

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 621.787: 621.91

М.С. Махалов

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И НАЗНАЧЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ РАЗМЕРНЫМ СОВМЕЩЕННЫМ ОБКАТЫВАНИЕМ С УЧЕТОМ ЯВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДОВАНИЯ

Известно, что методы упрочняющей обработки, основанные на поверхностном пластическом деформировании (ППД), и, в частности, способ размерного совмещенного обкатывания (РСО) обладают широкими возможностями по обеспечению параметров качества поверхностного слоя (ПС).

Обработка РСО осуществляется двумя или тремя роликами, жестко настроенными на определенный размер обработки детали (рис. 1). Принципиальным является наличие в зоне волнообразования резца, который частично или полностью удаляет пластическую волну. Натяги деформирующих роликов существенно превышают приня-

тые для ППД и достигают величин в 1 мм, однако разрушения поверхности при этом не происходит вследствие удаления резцом части металла в районе вершины пластической волны [1].

На рис. 1 приняты следующие обозначения: S - подача, n - частота вращения детали, $R_{пр}$ - профильный радиус ролика, h_p - расчетный натяг, a_d - действительный зазор резца, h_d - действительный натяг ролика, d - длина горизонтальной проекции передней дуги контакта ролика с заготовкой, d_1 - длина горизонтальной проекции задней дуги контакта ролика с заготовкой, h_b - высота пластической волны, l - длина передней внеконтактной зоны очага деформации (включая зону контакта с

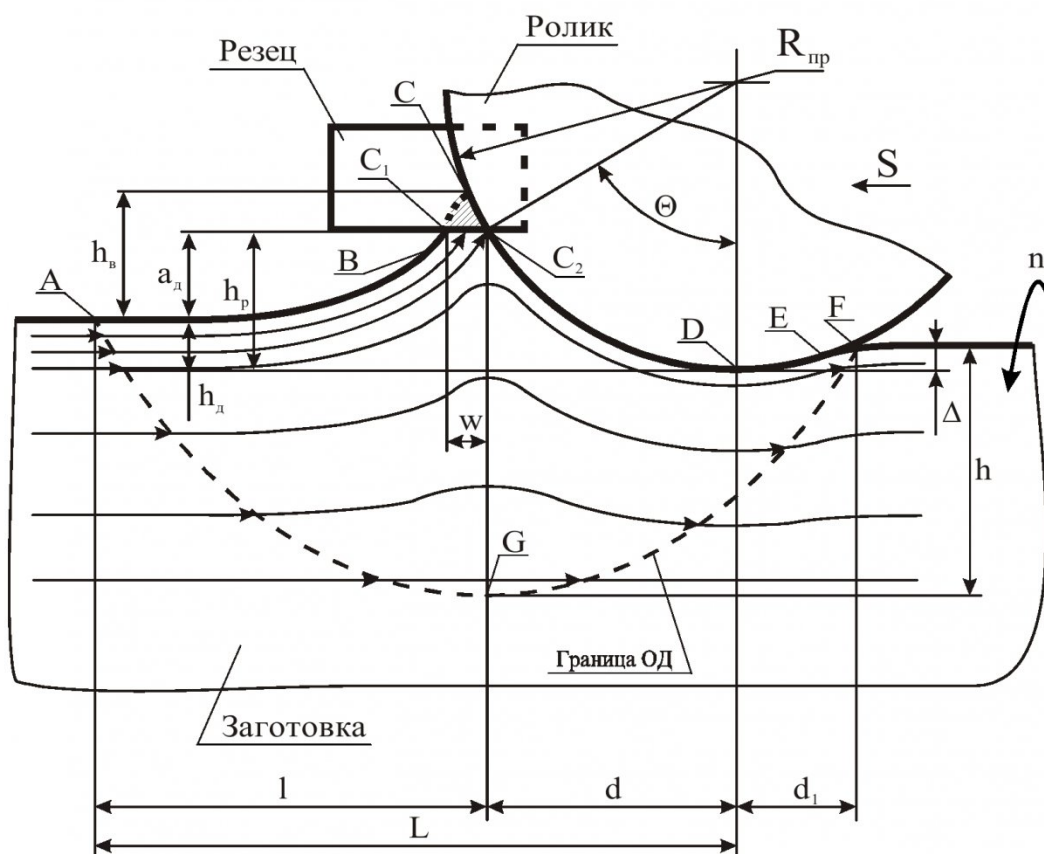


Рис. 1. Схема очага деформации при обработке размерным совмещенным обкатыванием

резцом), L - длина передней зоны очага деформации (включая зону контакта с резцом и горизонтальную проекцию передней дуги контакта ролика с заготовкой), Δ - высота упруго-пластического восстановления металла за деформирующим инструментом, w - ширина среза пластической волны (длина зоны контакта с резцом), Θ - угол вдавливания деформирующего инструмента, h - глубина упрочнения поверхностного слоя, AC_1C_2DEFG - характерные точки, описывающие границы очага деформации (табл. 3).

Исследования возможностей способа РСО, проведенные на базе положений механики технологического наследования, позволили:

- раскрыть физические закономерности и разработать модель формирования свойств поверхностного слоя с учетом явления технологического наследования [2];

- разработать расчетно-аналитическую модель формирования остаточных напряжений [2];

- разработать расчетно-аналитическую модель механического состояния поверхностного слоя упрочненной детали РСО на стадии циклической долговечности (ЦД) [3];

- установить влияние режимов на накопление деформации и исчерпание запаса пластичности металла поверхностного слоя [4];

- определить взаимосвязь распределения компонент тензора остаточных напряжений с технологическими режимами обработки РСО [4];

- выявить наследственные взаимосвязи механического состояния поверхностного слоя на стадии циклической долговечности с режимами упрочняющей обработки РСО [5].

Использование разработанных моделей, выявленных закономерностей и взаимосвязей позволяет определить параметры качества, накопленные параметры механического состояния ПС и циклическую долговечность упрочненных РСО деталей.

Однако решение задач управления накоплением деформаций, исчерпанием запаса пластичности металла, формированием тензора остаточных напряжений поверхностного слоя детали и назначения оптимальных режимов обработки, обеспечивающих требуемое качество ПС и ЦД детали, требует разработки расчетного алгоритма и автоматизации расчетных процедур.

С этой целью был разработан алгоритм расчета параметров обработки РСО, реализованный в виде программы для ЭВМ и позволяющий решать как прямую, так и обратную задачи [6-9].

Решение прямой задачи позволяет по заданным значениям параметров режима рассчитать параметры качества, накопленные параметры механического состояния поверхностного слоя, а также циклическую долговечность детали в условиях приложения усталостных нагрузок.

Решение обратной задачи позволяет по заданным значениям параметров механического состояния назначить оптимальные параметры режи-

ма обработки, обеспечивающие необходимое качество поверхности и долговечность детали.

Используемые в расчетах параметры разделены на 5 групп.

1. Технологические параметры режима обработки РСО.

2. Геометрические параметры очага деформации, возникающего при обработке.

3. Параметры механического состояния металла поверхностного слоя.

4. Параметры качества поверхностного слоя.

5. Параметры циклической долговечности.

При решении прямой задачи исходными данными являются технологические параметры режима обработки, а также механические свойства материала детали.

Предположим, что осуществляется обработка РСО предварительно обработанной резанием до $\varnothing 45,6$ мм заготовки из *стали 45 (160-180 HV)* ГОСТ 1050-88 при следующих значениях технологических факторов: $D_p = 50$ мм; $n = 500$ об/мин; $S = 0,1$ мм/об; $R_{np} = 3$ мм; $h_d = 0,3$ мм; $a_d = 0,1$ мм.

Расчет выполнялся в следующей последовательности.

1. Определили расчетный натяг ролика:

$$h_p = h_d + a_d = 0,4 \text{ мм.}$$

2. Рассчитали скорость обработки:

$$V = \frac{\pi \cdot D_d \cdot n}{1000} = 70,68 \text{ м/мин.}$$

3. Рассчитали осевую и радиальную составляющие силы обработки [10-12]:

$$P_x = 0,84 \cdot HV_0 + 190 \cdot h_d = 200 \text{ кгс} = 2 \text{ кН,}$$

$$P_y = 4,5 \cdot HV_0 + 2500 \cdot h_d - 580 = 935 \text{ кгс} =$$

$$9,35 \text{ кН.}$$

4. Используя результаты работ [10-12], определили жесткость системы СПИД в направлениях осей системы координат (j_x, j_y, j_z Н/мм), а затем, величину упругого отжатия накатной установки в

радиальном направлении: $\Delta_y = \frac{P_y}{j_y}$ мм. Это в

свою очередь позволило рассчитать заданную величину натяга ролика: $h_z = h_d + \Delta_y$ мм.

Далее были рассчитаны геометрические параметры очага деформации:

5. Величина упруго-пластического восстановления металла за роликом:

$$\Delta = 0,025 \cdot (\sqrt{R_{np} \cdot h_p} - 1)^2 + 0,04$$

$$= 0,0402 \text{ мм.}$$

6. Съем металла: $z = h_d - \Delta = 0,26$ мм (номинальный $\varnothing$ детали составил: $D_d = 45,6 - 2 \cdot 0,26 = 45,08$ мм).

7. Длина передней и задней контактных поверхностей очага деформации:

$$d = \sqrt{2 \cdot R_{np} \cdot h_p} = 1,5491 \text{ мм,}$$

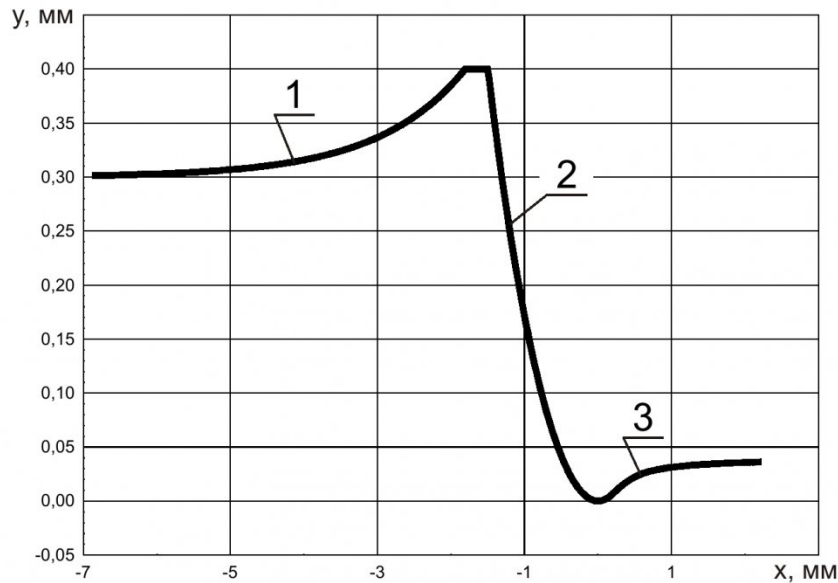


Рис. 2. Профиль очага деформации: (1 - передняя внеконтактная поверхность, 2 - поверхность контакта с роликом, 3 - задняя внеконтактная поверхность)

$$d_1 = \sqrt{2 \cdot R_{np} \cdot \Delta} = 0,4912 \text{ мм.}$$

8. Ширина среза пластической волны:

$$w = 0,103 \cdot \frac{h_d}{a_d} + 0,456 = 0,765 \text{ мм.}$$

9. Длина передней внеконтактной поверхности:

$$l = w + \sqrt{230 \cdot a_d} + 1,558 \cdot S = 5,716 \text{ мм.}$$

10. Длина передней поверхности: $L = l + d = 7,266 \text{ мм.}$

11. Используя установленные взаимосвязи, выполнили построение профиля очага деформации (рис. 2): передней внеконтактной поверхности (участок 1), поверхности контакта с роликом (участок 2) и задней внеконтактной поверхности (участок 3).

Параметры качества обработанной поверхности составили -

$$12. \text{ Степень упрочнения: } \delta = \sqrt{\frac{2 \cdot h_p}{R_{np}}} =$$

$$0,5164 = 51,64\%.$$

13. Глубина упрочненного слоя:

$$h = 3 \cdot \sqrt{R_{np} \cdot h_p} = 3,286 \text{ мм.}$$

14. Шероховатость обработанной поверхности: $Ra = 90 \cdot \sqrt{h_p} \cdot \Delta^2 = 0,092 \text{ мкм.}$

15. Твердость обработанной поверхности: $HV_n = HV_0(\delta + 1) = 258.$

16. Температура поверхности при обработке без учета влияния СОТС составила [13]:

Таблица 1. Координаты характерных точек компонент тензора остаточных напряжений

	Компонент σ_x	Компонент σ_y	Компонент σ_{xy}
Напряжения на поверхности детали σ_A , МПа	-141,3	8,68	-10,75
Напряжения в первом экстремуме σ_B , МПа	-260,0	-49,83	-66,22
Глубина расположения первого экстремума напряжений $h\sigma_B$, мм	-2,15	-4,56	-1,39
Глубина распространения сжимающих напряжений $h\sigma_0$, мм	-5,65	-6,78	-3,54
Напряжения во втором экстремуме σ_D , МПа	208,7	63,4	39,54
Глубина расположения второго экстремума напряжений $h\sigma_D$, мм	-8,74	-11,35	-10,86
Глубина расположения условной точки затухания напряжений $h\sigma_E$, мм	-21,72	-24,07	-22,96

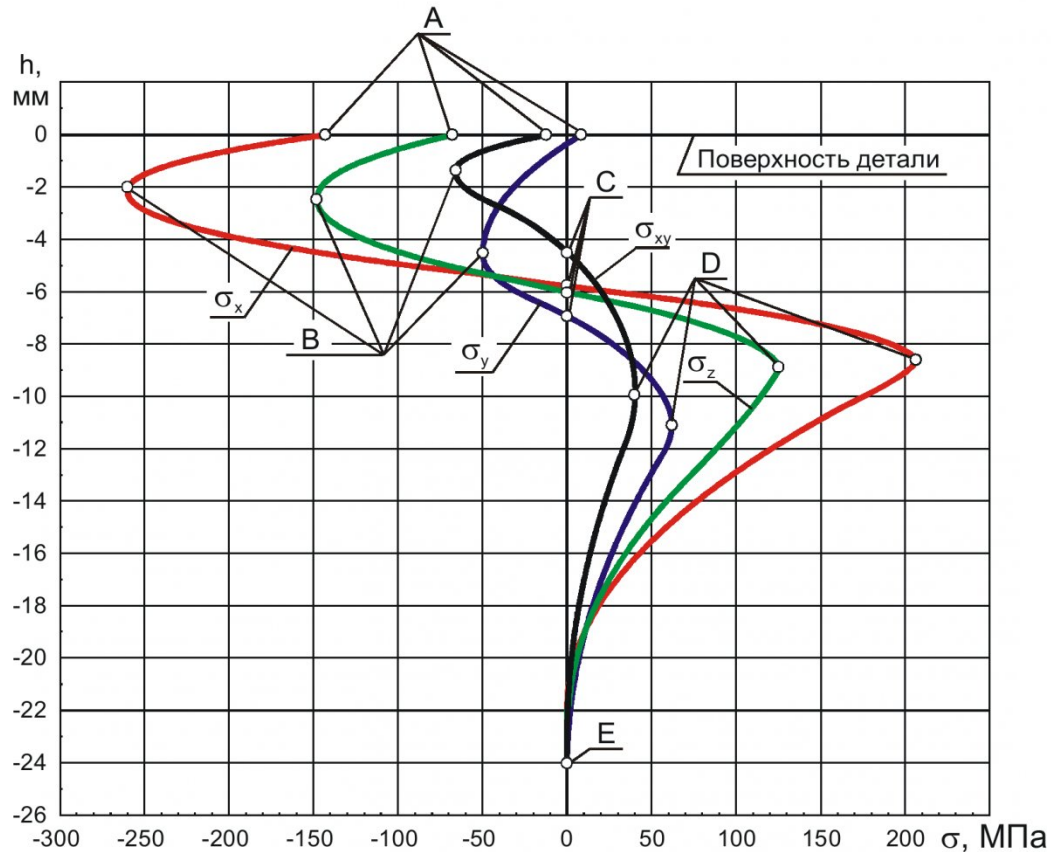


Рис. 3. Характерные точки и распределение компонент тензора ОН по глубине поверхностного слоя

$$t = h_p \cdot (279 - 18,4 \cdot R_{np}) - 3,6 \cdot R_{np} + 78,8 = 158^{\circ}\text{C}.$$

17. Исходя из результатов экспериментальных исследований, представленных в работе [13], назначили СОТС Эмульсол СП-3 (ГОСТ 5702-75). Температура поверхности с учетом выбранной СОТС составила $t = 120^{\circ}\text{C}$.

Далее, используя результаты работ [2, 4] рассчитали параметры механического состояния металла:

18. Степень деформации сдвига, накопленную при обработке: $\Lambda_{PCO} = 2,547$.

19. Степень истощения запаса пластичности: $\Psi_{PCO} = 0,47$.

20. Определили координаты характерных точек компонент тензора остаточных напряжений и построили распределения компонент по глубине поверхностного слоя (рис. 3, табл. 1).

Выполнили расчеты параметров стадии циклической долговечности:

21. Используя результаты работ [3,5], определили величину степени деформации сдвига, накопленной на стадии ЦД: $\Delta\Lambda_{ЦД} = 1,738$.

22. Определили глубину зарождения усталостной трещины:

$$h_{mp} = 0,002 \cdot \exp(3,7 \cdot \Delta\Lambda_{ЦД}) = 1,241 \text{ мм}.$$

23. Рассчитали суммарную степень упрочнения поверхностного слоя, соответствующую моменту зарождения усталостной трещины:

$$\delta_{ЦД} = 1,5 + 0,042 \cdot \Delta\Lambda_{ЦД} = 1,573.$$

24. Рассчитали длительность стадии ЦД:

$$N_{ЦД} = (4,02 \cdot 10^{-11}) \cdot \exp(16,16 \cdot \delta_{ЦД}) = 4,404 \text{ млн. циклов}.$$

В качестве исходных данных при решении обратной задачи выступают значения параметров качества, механического состояния и циклической долговечности детали, которые технолог ожидает получить после обработки PCO.

Например, имея предварительно обработанную резанием до $\varnothing 45,5 \text{ мм}$ заготовку из стали 45 (160-180 HV) ГОСТ 1050-88, необходимо получить деталь номинальным диаметром $D_0 = 45 \text{ мм}$, имеющую следующие параметры качества:

- глубину упрочнения, $h = 4 \text{ мм}$;
- степень упрочнения, $\delta = 0,5$;
- шероховатость обработанной поверхности, $Ra = 0,1..0,12 \text{ мкм}$;

- циклическую долговечность не менее $N_{ЦД} = 3 \text{ млн. циклов}$, при амплитуде напряжений от внешней нагрузки многоциклового усталостного нагружения $\sigma_a = 280 \text{ МПа}$, исходя из следующих

технологических условий:

- диаметр ролика, $D_p = 50$ мм;
- подача, $S = 0,1$ мм/об;
- частота вращения детали, $n = 500$ об/мин.

По представленным параметрам определили:

1. Твердость обработанной поверхности:
 $HV_n = HV_0(\delta + 1) = 255$.

Преобразовав расчетные формулы глубины h и степени δ упрочнения поверхностного слоя и решив систему уравнений, рассчитали:

2. Расчетный натяг ролика:

$$h_p = \frac{0,5 \cdot 4}{\sqrt{18}} = 0,471 \text{ мм.}$$

3. Профильный радиус ролика:

$$R_{np} = \frac{4 \cdot \sqrt{2}}{3 \cdot 0,5} = 3,77 \text{ мм.}$$

Далее рассчитали:

4. Скорость обработки:

$$V = \frac{\pi \cdot D_o \cdot n}{1000} = 70,68 \text{ м/мин.}$$

5. Величину упруго-пластического восстановления металла за роликом:

$$\Delta = 0,025 \cdot (\sqrt{R_{np} \cdot h_p} - 1)^2 + 0,04 = 0,043 \text{ мм.}$$

6. Необходимый съем металла:
 $z = \frac{(45,5 - 45)}{2} = 0,25 \text{ мм.}$

7. Действительный натяг ролика:
 $h_o = z + \Delta = 0,0293 \text{ мм.}$ Для дальнейших расчетов было принято $h_o = 0,03 \text{ мм.}$

8. Действительный зазор резца: $a_o = h_p - h_o = 0,171 \text{ мм.}$

9. Составляющие силы обработки [10-12]:

$$P_x = 0,84 \cdot HV_0 + 190 \cdot h_o = 200 \text{ кгс} = 2 \text{ кН,}$$

$$P_y = 4,5 \cdot HV_0 + 2500 \cdot h_o - 580 = 935 \text{ кгс} = 9,35 \text{ кН.}$$

10. Как и при решении прямой задачи, используя результаты работ [10-12], определили жесткость системы СПИД в направлениях осей системы координат (j_x, j_y, j_z , Н/мм), а затем, величину упругого отжатия накатной установки в радиальном направлении: $\Delta_y = \frac{P_y}{j_y}$ мм, что, в свою очередь, позволило рассчитать заданную величину натяга ролика: $h_z = h_o + \Delta_y$ мм.

Далее провели расчет геометрических параметров очага деформации:

11. Длины передней и задней контактных поверхностей ролика соответственно:

$$d = \sqrt{2 \cdot R_{np} \cdot h_p} = 1,88 \text{ мм,}$$

$$d_1 = \sqrt{2 \cdot R_{np} \cdot \Delta} = 0,57 \text{ мм.}$$

12. Ширины среза пластической волны:

$$w = 0,103 \cdot \frac{h_o}{a_o} + 0,456 = 0,636 \text{ мм.}$$

13. Длины передней внеконтактной поверхности: $l = w + \sqrt{230 \cdot a_o} + 1,558 \cdot S = 7,07 \text{ мм.}$

14. Длины передней поверхности $L = l + d = 8,954 \text{ мм.}$

15. Построение профиля очага деформации выполнили аналогичным решением прямой задачи способом.

16. Провели проверку шероховатости обработанной поверхности:

$$Ra = 90 \cdot \sqrt{h_p} \cdot \Delta^2 = 0,113 \text{ мкм.}$$

Определили, что значение шероховатости удовлетворяет условиям, поставленным в задаче.

17. Температура поверхности при обработке

Таблица 2. Координаты характерных точек компонент тензора остаточных напряжений

	Компонент σ_x	Компонент σ_y	Компонент σ_{xy}
Напряжения на поверхности детали σ_A , МПа	-176,8	7,6	-14,1
Напряжения в первом экстремуме σ_B , МПа	-283,7	-68,6	-83,3
Глубина расположения первого экстремума напряжений $h\sigma_B$, мм	-2,4	-4,56	-1,39
Глубина распространения сжимающих напряжений $h\sigma_0$, мм	-6,2	-10,0	-3,6
Напряжения во втором экстремуме σ_D , МПа	218,0	57,2	39,5
Глубина расположения второго экстремума напряжений $h\sigma_D$, мм	-9,4	-12,57	-10,86
Глубина расположения условной точки затухания напряжений $h\sigma_E$, мм	-22,7	-24,96	-22,96

без учета влияния СОТС составила [13]:

$$t = h_p \cdot (279 - 18,4 \cdot R_{np}) - 3,6 \cdot R_{np} + 78,8 = 164^\circ \text{C}.$$

18. Исходя из результатов экспериментальных исследований, представленных в работе [13], назначили СОТС Эмульсол СП-3 (ГОСТ 5702-75). Температура поверхности с учетом выбранной СОТС составила $t = 123^\circ \text{C}$.

Далее, используя результаты работ [2,4] рассчитали параметры механического состояния металла:

19. Степень деформации сдвига, накопленную при обработке: $\Lambda_{PCO} = 3,959$.

20. Степень истощения запаса пластичности: $\Psi_{PCO} = 0,822$.

21. Аналогично решению прямой задачи, определили координаты характерных точек компонент тензора остаточных напряжений и построили распределения компонент по глубине поверхностного слоя (табл. 2).

Выполнили расчеты параметров стадии циклической долговечности:

22. Используя результаты работ [3,5], определили величину степени деформации сдвига, накопленной на стадии ЦД: $\Delta\Lambda_{ЦД} = 1,511$.

23. Определили глубину зарождения усталостной трещины:

$$h_{mp} = 0,002 \cdot \exp(3,7 \cdot \Delta\Lambda_{ЦД}) = 0,536 \text{ мм}.$$

24. Рассчитали суммарную степень упрочнения поверхностного слоя, соответствующую моменту зарождения усталостной трещины:

$$\delta_{ЦД} = 1,5 + 0,042 \cdot \Delta\Lambda_{ЦД} = 1,563.$$

25. Рассчитали длительность стадии ЦД:

$$N_{ЦД} = (4,02 \cdot 10^{-11}) \cdot \exp(16,16 \cdot \delta_{ЦД}) =$$

3,776 млн. циклов.

Поскольку полученные значения h , δ , Ra и $N_{ЦД}$ находятся в пределах заданных требований, повторный расчет и корректировка параметров не требуется. В противном случае необходима корректировка условий хотя бы по одному из параметров качества (h , δ , Ra или $N_{ЦД}$). В первую очередь для корректировки должен быть выбран параметр, значение которого может быть изменено без изменения исходных условий обратной задачи. В случае необходимости изменения исходных данных, выбор того или иного параметра качества для смягчения условий производится исходя из того, какой из указанных параметров является наименее важным для условий эксплуатации детали.

Разработанный подход может быть использован для решения задач обеспечения ЦД других металлов.

Как было отмечено выше, для решения задачи расчета параметров при обработке нового металла необходимы начальные и граничные условия в виде очага деформации, кривой течения и диа-

граммы пластичности. Профиль очага деформации может быть получен моделированием, либо в результате проведения краткосрочного эксперимента, при этом уже существует база данных с результатами расчетов для сталей ШХ15, 40Х, 18ХГТ, 12Х18Н10Т, а кривая течения и диаграмма пластичности для большинства материалов являются справочной информацией [14].

Анализ показал, что достаточным для корректировки расчетного аппарата и учета свойств нового материала является создание и решение 3-5 конечно-элементных моделей механического состояния и остаточных напряжений при обработке с различными параметрами режима.

На основе представленного алгоритма на языке Delphi 7 разработана программа для ЭВМ «Расчет наследуемых параметров процесса размерного совмещенного обкатывания», позволяющая моделировать процесс РСО и расчетным путем назначать

Рациональные режимы обработки [15]. Программа прошла официальную регистрацию и включена в реестр программ для ЭВМ Российского агентства по патентам и товарным знакам [9].

Программа позволяет производить расчет наследуемых технологических и физико-механических параметров процесса размерного совмещенного обкатывания (РСО) тремя способами (рис. 4):

1. Практический способ. Расчет по экспериментально полученному геометрическому профилю очага деформации. Профиль ОД может быть получен с помощью программы обработки профилеграмм ОД [16].

Таким образом, исходной информацией в данном случае является либо совокупность значений координат опытных точек, которые формируют очаг деформации, либо графический файл профиля ОД, представленный в черно-белом формате.

2. Аналитический способ. Исходными данными являются технологические параметры режима обработки способом РСО [17].

3. Обратный аналитический способ. Исходными данными являются значения шероховатости, глубины и степени упрочнения поверхностного слоя, циклической долговечности детали, которые пользователь (технолог) желает получить посредством упрочняющей обработки РСО, а также набор технологических факторов-ограничений.

Для выбора способа расчета необходимо нажать на соответствующую цифру в секции «Способы расчета». Выбор определяется имеющимися исходными данными (поз. 1, рис. 5).

Исходные данные, необходимые для выбранного способа расчета, представлены на рис. 4, а в главном меню белыми полями (поз. 2, рис. 5). Ячейку с номером расчета/профилеграммы «№ проф.» и маркой стали можно оставить незаполненными, достаточно лишь задать исходную твер-

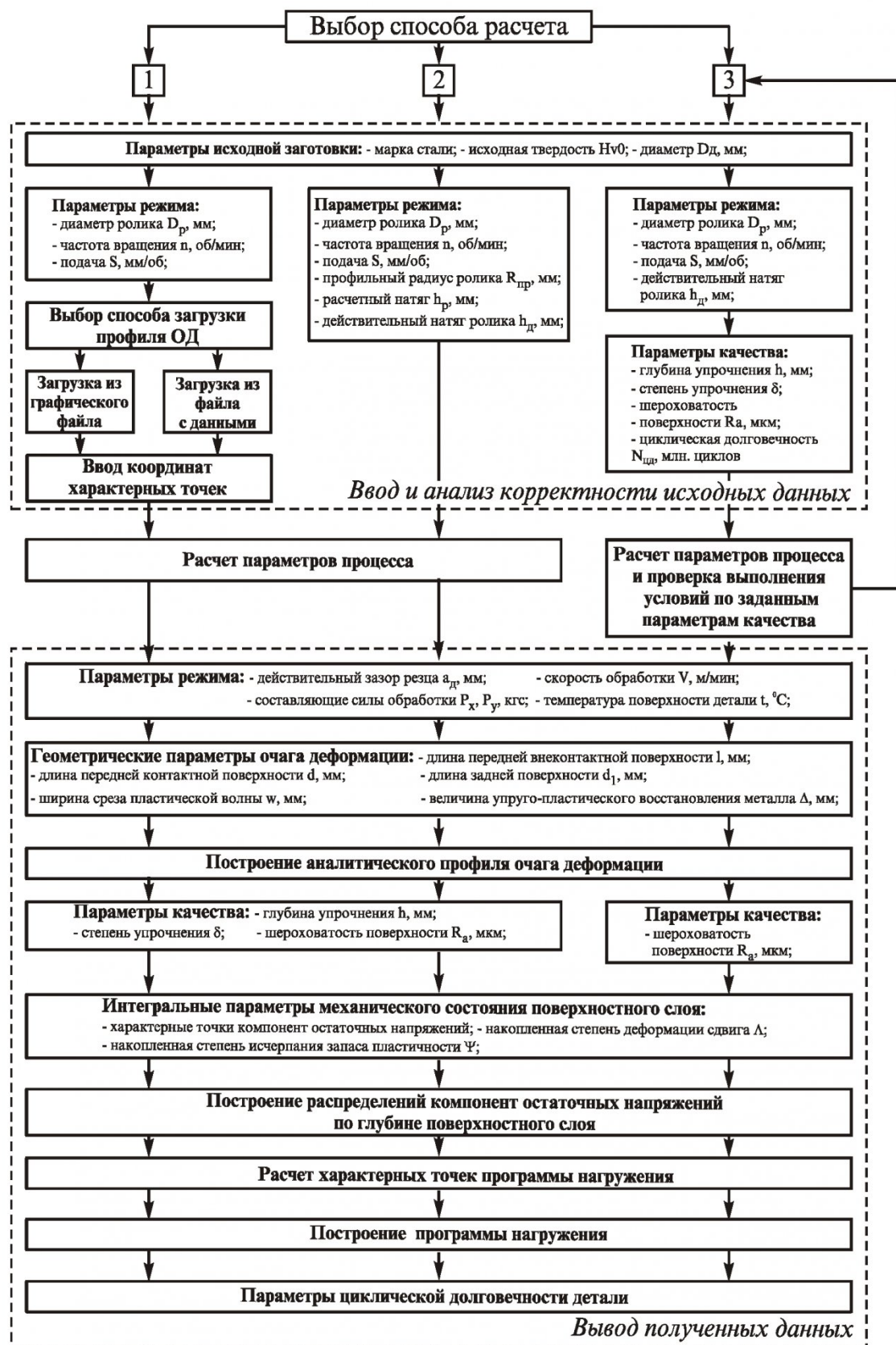


Рис. 4. Схема программы расчета параметров PCO

дость металла в единицах по Виккерсу.

В процессе работы, на основе известных па-

раметров, программа рассчитывает остальные параметры процесса PCO и строит графическое изо-

бражение профиля ОД. Затем осуществляется построение распределений компонент остаточных напряжений и программы нагружения для данного режима обработки. Существует возможность сохранения рассчитанных параметров в файл отчета текстового формата (поз. 3, рис. 5), а полученных распределений в текстовые файлы с координатами точек (поз. 3, рис. 6 и поз.1, рис. 8).

При расчете по экспериментальному профилю очага деформации (1-й способ), для задания профиля очага деформации используется секция «Работа с файлами профиля ОД» (поз. 4, рис. 5), остальные исходные данные задаются в секции «Параметры режима обработки» (поз. 5, рис. 5). Профиль очага деформации может быть считан из графического файла распространенных форматов (например *.bmp, *.emf, *.wmf и т.д.). Файл обязательно должен быть черно-белым, для его открытия следует нажать кнопку «Открыть...» (поз. 6, рис. 5). После выбора графического файла необходимо ввести значения:

1. Горизонтального и вертикального увеличения профилограммы («ГУ» и «ВУ»).
2. Шага чтения профилограммы в миллиметрах.
3. Разрешения, выраженного в количестве точек на дюйм изображения.
4. Величины съема металла z в миллиметрах, которая определяется как разность значений действительного натяга и величины упруго-

пластического восстановления металла за роликом.

После этого следует нажать «Загрузить...» (поз. 7, рис. 5).

В случае, если файл с численными значениями координат точек ОД уже имеется, для задания профиля ОД, вместо всех вышеперечисленных действий необходимо:

1. Нажать кнопку «Открыть...» (поз. 8, рис. 5) и выбрать необходимый файл.
2. Нажать кнопку «Загрузить...» (поз. 9, рис. 5).

После загрузки корректной информации из графического файла, либо файла с данными, во вкладке «Профиль очага деформации» программы появляется графическое изображение профиля ОД (поз. 1, рис. 6).

Для указания границ зон очага деформации на изображении профиля ОД необходимо задать координаты абсцисс 5-и характерных точек - AC_1C_2EF (табл. 3). Их расположение соответствует переходам между различными зонами очага деформации и используется программой в качестве точек смены аппроксимирующей функции.

Для выбора на представленном графике ОД левой клавишей мыши последовательно указываются соответствующие точки. При этом текущие координаты отображаются в правом верхнем углу окна. В случае неверного выбора имеется возможность повторно выбрать точки, нажав клавишу

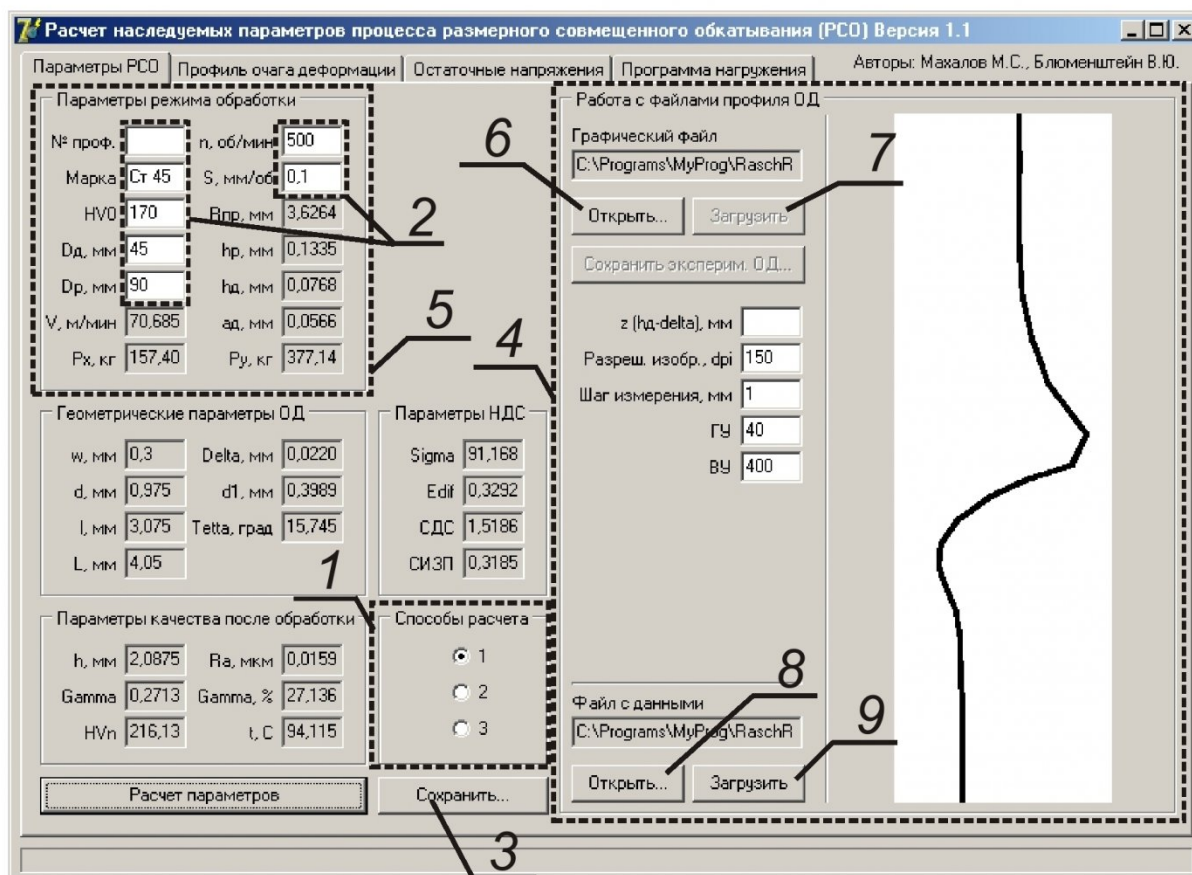


Рис. 5. Главное меню программы. Выбор способа расчета и ввод исходных данных

«Сброс значений» (рис. 6). После корректного выбора координат следует запустить расчет параметров, нажатием одноименной кнопки. В процессе прямого расчета параметров 1-ым способом программа формирует аппроксимированный профиль очага деформации (поз. 2, рис. 6).

метров», при условии корректности введенных данных, осуществляется решение либо прямой (2-й способ) (рис. 7, а), либо обратной (3-й способ) (рис. 7, б) задачи.

Наряду с расчетами в обоих случаях осуществ-

Таблица 3

Характерные точки очага деформации		
№ точки	Обозначение	Описание
1	<i>A</i>	Точка зарождения пластической волны
2	<i>C₁</i>	Точка перехода передней внеконтактной в поверхность контакта с резцом
3	<i>C₂</i>	Точка перехода поверхности контакта с резцом в поверхность контакта с роликом
4	<i>D</i>	Точка перехода передней поверхности контакта с роликом в заднюю
5	<i>E</i>	Точка перехода поверхности контакта с роликом в заднюю внеконтактную поверхность
6	<i>F</i>	Точка окончания упруго-пластического восстановления металла
7	<i>G</i>	Точка экстремума границы очага деформации

При расчете по технологическим параметрам режима обработки (2-й способ) или при расчете по параметрам качества поверхностного слоя (3-й способ) задание исходных параметров осуществляется посредством ввода значений в соответствующие окна. По нажатию кнопки «Расчет пара-

вляется построение аналитического профиля ОД (поз. 2, рис. 6), осуществляется расчет координат характерных точек и построение распределения компонент тензора остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя (рис. 8). В этом же разделе программа индицирует глубины располо-

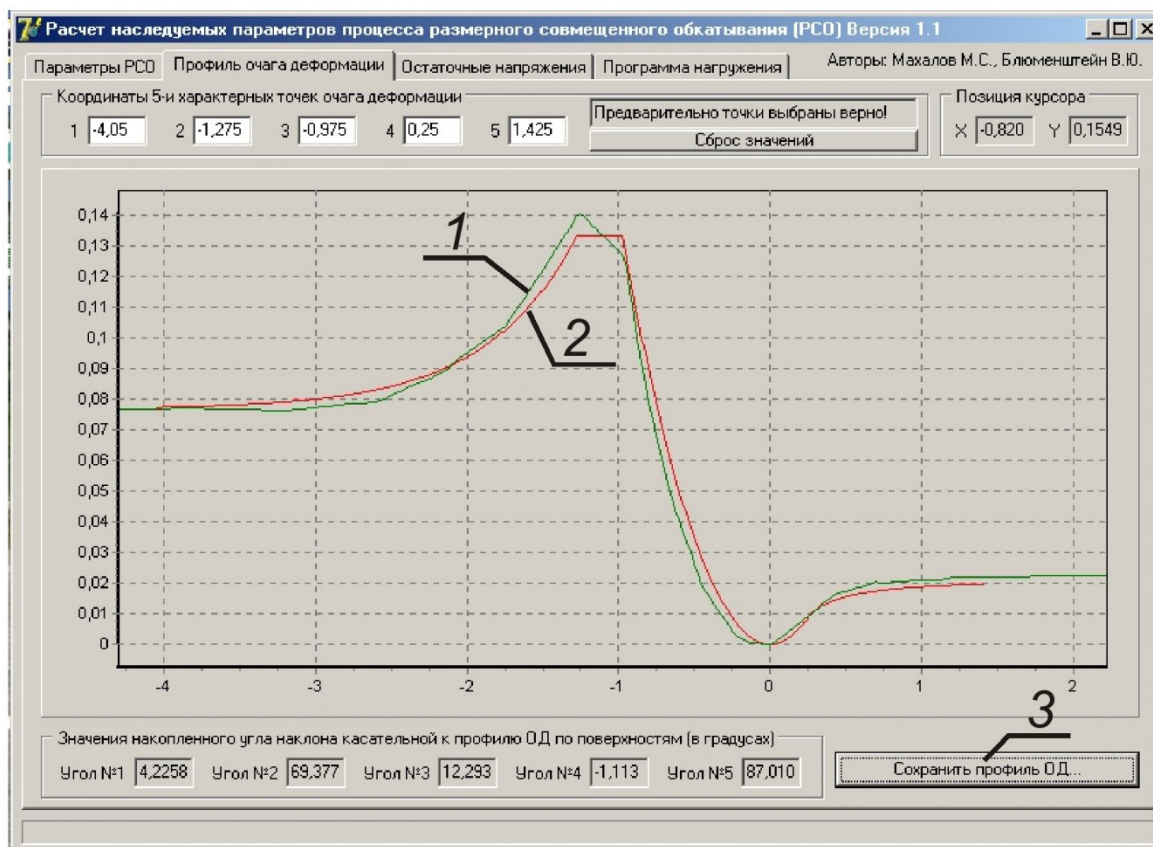


Рис. 6. Аппроксимированный профиль ОД

Расчет наследуемых параметров процесса размерного совмещения

Параметры PCO | Профиль очага деформации | Остаточные напряжения

Параметры режима обработки

№ проф.		n, об/мин	500
Марка	Ст 45	S, мм/об	0,1
HV0	170	Rпр, мм	3
Дд, мм	45	hр, мм	0,4
Др, мм	90	hd, мм	0,3
V, м/мин	70,685	ад, мм	0,1
Px, кг	199,8	Py, кг	935

Геометрические параметры ОД

w, мм	0,309	Delta, мм	0,0402
d, мм	1,5491	d1, мм	0,4912
l, мм	5,7862	Tetta, град	31,090
L, мм	7,3354		

Параметры НДС

Sigma	93,939
Edif	0,3606
СДС	2,5476
СИЗП	0,4708

Параметры качества после обработки

h, мм	3,2863	Ra, мкм	0,0921
Gamma	0,5163	Gamma, %	51,639
HVh	257,78	t, C	157,6

Способы расчета

☐ 1
☒ 2
☐ 3

Расчет параметров Сохранить...

Расчет наследуемых параметров процесса размерного совмещения

Параметры PCO | Профиль очага деформации | Остаточные напряжения

Параметры режима обработки

№ проф.		n, об/мин	500
Марка	Ст 45	S, мм/об	0,1
HV0	170	Rпр, мм	3,7712
Дд, мм	45	hр, мм	0,4714
Др, мм	90	hd, мм	0,3
V, м/мин	70,685	ад, мм	0,1714
Px, кг	199,8	Py, кг	935

Геометрические параметры ОД

w, мм	0,1802	Delta, мм	0,0427
d, мм	1,8856	d1, мм	0,5680
l, мм	7,3511	Tetta, град	30,000
L, мм	9,2367		

Параметры НДС

Sigma	96,277
Edif	0,3920
СДС	3,9592
СИЗП	0,8218

Параметры качества после обработки

h, мм	4	Ra, мкм	0,1130
Gamma	0,5	Gamma, %	50
HVh	255	t, C	164,12

Способы расчета

☐ 1
☐ 2
☒ 3

Расчет параметров Сохранить...

Рис. 7. Результаты расчета параметров PCO: а) 2-ым способом, б) 3-им способом

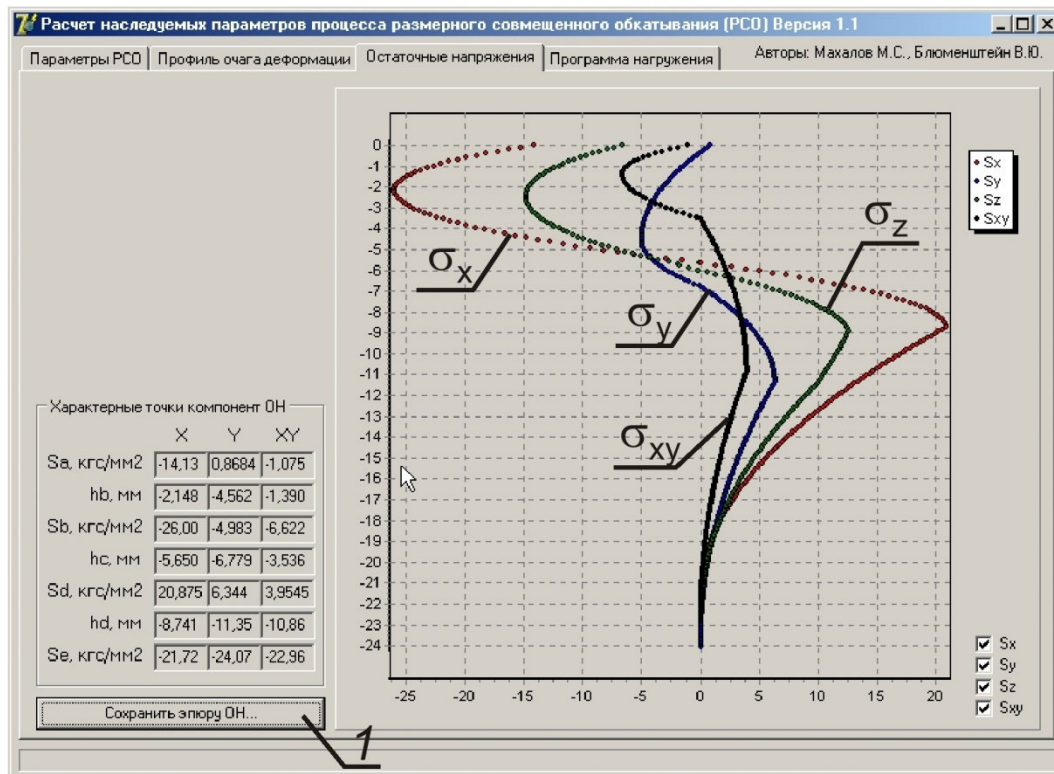


Рис. 8. Распределение компонент тензора ОН по глубине ПС

жения и значения напряжений в характерных точках эпюр ОН.

По результатам расчета строится программа

нагружения металла, при этом в отдельном разделе также индицируются координаты ее характерных точек (рис. 9).

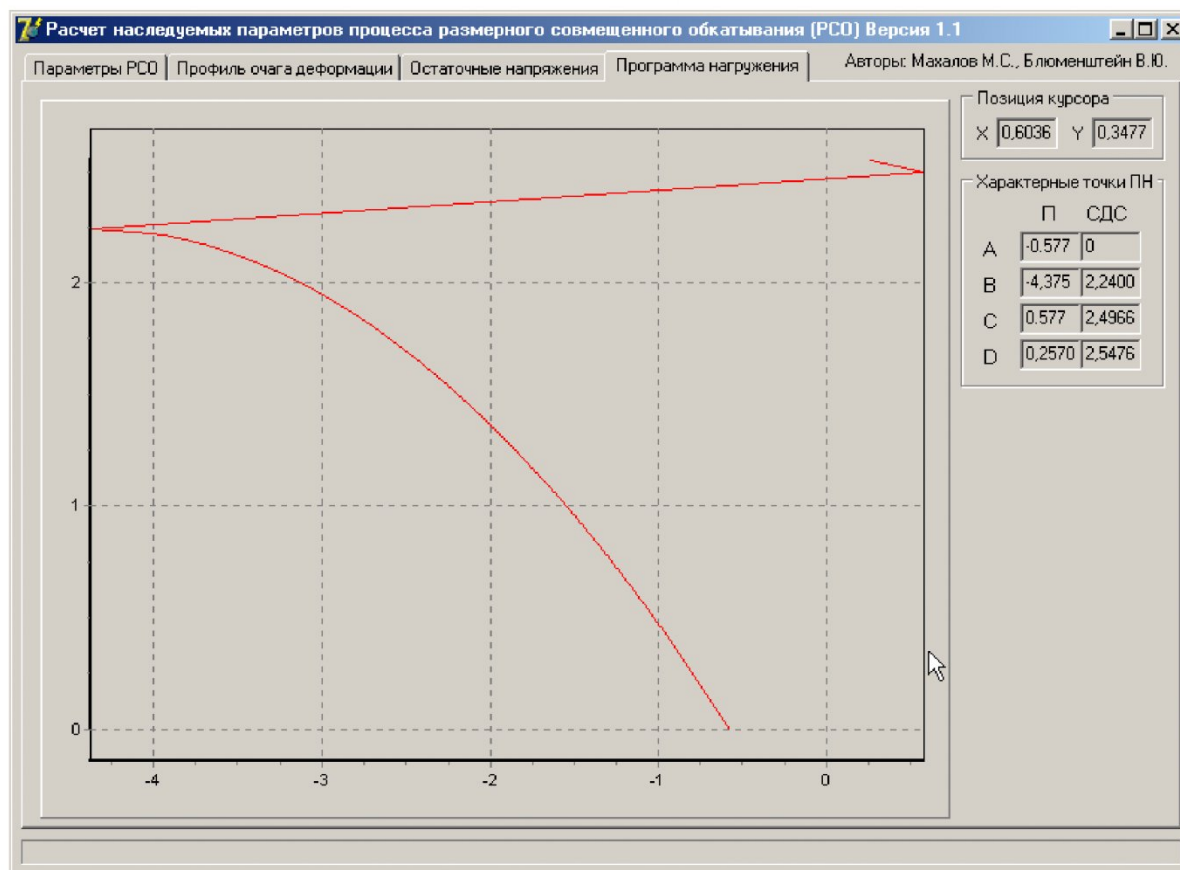


Рис. 9. Построенная по результатам расчета программа нагружения металла

Таким образом, разработанный программный продукт позволяет прогнозировать параметры упрочнения, распределение составляющих тензора остаточных напряжений по глубине упрочненного поверхностного слоя и циклическую долговечность детали в зависимости от технологических режимов обработки PCO.

На взгляд автора, проведение исследований и разработка подобных алгоритмов и программных продуктов применительно к другим методам обработки позволит существенно сократить экспериментальную составляющую при прогнозировании ресурса ответственных деталей, заменив ее расчетной.

Наряду с этим, появится возможность оценить возможности различных методов обработки и выявить их наиболее эффективные режимы.

Работа выполнена под руководством д.т.н. проф. Блюменштейна В.Ю. в рамках работ по проекту «Научные основы технологического наследования наноразмерной дефектной структуры поверхностного слоя в процессах комбинированной упрочняющей обработки, эксплуатации и вос-

становления ответственных деталей машин» аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)», мероприятие 2 «Проведение фундаментальных исследований в области естественных, технических и гуманитарных наук, научно-методическое обеспечение развития инфраструктуры вузовской науки», раздел 2.1 «Проведение фундаментальных исследований в области естественных, технических и гуманитарных наук», подраздел 2.1.2 «Проведение фундаментальных исследований в области технических наук» и проекту «Формирование и трансформация наноструктурного состояния поверхностного слоя при комбинированной упрочняющей обработке и эксплуатации ответственных деталей машин» федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы, мероприятие 1.2.1 «Проведение научных исследований научными группами под руководством докторов наук» направления 1 «Стимулирование закрепления молодежи в сфере науки, образования и высоких технологий».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блюменштейн В. Ю. Очаг деформации при размерном совмещенном обкатывании как основа физических представлений и решения задач механики технологического наследования / В. Ю. Блюмен-

штейн, М. С. Махалов // *Вестник КузГТУ*. - 2004. - № 4. - С. 83-89.

2. Блюменштейн В. Ю. Механика поверхностного слоя при обработке размерным совмещенным обкатыванием / В. Ю. Блюменштейн, М. С. Махалов // *Упрочняющие технологии и покрытия*. - М.: Машиностроение, 2006. - №2(14). - С. 18-27.

3. Блюменштейн В. Ю. Расчетно-аналитическая модель механического состояния поверхностного слоя упрочненной детали на стадии циклического нагружения после обработки размерным совмещенным обкатыванием / В. Ю. Блюменштейн, М. С. Махалов // *Упрочняющие технологии и покрытия*. - 2009. - № 3. - С. 33-39.

4. Блюменштейн В. Ю. Влияние режимов размерного совмещенного обкатывания на механическое состояние поверхностного слоя / В. Ю. Блюменштейн, М. С. Махалов // *Упрочняющие технологии и покрытия*. - М.: Машиностроение, 2006. - № 5(17). - С. 21-29.

5. Блюменштейн В. Ю. Наследственные взаимосвязи механического состояния поверхностного слоя на стадии циклической долговечности с режимами упрочняющей обработки РСО / В. Ю. Блюменштейн, М. С. Махалов // *Упрочняющие технологии и покрытия*. - 2009. - № 4. - С. 6-14.

6. Блюменштейн В. Ю. Управление качеством поверхностного слоя деталей машин на основе применения размерного совмещенного обкатывания / В. Ю. Блюменштейн, М. С. Махалов // *Известия ОрелГТУ*. - 2004. - № 2. - С. 24-28.

7. Махалов М. С. Алгоритм расчета параметров размерного совмещенного обкатывания / М. С. Махалов // *Информационный листок / Кем ЦНТИ*. - Кемерово, 2005. - 3 с.

8. Махалов М. С. Автоматизация проектирования технологии размерного совмещенного обкатывания / М. С. Махалов // *Известия ОрелГТУ. Машиностроение. Приборостроение*. В 2-х т. Т.2. - 2006. - № 3(529) - С. 31-36.

9. Блюменштейн В.Ю., Махалов М.С. Расчет наследуемых параметров процесса размерного совмещенного обкатывания. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005611281 от 31 мая 2005г.

10. Васильев В. А. Исследование основных технологических параметров РСО : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08. - М., 1980. - 229 с.

11. Игнатов В. Б. Исправление исходной погрешности при обработке РСО : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08. - М., 1983. - 276 с.

12. Блюменштейн В. Ю. Исследование качества поверхностного слоя деталей машин после размерного совмещенного обкатывания : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08. - М., 1979. - 254 с.

13. Ныклевич Т. Р. Тепловые явления и качество поверхностного слоя деталей машин при обработке размерным совмещенным обкатыванием : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08. - М., 1983. - 151 с.

14. Блюменштейн В. Ю., Журавлев А. В. База данных технологического наследования (БДТН). Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2002620152 от 17 сентября 2002 г.

15. Delphi 7 / А. Д. Хомоненко [и др.]; под общ. ред. А. Д. Хомоненко. - СПб.: БХВ-петербург, 2004. - 1216 с.: ил.

16. Блюменштейн В. Ю., Махалов М. С., Сусленков С. В. Обработка профилограмм очагов деформации при размерном совмещенном обкатывании и поверхностном пластическом деформировании. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2002611071 от 27 июня 2002 г.

17. Блюменштейн В. Ю., Махалов М. С. Расчет параметров процесса размерного совмещенного обкатывания. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2002611072 от 27 июня 2002 г.

□Автор статьи:

Махалов
Максим Сергеевич
- канд.техн.наук, доц. каф.
«Технология машиностроения».
КузГТУ
Тел. 8-903-907-45-02.