

**ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ РАСЧЕТА
ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ГИДРОДРОБЕСТРУЙНОМ
УПРОЧНЕНИИ И НАЛАДКА УСТАНОВКИ
ДЛЯ ГИДРОДРОБЕСТРУЙНОГО УПРОЧНЕНИЯ**

Д.В. Беликов, П.Г. Мазеин

В статье рассмотрены погрешности расчетного определения остаточных напряжений, приведен алгоритм наладки и запуска установки для гидродробеструйного упрочнения, дана блок-схема наладки и запуска установки, её гидросхема.

Ключевые слова: гидродробеструйное упрочнение, остаточные напряжения, гидросхема, датчики, сопло-эжектор, отсос пара.

Погрешности

Из экспериментов известно [1, 2], что у всех параметров упрочнения существует значительный разброс значений. В связи с этим любая теория

упрочнения должна включать в себя анализ разброса характеристик упрочнения. В общем можно выделить три группы, влияющие на разброс характеристики упрочнения.

1. Погрешности, связанные с установкой, на которой производится упрочнение; разброс свойств материала.

2. Погрешности измерения остаточных напряжений.

Каждая из этих групп по-своему влияет на процесс и оценку технологических параметров упрочнения. Для детального анализа рассмотрим каждую из групп подробнее.

Погрешности, связанные с установкой, можно разбить на три составляющие: неравномерность расхода шариков; разброс кинетической энергии шариков; погрешность времени упрочнения.

Погрешности, связанные со свойствами материала, можно разделить на два типа: разброс модуля упругости; разброс предела текучести.

Погрешности измерения остаточных напряжений можно также разбить на две группы: погрешности измерительного инструмента; погрешности параметров образцов.

Алгоритм расчёта погрешности

Окончательно алгоритм расчета можно представить в следующем виде:

1) по формулам определяются погрешности, связанные с расходом шариков, кинетической энергией, модулем упругости, пределом текучести:

$$\overline{\Delta\sigma_{(z,t,\Delta q)}^{\Sigma_{ост}}} = \frac{\overline{\sigma_{(z,t)}^{\Sigma_{ост}}}}{q} \left[K_q \Delta P q + \frac{16Q}{\pi(d_p + 2l \sin \alpha)^3} \left(\frac{\Delta R}{l} \cos \alpha + \Delta l \sin \alpha \right) \right]; \quad (1)$$

$$\overline{\Delta\sigma_{(z,\Delta K)}^{\Sigma_{ост}}} = \alpha(z) \overline{\sigma_{(z,t^{уп})}^{\Sigma_{ост}}} \left[m_{ш} V (K_T \Delta T + K_P \Delta P + 2\pi R_{ш}^2 \rho V^2 \frac{N_{ш}}{N} |R_{п} - R_{ш}|) \right], \quad (2)$$

где

$$\alpha(z) = \frac{d\overline{\sigma_{(z,t=1)}^{\Sigma_{ост}}}}{dK} / \overline{\Delta\sigma_{(z,t=1)}^{\Sigma_{ост}}}, \quad (3)$$

$$\overline{\Delta\sigma_{(z,t)}^{\Sigma_{ост}}} = \beta(z) \overline{\sigma_{(z,t^{уп})}^{\Sigma_{ост}}} \left[\Delta E_{изм} + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\bar{E} - E_i| \right], \quad (4)$$

$$\overline{\Delta\sigma_{(z,t)}^{\Sigma_{ост}}} = \gamma(z) \overline{\sigma_{(z,t^{уп})}^{\Sigma_{ост}}} \left[A \mu (HV)^{\mu-1} + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\bar{HV} - HV_i| \right], \quad (5)$$

q – расход шариков; K_q – коэффициент чувствительности; ΔP – погрешность рабочего манометра; Q – количество шариков; d_p – диаметр сопла распылителя; l – расстояние до детали; α – угол распыла шариков; ΔR – погрешность определения пятна распыла; $m_{ш}$ – масса шарика; V – скорость полёта шариков; K_T – коэффициент чувствительности скорости потока к температуре; ΔT – перепад температуры в процессе упрочнения; K_P – коэффициент чувствительности скорости потока к давлению; ΔP – перепад давления в процессе упрочнения; $R_{ш}$ – радиус шариков; ρ – плотность ша-

риков; $N_{\text{п}}$ – количество примесных шариков; N – количество шариков, находящихся в установке; $R_{\text{п}}$ – радиус примесных шариков; K – кинетическая энергия шарика; ΔE – разброс модуля упругости; \bar{E} – математическое ожидание модуля упругости; E – модуль упругости; A – коэффициент зависимости прогиба пластин от микротвёрдости; μ – коэффициент зависимости прогиба пластин от предела текучести; HV – микротвёрдость материала; \bar{HV} – средняя микротвёрдость материала;

2) по формуле определяется погрешность, связанная с методом измерения остаточных напряжений:

$$\Delta\sigma_i^{\text{изм}} = \frac{2}{3} \frac{H_i^2 E}{m l} \frac{\Delta f_{\text{при}}}{\Delta a} \left(\frac{\Delta H}{2H_i} + \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta \tilde{f}}{f} + \frac{\Delta \tilde{a}}{a} \right), \quad (6)$$

где H – толщина образца; m – длина упрочняемой зоны; Δa – толщина снятого слоя; ΔH – погрешность измерения толщины образца; l – база измерения; Δl – погрешность базы измерений; $\Delta \tilde{f}$ – погрешность измерения приращения прогиба; f – приращение прогиба; $\Delta \tilde{a}$ – погрешность измерения толщины снятого слоя;

3) по формуле определяется общая погрешность:

$$\Delta\sigma(z) = \frac{d\sigma(z)}{dq} \Delta q + \frac{d\sigma(z)}{dK} \Delta K + \frac{d\sigma(z)}{dt} \Delta t + \frac{d\sigma(z)}{dE} \Delta E + \frac{d\sigma(z)}{d\sigma_T} \Delta\sigma_T, \quad (7)$$

где Δq – погрешность расчета расхода шариков; ΔK – погрешность расчета кинетической энергии шарика; t – время упрочнения; Δt – погрешность измерения времени упрочнения, σ_T – предел текучести материала; $\Delta\sigma_T$ – погрешность расчета предела текучести.

Влияние шероховатости

Наличие шероховатости поверхности может значительно влиять на результаты контакта шарика с контртелом. Это связано с тем, что в начале контакта происходит смятие поверхностных гребешков, на что расходуется часть энергии шарика.

За счет шероховатости образуется прерывистый контакт, из-за чего происходит неравномерное распределение давления в области контакта, что может внести искажения в картину распределения контактных напряжений. Однако если шероховатость поверхности мала, например, для шлифованных деталей, то влияние искажений, вносимых за счёт шероховатости, будет несущественно для расчёта.

Для доказательства вышесказанного рассмотрим более подробно картинку распределения напряжений при внедрении шарика в контртело.

На рис. 1 хорошо виден дискретный характер распределения контактных давлений, кроме того, во впадинах между гребешками шероховатости возникают концентраторы напряжений, которые перераспределяют контактные напряжения у поверхности. Если предположить, что расстояние между гребешками и их высота малы по сравнению с контактной обла-

стью, то можно применить принцип Сен-Венана. В нём утверждается, что искажения, вносимые локальной неоднородностью, будут иметь тот же порядок, что и размеры самой неоднородности. Для нашего случая глубина искажения будет определяться высотой смятых гребешков Δh и расстоянием между гребешками Δt . С учётом выполнения неравенства: $\Delta t < R_a$, $\Delta h < R_a$, можно сказать, что искажения не будут распространяться на глубину более высоты шероховатости. Следовательно, если $R_a < 5$ мкм, то данными искажениями можно пренебречь.

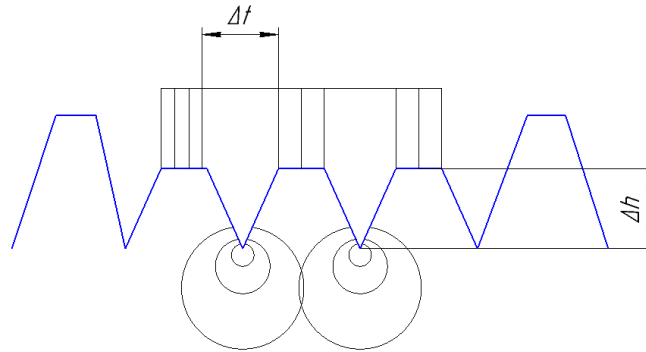


Рис. 1. Схема учета влияния шероховатости

На практике будем считать, что поверхность является идеально гладкой, а затраты энергии, расходуемой на деформирования гребешков, будут учитываться в формуле вводом соответствующих поправок в коэффициент k .

Наладка

Для успешного выполнения операций гидродробеструйного упрочнения деталей на специальной установке [1, 2] разработан пошаговый алгоритм действий, который представлен в виде блок-схемы (рис. 2). Перед началом работы на установке оператор должен получить техпроцесс операции и управляющую программу (УП), деталь или партию типовых деталей, требующих обработки, и приспособление для закрепления детали на шпинделе установки. Установка управляется системой ЧПУ.

1. Оператор проводит внешний осмотр установки: выявляет объем подготовительных работ; осматривает установку на наличие дефектов; проверяет, подключена ли установка к сети, запускает систему ЧПУ. Оператор проверяет уровень трансформаторного масла в установке, если его количества недостаточно, то добавляет масло до требуемого уровня по соответствующей шкале.

2. Проводится осмотр установленного сопла: если сопло отсутствует или установлено сопло под диаметр дроби, не соответствующей технологическому процессу, оператор меняет сопло согласно документации. Оператор проводит осмотр дроби, измеряя диаметр и количество шариков (объем), если требуется, то заменяет дробь согласно технологическому процессу.

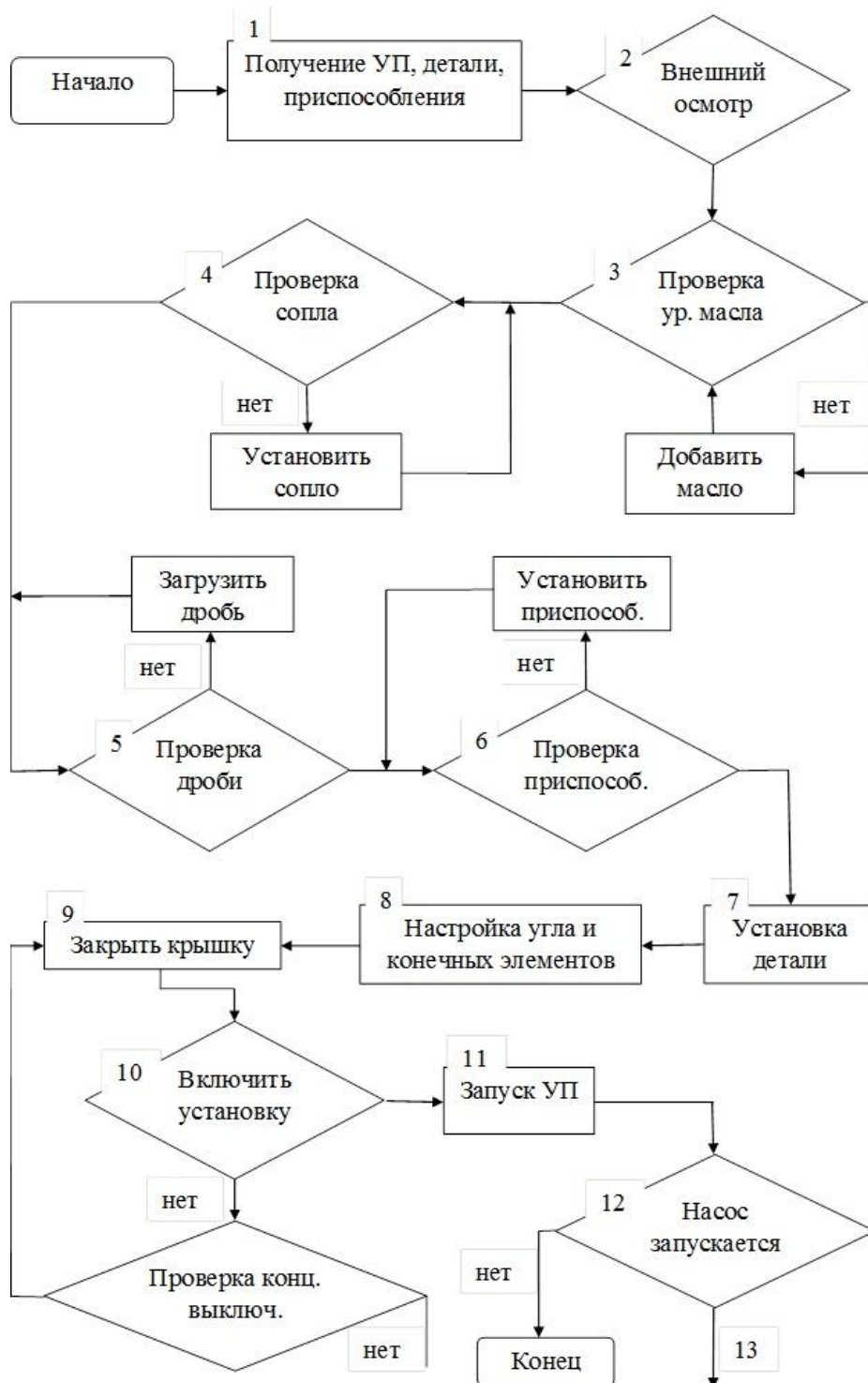


Рис. 2. Блок-схема наладки и запуска установки для гидродробеструйного упрочнения

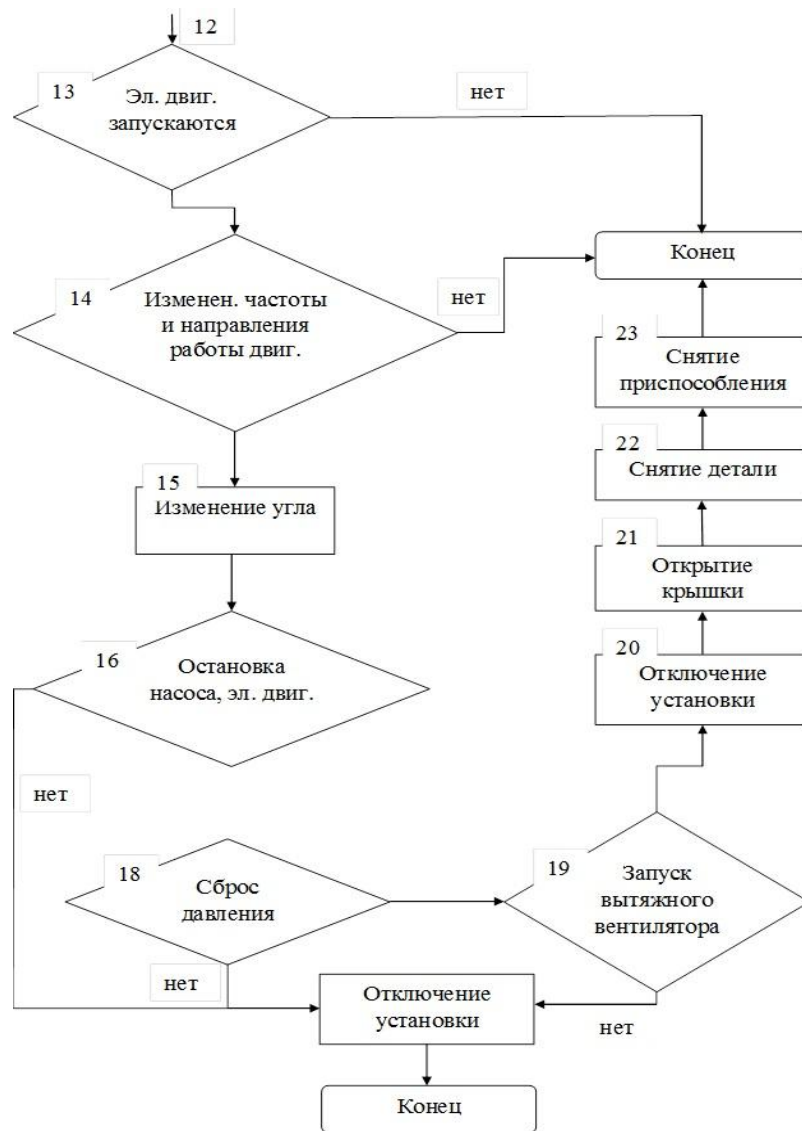


Рис. 2 (окончание). Блок-схема наладки и запуска установки для гидроабразивного упрочнения

3. Оператор осматривает приспособление на целостность: если требуется, то производит замену/установку приспособления. Далее устанавливается и закрепляется деталь согласно чертежу. Оператор настраивает положения детали, регулируя угол установки шпинделя, и положение конечных элементов, ограничивающих длину осевого хода шпинделя. Закрывается крышка и фиксируется соответствующими зажимами. Оператор включает установку, если запуск не произошел, требуется открыть крышку, проверить концевой выключатель, закрыть и зафиксировать крышку и выполнить включение установки. В случае, если установка не запускается, завершить операцию и сообщить мастеру.

4. После включения установки запускается управляющая программа, проверяющая работоспособность масляного насоса, электрических двигателей, изменяя частоту и направления работы двигателей, далее запускает-

ся обработка детали. Если один из проверяемых аппаратов не работает соответственно, рабочий завершает операцию и об этом сообщается мастеру. Если согласно технологическому процессу во время обработки требуется изменение угла шпинделя, рабочий регулирует его.

5. По истечению определенного времени управляющая программа в соответствии с технологией останавливает масляный насос и электродвигатели, если это не происходит, оператор отключает установку, завершая операцию. Снятие детали происходит по прошествии 30 минут после отключения. После отключения насоса и двигателей излишнее давление масла сбрасывается через клапан в бак. Если это не происходит, оператор, используя манометр, сравнивает показания с необходимым т. Если же давление в норме, выполняется следующий шаг. Запускается вытяжной центробежный вентилятор для отсоса из камеры очищенного масляного тумана (нагретого пара). Далее оператор отключает установку, открывает крышку, снимает обработанную деталь.

На рис. 3 показана гидросхема установки.

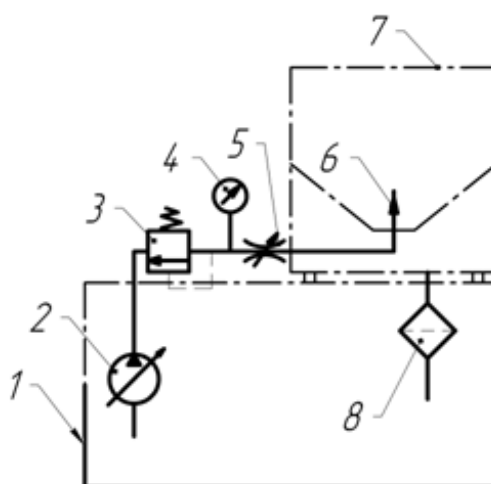


Рис. 3. Гидросхема установки для гидродробеструйного упрочнения:
1 – масляный бак; 2 – насос; 3 – клапан; 4 – манометр; 5 – дроссель;
6 – сопло-эжектор; 7 – камера для упрочнения; 8 – фильтр

Библиографический список

1. Игнатъев, А.Г. Использование упругопластического вдавливания сферического индентора для определения остаточных напряжений / А.Г. Игнатъев. – Челябинск: Машиностроение, 1989. – С. 40–42.
2. Кастерин, А.В. Расчётное определение остаточных напряжений при гидродробеструйной обработке / А.В. Кастерин, П.Г. Мазеин. – Тольятти: ВАЗ, 1989. – С. 76.

[К содержанию](#)