш, 1983. – 53 с.
5. Панчурин В.В. Упрочняющая обработка зубчатых колес транспортных машин центробежно-ротационным способом: дис. ...канд. техн. наук: 05.02.08. / В.В. Панчурин. – М.: МИИЖТ, 1989. – 243 с.
6. Петросов В.В. Гидродробеструйное упрочнение деталей и инструмента. / В.В. Петросов. – М.: Машиностроение, 1977. – 166 с.
7. Машиностроение. Энциклопедия. Технология изготовления деталей машин. ТIII – 3/ А.М. Дальский, А.Г. Суслов, Ю.Ф. Назаров и др.; под общ. ред. А.Г. Суслова, 2000. – 840 с.
8. Отделочно-упрочняющая обработка деталей многоконтактным виброударным инструментом. / А.П. Бабичев, П.Д. Мотренко и др. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003. – 192 с.
9. Кудрявцев И.В. и др. Повышение прочности и долговечности крупных деталей машин поверхностным наклепом. / И.В. Кудрявцев и др. – М.: НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1970. – 144 с.
10. Пшебыльский В.П. Технология поверхностной пластической обработки. / В.П. Пшебыльский. – М.: Metallurgia, 1991 – 476 с.
11. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. / Д.Д. Папшев. – М.: Машиностроение, 1978. – 152 с.

Материал поступил в редакцию 19.05.09.

М.А.ТАМАРКИН, Е.Е.ТИЩЕНКО, В.Г.ЛЕБЕДЕНКО

IMPROVEMENT OF QUALITY OF THE BLANKET OF DETAILS AT PROCESSING BY SUPERFICIAL PLASTIC DEFORMATION IN THE FLEXIBLE GRANULATED ENVIRONMENTS

In article results of researches of the basic technological parameters of methods of superficial plastic deformation are presented by the flexible granulated environment. Depth of introduction of a particle of environment, an average arithmetic deviation of a profile of the established roughness, depth of the strengthened layer and hardening degree is defined, dependence of a roughness on time for various kinds of processing by a method of superficial plastic deformation by the flexible granulated environment is resulted.

ТАМАРКИН Михаил Аркадьевич (р. 1950), заведующий кафедрой "Технология машиностроения", доктор технических наук (1995), профессор (1997). Окончил РИСХМ (1972).

Область научных интересов: технологические процессы обработки деталей в гранулированных рабочих средах.

Количество публикаций более 200.

ТИЩЕНКО Элина Эдуардовна, доцент кафедры "Технология машиностроения", кандидат технических наук (2004). Окончила ДГТУ (1999).

Область научных интересов: центробежно-ротационная обработка.

Количество публикаций более 50.

ЛЕБЕДЕНКО Вячеслав Георгиевич (р. 1977), ассистент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды». Окончил ДГТУ (1998).

Область научных интересов: технические процессы обработки деталей дробью.

Количество публикаций 21.

Lina_tishenko@mail.ru