

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Д а н и л е н к о Б. Д. Выбор режимов резания при сверлении. «Прогрессивная технология механосборочного производства». Сборник статей / Труды МГТУ №536 под ред. Дальского А.М., Васильева А.С. — М.: Изд-во МГТУ, 1989. — С. 33—44.
2. Г р а н о в с к и й Г. И., Г р а н о в с к и й В. Г. Резание металлов. — М.: Высшая школа. — 1985. — 304 с.
3. Г р а н о в с к и й Г. И., П а н ч е н к о К. П. Фасонные резцы — М.: Машиностроение, 1975. — 309 с.

629.735.015.4: 539.219.2

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ
ДРОБЕСТРУЙНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ.
СООБЩЕНИЕ 1. УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ
ПАРАМЕТРАМИ**

Канд. техн. наук, проф. Г.М. РЫБАКОВ

Рассмотрен новый алгоритм, который представляет собой ноу-хау в области дробеструйной обработки. Алгоритм моделирует изменение пластической деформации в поверхностном слое детали в процессе дробеструйной обработки и определяет оптимум, при котором в поверхностном слое металла накапливается максимум «энергии сжатия». Результатом оптимальных условий при дробеструйной обработке является максимум усталостной прочности деталей и заданные параметры кривизны.

This paper describes new algorithm. This algorithm is a "know how" in the field of shot peening technology. This algorithm simulates the change plastic deformation in the surface layer of the component during shot peening, and eventually determines the optimum at which maximum «compressive energy» accumulate in the surface layer of the metal. The obtained optimum shot peening conditions result is maximum fatigue strength of the components and given parameters curvature.

Хотя дробеструйная обработка (ДО) применяется в автомобильной и авиационной промышленности более 70 лет, она базируется на экспериментальных исследованиях, результаты которых до сих пор не связаны в единую систему на основе фундаментальной научной базы. Поэтому фирмы вынуждены повторять рутинные эксперименты в каждом случае, когда меняется материал или условия работы детали.

Нами впервые найдены принципы ДО, основанные на классических законах упругого и пластического деформирования различных материалов. На основе этих принципов разработан алгоритм, управляющий кривизной пластин переменной жесткости, распределением остаточных напряжений по сечению деталей, оптимальной по критерию выносливости поверхностной деформацией. Эффективность ДО определяется двумя основными факторами: уровнем подводимой к обрабатываемому материалу энергии и количеством энергии, поглощаемой материалом. Исследуем оба этих фактора более подробно.

Возможности управления энергией, подводимой к материалу, базируются на зависимости скорости дробы от энергоносителя, разгоняющего ее. Наиболее распространенным в практике является случай разгона дробы сжатым воздухом. Схема разгона представлена на рис. 1. По представленной схеме дробь 2 всыпается в поток воздуха, вытекающий из сопла 1, захватывается и смешивается с воздухом и одновременно разгоняется в сопле-смесителе 3, организующем поток дробы. Затем дробь перемещается вместе с по-

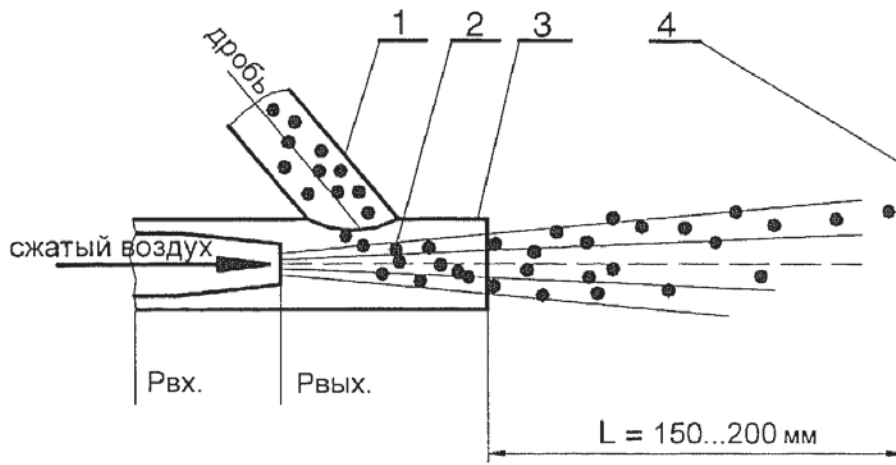


Рис. 1

током воздуха на расстояние L до обрабатываемой поверхности 4. Каждая дробинка приобретает скорость и энергию в зависимости от давления сжатого воздуха на входе в сопло.

Для вывода зависимости скорости дробы от давления сжатого воздуха, диаметра дробинки и плотности материала дробинки используем известное дифференциальное уравнение, описывающее движение сферической частицы в потоке газа [1],

$$m \frac{dv_d}{dt} = \frac{1}{2} C_x \frac{\pi d^2}{4} (V_v - V_d)^2 \rho_v, \quad (1)$$

где m — масса разгоняемой дробинки; t — время прохождения дробинкой расстояния от среза сопла до обрабатываемой поверхности L ; C_x — коэффициент сопротивления сферического тела; ρ_v — плотность воздуха в потоке после выхода из нерасширяющегося сопла; d — диаметр дробинки; v_v — скорость потока воздуха на выходе из сопла; v_d — скорость дробинки, приобретающей скорость в потоке воздуха, истекающего из сопла.

Для удобства проведения математических операций обозначим:

$$v_v - v_d = X, \quad v_d = v_v - X, \quad d v_d = -dX.$$

Проведем операцию разделения переменных и, используя известное из курса термодинамики выражение для плотности воздуха [2] и сведя все постоянные величины в один коэффициент, получим

$$-\frac{dX}{X^2} = (0,0071 \frac{P}{d}) dt,$$

$$\frac{1}{X} = 0,0071 \frac{P}{d} t + C.$$

Подставим вместо X первоначальные обозначения

$$\frac{1}{v_b - v_d} = (0,0071 \frac{p}{d})t + C.$$

Определим постоянную интегрирования C из граничных условий: при $t = 0$ скорость дроби $v_d = 0$. Тогда из граничных условий получим

$$C = \frac{1}{v_b}.$$

Проведя ряд математических преобразований, получаем расчетную зависимость

$$p = \left(\frac{\frac{v_d}{v_b - v_d} - \ln \left| 1 - \frac{v_d}{v_b - v_d} \right|}{0,007L/d} - 1 \right) 0,1 \text{ МПа}. \quad (2)$$

где 343 м/с — скорость воздуха на выходе из сужающегося сопла, равная местной скорости звука, v_d — скорость дроби для каждого конкретного значения давления p на входе в сопло, d — диаметр дробинок в мм. Формула (2) снабжена коэффициентом, учитывающим плотность материала дроби.

Для расчета скоростей дробинок по формуле (2) разработана программа «*SPEED OF SHOT*» на языке *Qbasic*. Программа подбирает с заданной точностью значение скорости дроби v_d , которому однозначно соответствует давление сжатого воздуха на входе в сужающееся сопло p при заданной плотности материала дроби и диаметре дробинок D . Результаты расчетов по программе «*SPEED OF SHOT*» для стальной и стеклянной дроби представлены на рис. 2.

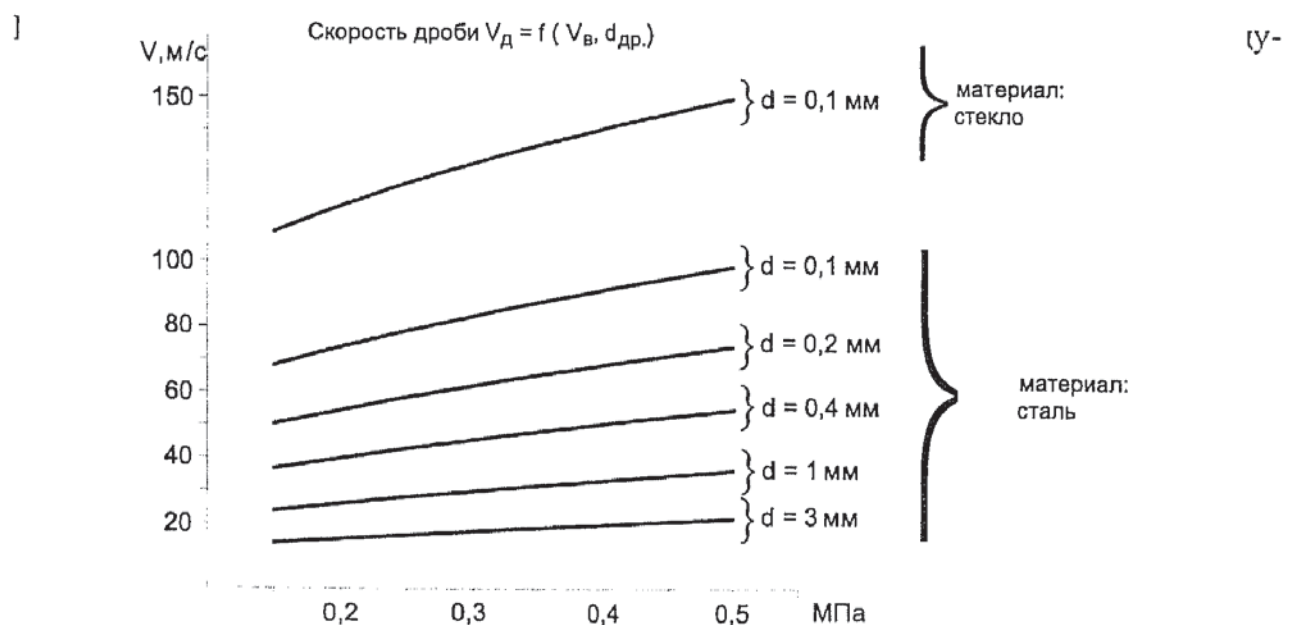


Рис. 2

ха, материала и диаметра дробинки. Алгоритм надежно управляет подводимой энергией, варьируя давлением сжатого воздуха на входе в сопло и скоростью дробинки (рис. 3).

Д:

Распределение напряжений по сечению пластины после прекращения ДО в состоянии равновесия под действием, создаваемых слоями сил $|P_1| = |P_2|$

пя лю-

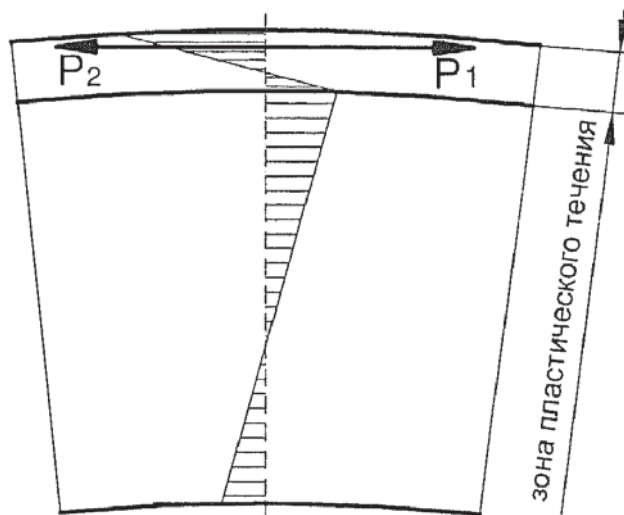


Рис. 3

бого энергетического уровня ДО энергия, поглощаемая материалом, зависит от его физико-механических свойств. В мировой практике поглощаемость энергии оценивают по прогибу контрольных пластин f способом «*Almen streeps*» [3]. Этот способ не вскрывает физической сущности процесса, поэтому его повторяют каждый раз, когда меняется материал или условия работы детали.

Поиск решения проблемы провели следующим образом. Объектом исследований выбрали образец в виде пластины размером $75 \times 20 \times 0,86$ мм из алюминиевого сплава Д16 [3]. В результате ДО со стороны обработки возникает пластически деформированный слой и пластина выгибается обрабатываемой стороной навстречу потоку дроби. Под пластически деформированным слоем располагается упруго деформированный слой, занимающий все остальное сечение образца. После прекращения действия дроби слои приходят в состояние равновесия, воздействуя друг на друга с равными по модулю силами $|p_1| = |p_2|$. Состояние равновесия характеризуется определенным уровнем накопленной энергии и соответствующей кривизной образца. Эта модель дает возможность установить распределение напряжений по сечению образца и определить количественно энергию, накопленную материалом. Покажем действие алгоритма по управлению кривизной образца на следующем примере.

Кривизна пластины, достигаемая в каждый момент времени, определяется энергетическим уровнем режима обработки. На рис. 4 показаны возможности алгоритма для ситуации, при которой энергетический уровень режима дробеструйной обработки повышен за счет увеличения давления сжатого воздуха с $p = 0,2$ МПа до $p = 0,3$ МПа. Для этой ситуации алгоритм снабжен подпрограммой, которая рассчитывает скорость дроби как функцию давления сжатого воздуха, а затем определяет поглощаемую материалом энергию.

Как видно из рис. 4, кривизна пластин, рассчитанная алгоритмом и полученная эк-

спериментально на режиме с повышенным энергетическим уровнем, практически совпадают по всем экспериментальным точкам.

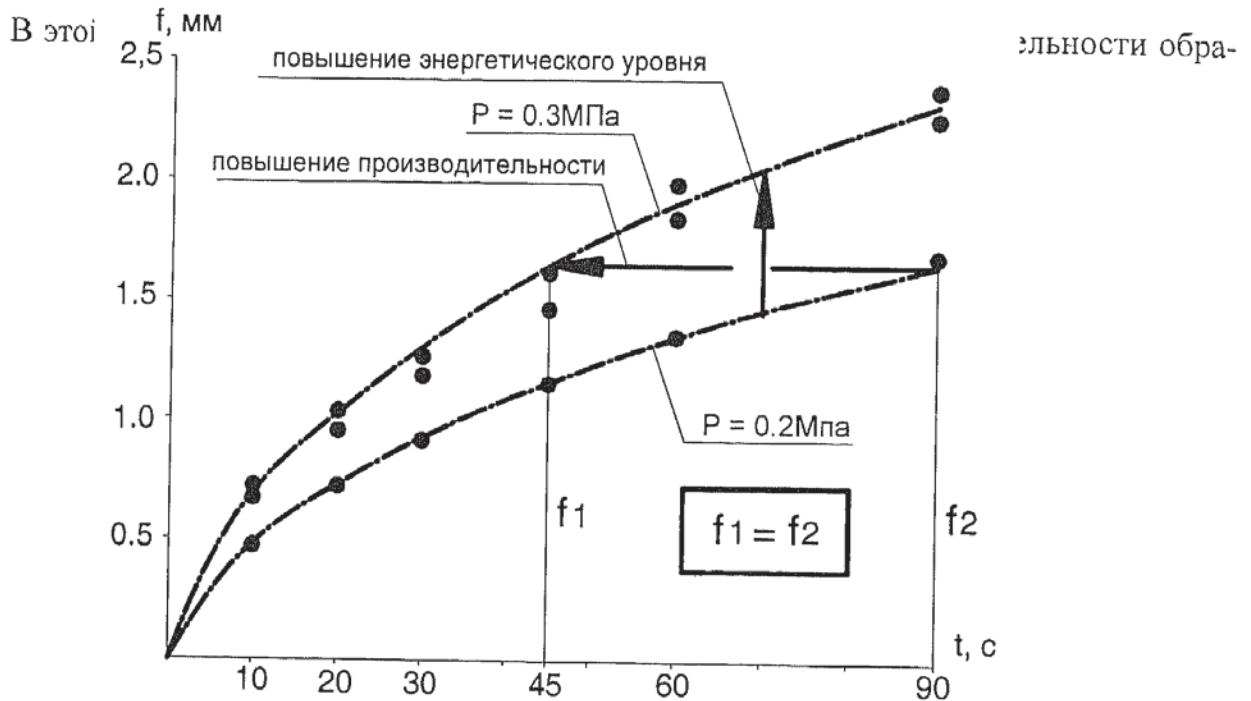


Рис. 4

ботки. Для этого он находит одинаковые прогибы f_1, f_2 пластин, полученные на различных энергетических уровнях. Прогиб, полученный на режиме с большим энергетическим уровнем, обеспечивает меньшее время обработки, т.е. большую производительность.

Следует отметить, что возможности алгоритма не исчерпаны представленным материалом и будут публиковаться по мере появления новых результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алемасов В. Е., Дрегалин А. Ф., Тишин А. П. Теория ракетных двигателей. — М.: Машиностроение, 1969. — 464 с.
2. Головинцев А. Г., Юдаев Б. Н. Техническая термодинамика. — М.: Машгиз, 1966. — 311 с.
3. Алмен J. O. Peening Surfaces Improve Endurance of Machine Parts, Metal Progress, 43 (February 1943), p. 209—217.