№ 6 *2006*

ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

625.02

АЛГОРИТМ, УПРАВЛЯЮЩИЙ КАЧЕСТВОМ ДРОБЕСТРУЙНОЙ ОБРАБОТКИ

Канд. техн. наук, проф. Г.М. РЫБАКОВ

Описывается новый алгоритм. Алгоритм моделирует изменение пластической деформации в поверхностном слое детали в течение обработки дробью и позволяет получать заданные параметры кривизны металлических панелей.

This paper describes a new algorithm. This algorithm simulates the change in plastic deformation in the surface layer of a part in the process of shot peening, and provides the given parameters of curvature of metal panels. The author is continuously working on perfecting the algorithm.

Применение дробеструйной обработки (ДО) в авиационной промышленности базируется, в основном, на экспериментальных исследованиях. Поэтому фирмы вынуждены повторять исследования в каждом случае, когда меняется материал, конструкция или условия работы детали.

Нами впервые найдены фундаментальные принципы поверхностного пластического деформирования деталей дробеструйной обработкой, основанные на классических законах деформирования. Алгоритм, построенный на этих принципах, дает возможность управлять режимами ДО и получать необходимые параметры качества деталей: выносливость, шероховатость поверхности или конструктивную форму. Возможности алгоритма описаны несколькими ситуациями.

Ситуация 1. Управление кривизной образцов при помощи «предсказывающей функции»

«Предсказывающая функция» использует свойство материала поглощать энергию, подводимую дробью, и преобразовывать ее в деформацию (кривизну) образцов в процессе дробеструйной обработки.

Это свойство используют все современные фирмы для контроля стабильности дробеструйной обработки при помощи контрольных пластин (рис. 1). Прежде, чем применить «предсказывающую функцию», получают два прогиба f_1 и f_2 на контрольных пластинах (рис. 2), предварительно выбирая промежуток времени, за который они получены.

В каждый следующий за этим такой же промежуток времени материал поглощает порцию энергии, которую «предсказывающая функция» использует для определения следующего значения прогиба: $f_3, f_4, \ldots, f_n$. На рис. 2 показано действие алгоритма, снабженного «предсказывающей функцией», которая позволяет, не проводя полного эксперимента, узнавать, как будет меняться кривизна пластин в процессе обработки. Как показано на рис. 2, кривизна пластин, предсказанная алгоритмом, практически совпадает с экспериментом.

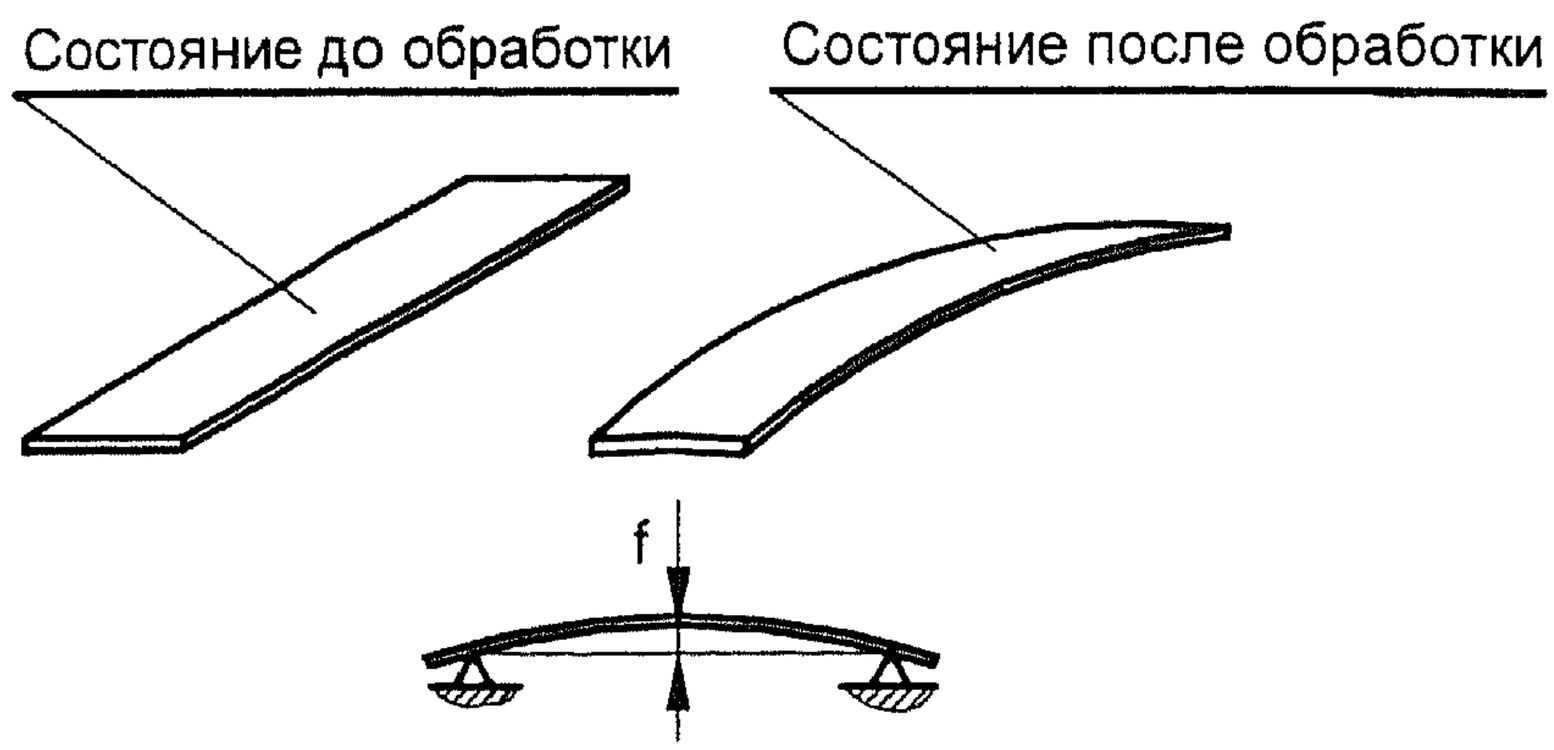


Рис. 1

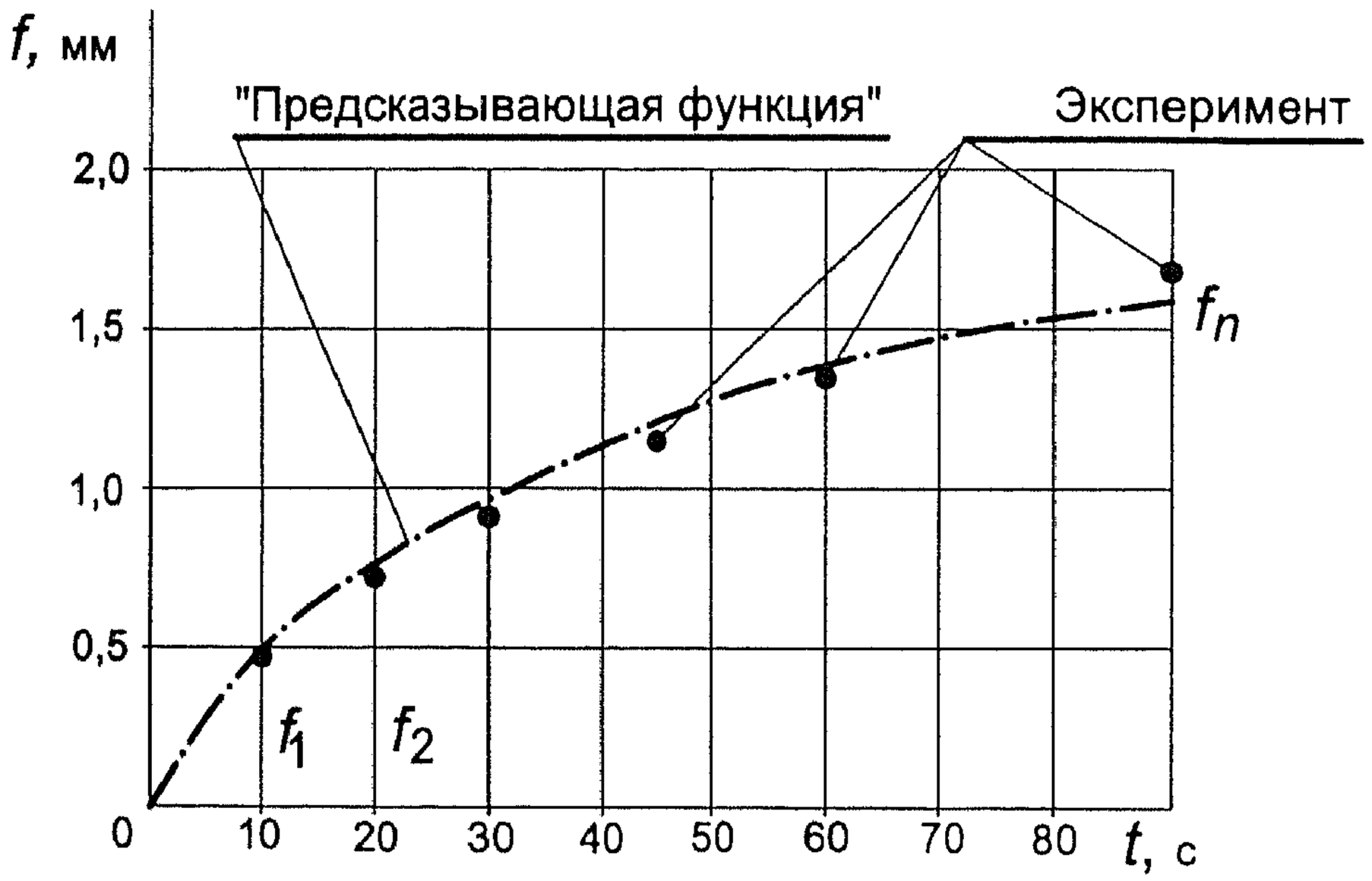


Рис. 2

Ситуация 2. Управление кривизной объектов при варьировании энергетическим уровнем режима дробеструйной обработки

Энергетический уровень режима ДО определяется скоростью дроби, разгоняемой энергоносителем до необходимых значений. Повышенный энергетический уровень увеличивает кривизну пластин при том же времени обработки (экспозиции).

На рис. 3 показана ситуация, при которой энергетический уровень обработки повышен за счет повышения скорости дроби с 54,7 до 62 м/с. Кривизна пластин, рассчитанная алгоритмом и полученная экспериментально на повышенном энергетическом уровне, практически совпадают по всем экспериментальным точкам.

В этой же ситуации алгоритм определяет повышение производительности обработки. Для этого он находит одинаковые прогибы пластин, полученные на различных энергетических уровнях. Прогиб, получаемый на режиме с большим энергетическим уровнем, достигается за меньшее время обработки, что обеспечивает бóльшую производительность.

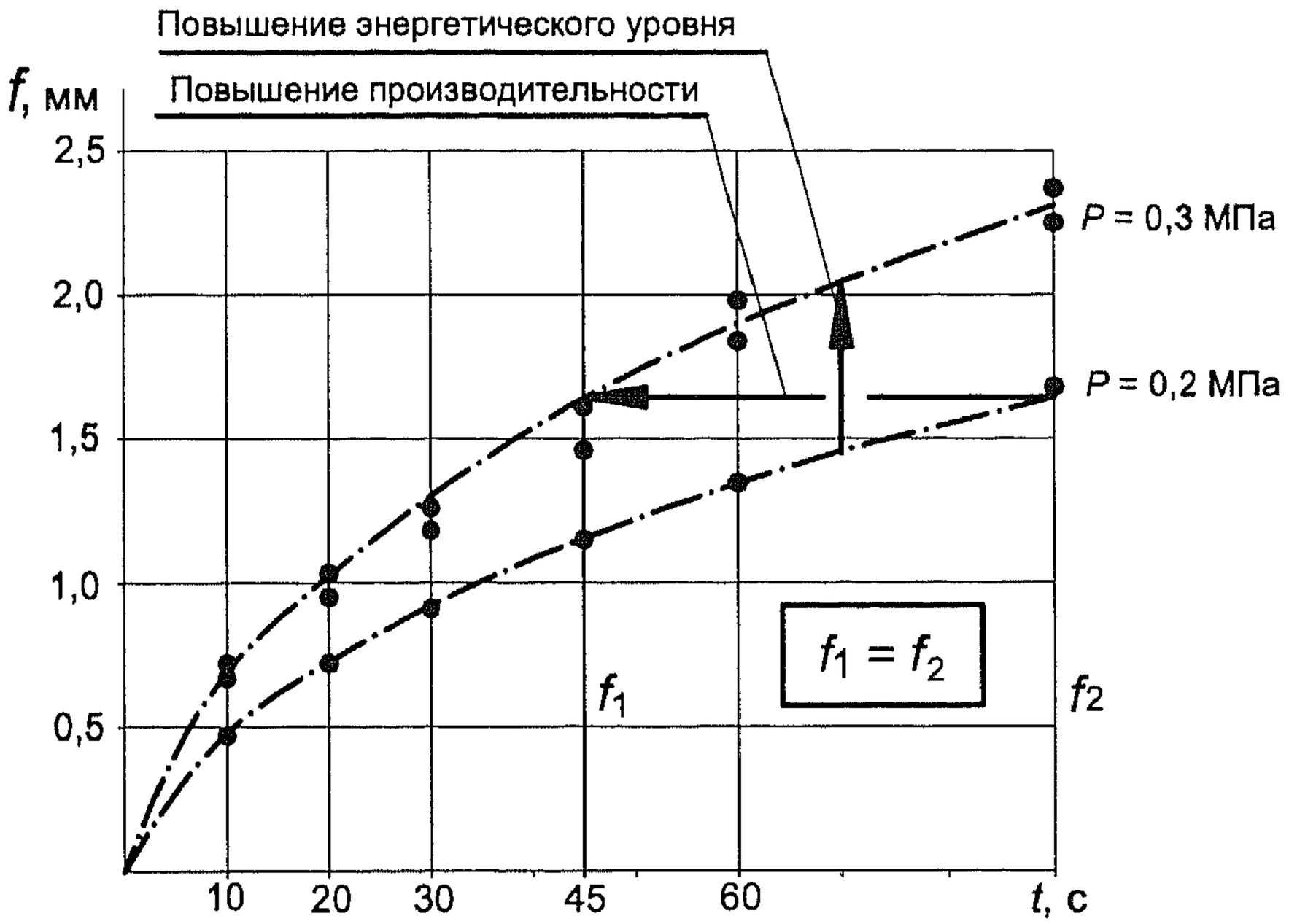


Рис. 3

Варьируя энергетическим уровнем ДО, можно управлять кривизной образцов и панелей, обладающих переменной жесткостью.

Ситуация 3. Определение расчетным путем кривизны образцов, изготовленных из материалов, отличных по физико-механическим свойствам от исходного

Принцип «эталонной кривой» можно применить для определения расчетным путем кривизны образцов, изготовленных из материала, отличного по физико-механическим свойствам от материала образцов, при обработке которых получена «эталонная кривая». Общая зависимость для этой ситуации также выводится из формулы для определения потенциальной энергии изгиба, но для этого случая жесткость учитывается как EJ для каждого из рассматриваемых материалов. Для предложенной ситуации эта зависимость представляется в следующем виде:

$$F_1 = F_2\sqrt{\frac{U_1 E_2 H_2^{\,3}}{U_2 E_1 H_1^{\,3}}}\,. \qquad (1)$$

Эксперимент для подтверждения достоверности полученной зависимости проведен на пластинах, выполненных из материалов ЭП708 и Д16, отличавшихся по размерам только толщиной. Толщина образца, изготовленного из материала Д16, была равна $H = 0{,}86$ мм, а образца из материала ЭП708 — $H = 1{,}378$ мм. Образцы были подвергнуты дробеструйной обработке на одном и том же режиме и одним и тем же видом дроби, чтобы обеспечить присущую для каждого материала поглощаемость энергии. Прогибы пластин измерены по описанной выше методике. По найденным прогибам построены кривые изменения прогибов во времени и проведены расчеты при помощи про-

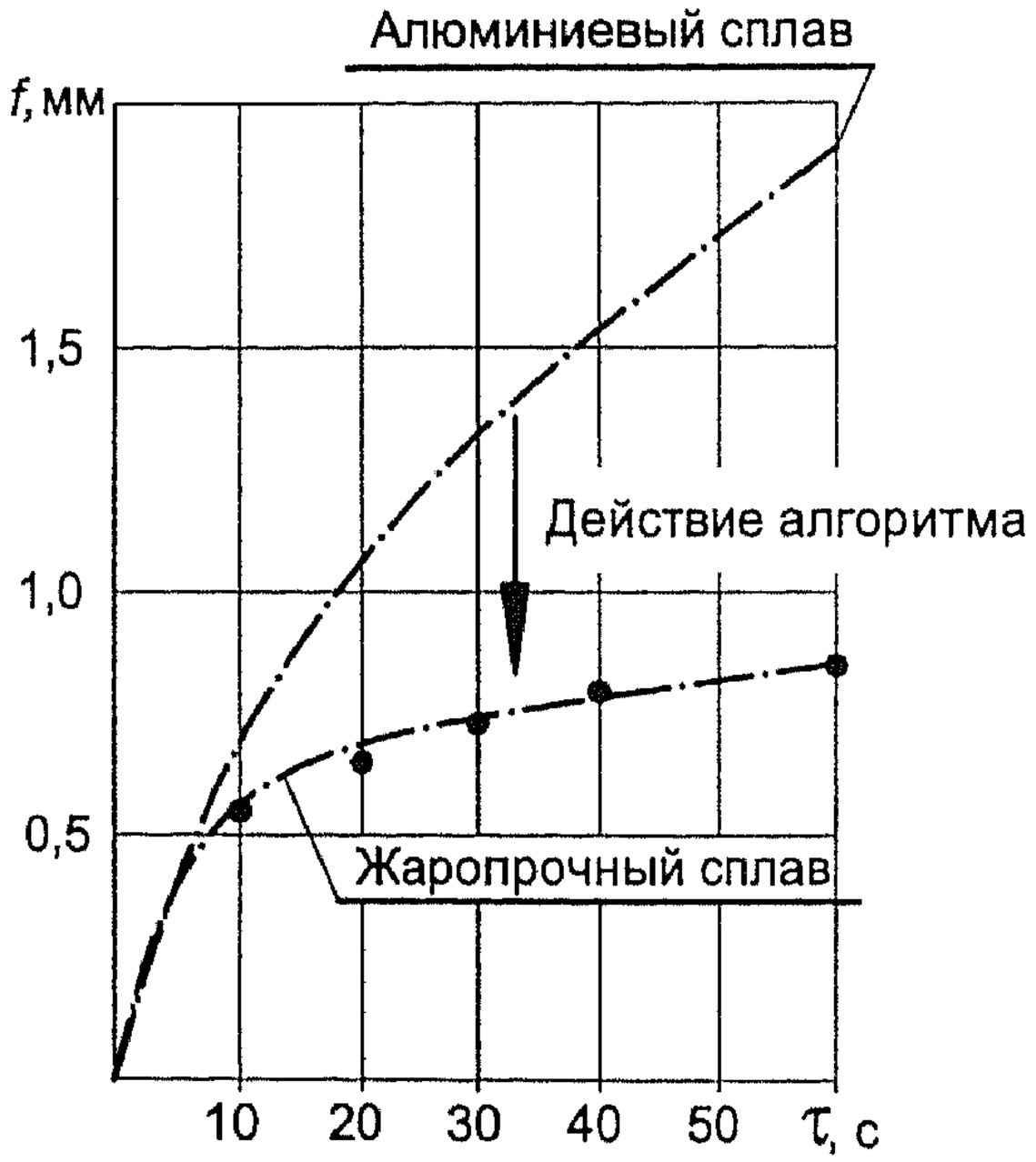


Рис. 4

граммы «RESIDUAL STRESSES»*, а результаты расчетов сведены в таблицу и представлены на рис. 4.

В таблице представлен пример расчета кривизны пластин из материала ЭП708 по известной, принятой за «эталонную», кривой изменения прогиба пластин из материала Д16. Отклонения значений прогибов $F_{эксп}$, полученных экспериментально, от полученных расчетом $F_{расч}$ не превысили 3 %, что позволяет сделать вывод о достоверности зависимости (1).

Таблица

Влияние свойств материалов и жесткости пластин на их кривизну при постоянном уровне подводимой энергии

τ,с	$F_{эксп}$, мм	$Э_{пл}$, МПа	$Э_{уп}$, МПа	$F_{расч}$, мм	Толщина пластины H, мм; материал	Отклонение $F_{расч}$ от $F_{эксп}$, %
10	0,695	0,0601122	0,0018	-	$H = 0,86$ Д16	-
20	0,99	0,0708561	0,003713	-		-
30	1,3	0,08371	0,006532	-		-
60	1,91	0,1137	0,0147	-		-
10	0,55	0,22572	0,01193	0,565	$H = 1,378$ ЭП708	2,7
20	0,65	0,2483645	0,016815	0,6653		2,3
30	0,73	0,268038	0,21417	0,7433		1,8
60	0,85	0,29948	0,02946	0,8538		0,4

*Рыбаков Г.М. Программа, содержащая алгоритм управления качеством дробеструйной обработки металлических деталей, работающих в условиях сложного нагружения (Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. № 2005612514, 2005.

Ситуация 4. Использование алгоритма для определения остаточных напряжений

Алгоритм позволяет получить распределение остаточных напряжений после ДО, совпадающее с классическим методом Давиденкова. Исследованиями, проведенными на пластинах из материала ЭП708 и обработанных ДО с различным энергетическим уровнем, установлена однозначная зависимость распределения напряжений по глубине от кривизны пластин. Эти результаты для $f = 0{,}28$ мм и $f = 0{,}95$ мм приведены ниже на рис. 6 и 7.



Рис. 5. Прогиб образца $f = 0{,}28$ мм

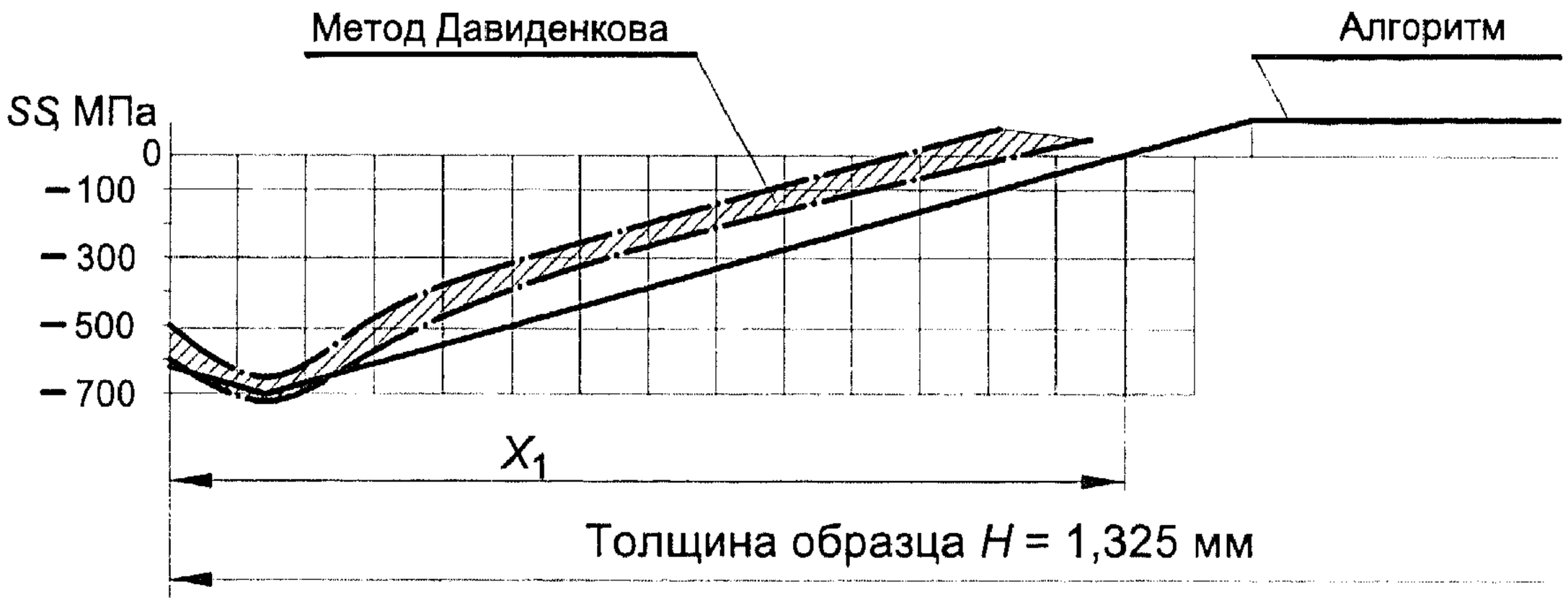


Рис. 6. Прогиб образца $f = 0{,}95$ мм

Ситуация 5. Использование возможностей алгоритма для определения оптимального деформированного состояния материала, создаваемого ДО

Исследовались контрольные пластины и образцы, изготовленные из материала ЭП708. Возможности алгоритма позволяют определить оптимальное деформированное состояние по максимуму «энергии сжатия», накапливаемой в поверхностном слое на глубине X_1, на которой напряжения меняют знак (рис. 5 и 6). Энергия сжатия рассчитывалась по прогибам контрольных пластин, получаемых в процессе ДО. Образцы для усталостных испытаний были обработаны на тех же режимах ДО, на которых получены прогибы пластин. Результаты этих исследований для прогибов $f = 0$, 0,65, 0,95 мм представлены на рис. 7.

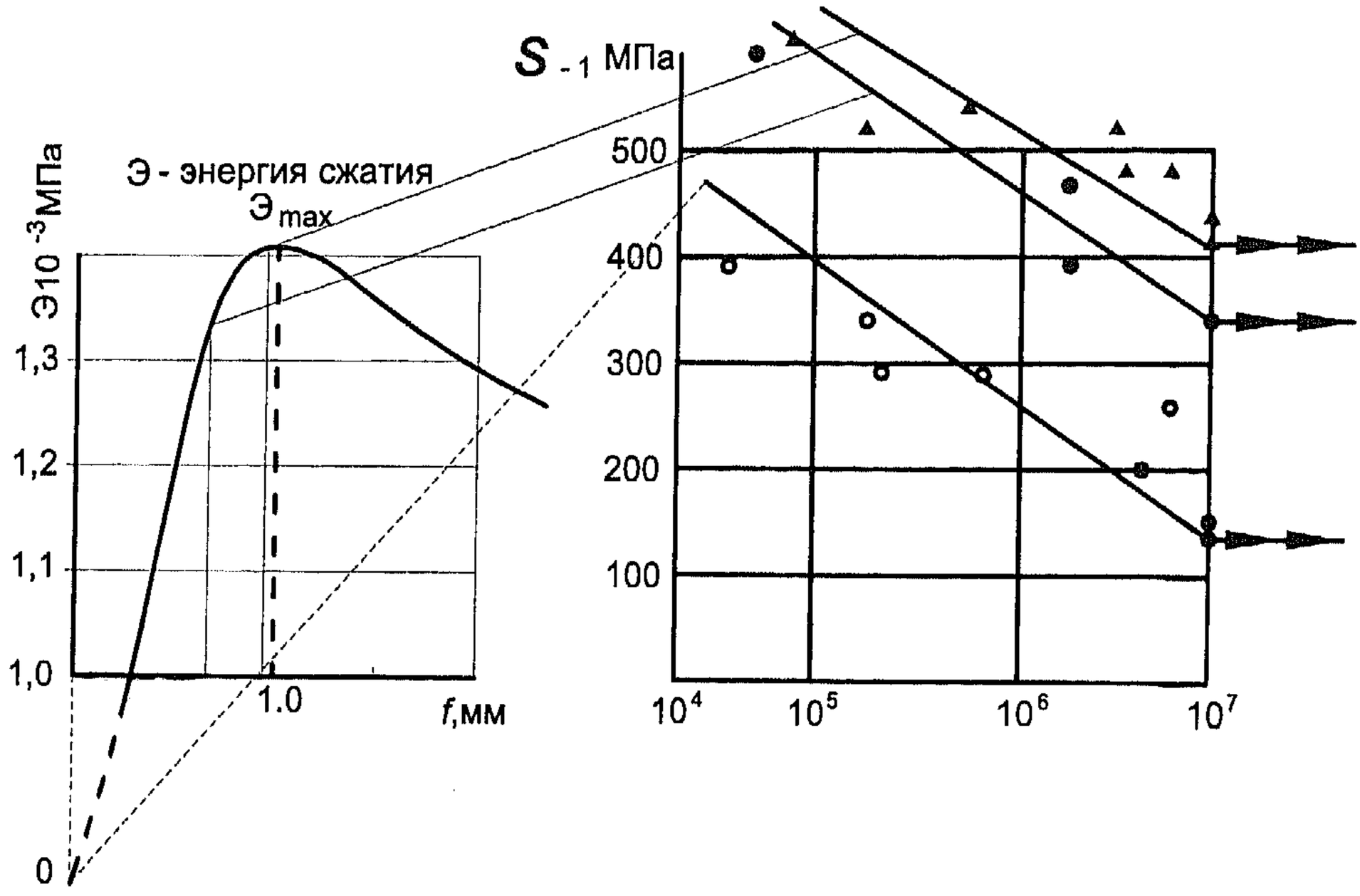


Рис. 7

На рис. 7 видна явная взаимосвязь выносливости материала и энергии сжатия, накапливаемой в поверхностном слое в процессе ДО.