

## МАШИНОСТРОЕНИЕ

М. В. КАСЬЯН, Б. С. ГУКАСЯН, С. С. АВДАЛЯН,  
Г. С. АВДАЛЯН, Э. А. ТОМКЦЯНК ВОПРОСУ ОБ ИМПУЛЬСНЫХ ЯВЛЕНИЯХ  
ПРИ ЗУБОДОЛБЛЕНИИ

Проблема исследования мгновенных значений переменной динамической силы резания при зубодолблении до настоящего времени в полной мере не решена. Особенно это относится к исследованию импульсных явлений при врезании зуборезного долбяка в каждом рабочем ходу. Измерение импульсных нагрузок представляет собой сложную техническую задачу, поскольку к датчикам и измерительной аппаратуре предъявляются жесткие требования по частотным характеристикам [1]. Кроме этого, в существующих исследованиях [1—4] отсутствует физическая взаимосвязь между кинематическим и динамическим состояниями системы СПИД при врезании зуборезного долбяка в обрабатываемый материал. Наличие импульсного явления при срезании воедино связано с резким падением скорости резания. Во время обработки зуборезный инструмент и жестко связанные с ним узлы станка движутся относительно неподвижной заготовки. Тогда переходные процессы при врезании можно рассматривать аналогично с ударом о жестко закрепленную плиту [4].

Поскольку плита (заготовка) обычно жестко закреплена к фундаменту установки, то ее можно с определенным допущением рассматривать как тело, обладающее бесконечно большой массой  $M$ . Следовательно, приведенная масса соударяющихся тел будет равна массе удаляющегося тела:

$$\lim_{M \rightarrow \infty} \frac{Mm}{M+m} = m; \quad (1)$$

где  $m$  — приведенная масса всех подвижных частей станка.

При описании процесса врезания зуборезного долбяка принимается ряд упрощающих допущений:

1) в момент первоначального контакта сила резания  $P$ , мгновенно достигает величины, соответствующей значению при установившемся резании;

2) узел станка с закрепленной на нем заготовкой обладает весьма большой массой  $M$  и поэтому его скорость не изменяется при врезании;

3) приведенная масса  $m_2$  всех подвижных частей станка перемещается со скоростью  $V_2$ ;

4) главный двигатель обладает настолько большой мощностью, что не снижает обороты под нагрузкой в момент врезания зуборезного долбяка в заготовку. Действие такого двигателя может быть представлено бесконечной массой  $M$ , перемещающейся со скоростью  $V_{11}$ .

На рис. 1 показана модель системы СПИД зубодолбежного станка, где обозначены:  $F_2$  — суммарная упругих сил, действующая на массу  $m_2$ ;  $R_2$  — суммарная диссипативных сил, действующая на массу в направлении, противоположном перемещению массы  $m_2$  относительно  $M$ ;  $C_2$  — приведенная жесткость системы;  $H_2$  — коэффициент диссипативных сил.

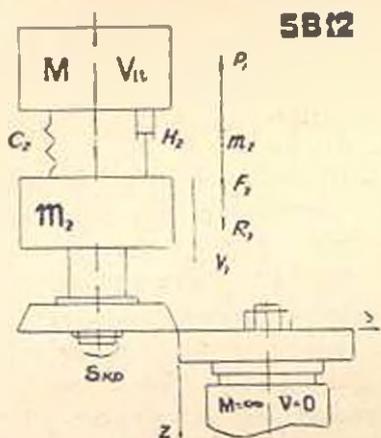


Рис. 1. Модель системы СПИД.

Для принятой модели СПИД можно написать уравнение

$$m_2 Z + H_2 Z + C_2 Z = P_2(t). \quad (2)$$

Обозначив  $\frac{H_2}{m_2} = 2n$  и  $\frac{C_2}{m_2} = k^2$ , приведем уравнение (2) к виду

$$Z + 2nZ + k^2 Z = \frac{1}{m_2} P_2(t). \quad (3)$$

Подставляя значения функции  $P_2(t) = P_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{P_1}}}\right)$  при врезании зуборезного долбяка [6], уравнение (3) запишется в виде:

$$Z + 2nZ + k^2 Z = \frac{1}{m_2} P_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{P_1}}}\right). \quad (4)$$

Общее решение соответствующего однородного уравнения определяется при помощи характеристического уравнения, которое имеет корни  $\lambda_{1,2} = -n \pm \sqrt{n^2 - k^2}$ .

В зависимости от величины  $(n^2 - k^2)$  могут иметь место три случая кинематического состояния модели системы СПИД: при  $n^2 - k^2 < 0$  или  $\sqrt{n^2 - k^2} = k_1 i$  получим

$$V_2 = V_1 e^{-nt} \left( \cos k_1 t - \frac{n}{k_1} \sin k_1 t \right); \quad (5)$$

при  $n^2 - k^2 = 0$  или  $\sqrt{n^2 - k^2} = k_2$  —

$$V_2 = V_1 e^{-nt} \left( \operatorname{ch} k_2 t - \frac{n}{k_2} \operatorname{sh} k_2 t \right); \quad (6)$$

при  $n^2 - k^2 = 0$  или  $n = k$  —

$$\bar{V}_2 = V_1 e^{-nt} (1 - kt). \quad (7)$$

Частное решение уравнения (4) будет:

$$V_2^* = \frac{P_0 T_{p1} e^{-\frac{t}{T_{p1}}}}{m_2 (1 - 2nT_{p1} + k^2 T_{p1})}. \quad (8)$$

Тогда общее решение уравнения (4) получаем в виде

$$V_2 = \bar{V}_2 + V_2^* = \bar{V} + \frac{P_0 T_{p1} e^{-\frac{t}{T_{p1}}}}{m_2 (1 - 2nT_{p1} + k^2 T_{p1})}. \quad (9)$$

Случай 1:

$$V_2 = V_1 e^{-nt} \left( \cos k_1 t - \frac{n}{k_1} \sin k_1 t \right) + \frac{P_0 T_{p1} e^{-\frac{t}{T_{p1}}}}{m_2 (1 - 2nT_{p1} + k^2 T_{p1})}; \quad (10)$$

случай 2:

$$V_2 = V_1 e^{-nt} \left( \operatorname{ch} k_2 t - \frac{n}{k_2} \operatorname{sh} k_2 t \right) + \frac{P_0 T_{p1} e^{-\frac{t}{T_{p1}}}}{m_2 (1 - 2nT_{p1} + k^2 T_{p1})}; \quad (11)$$

случай 3:

$$V_2 = V_1 e^{-nt} (1 - kt) + \frac{P_0 T_{p1} e^{-\frac{t}{T_{p1}}}}{m_2 (1 - 2nT_{p1} + k^2 T_{p1})}. \quad (12)$$

На рис. 2 приведен график изменения скорости резания, откуда видно, что в момент врезания характерно интенсивное падение скорости резания  $V_2(t)$ . При теоретическом описании кинематического и динамического состояний системы СПИД принимали, что в момент врезания сила резания монотонно возрастает до значения  $P_0$ , соответствующего ее величине при установившемся непрерывном резании. Однако известно, что один и тот же металл при одинаковой температуре оказывает различное сопротивление воздействию внешних сил в зависимости от скорости этого воздействия [7]. В этом случае динамическая силовая характеристика металла от скорости деформации  $V_2$  выражается в виде равенства

$$P_{\text{дин}} = P_{\text{ст}}(Z) \left[ 1 + \left( \frac{\dot{Z}}{V_2} \right)^{b_2} \right], \quad (13)$$

где  $P_{\text{ст}}(Z)$  — соответствует установившемуся значению  $P_0$ ;  $V_2$  и  $b_2$  — константы, зависящие от материала [7].

Из формулы (13) получим

$$\Delta P = \left( \frac{\dot{Z}}{V_0} \right)^{0.5} P_0; \quad (14)$$

где  $\Delta P = (P_{\max} - P_0)$  — величина подскока силы резания при врезании долбяка;  $\dot{Z}(\cdot)$  — текущая скорость деформации или скорость резания, определяемая выражениями (9) — (11).

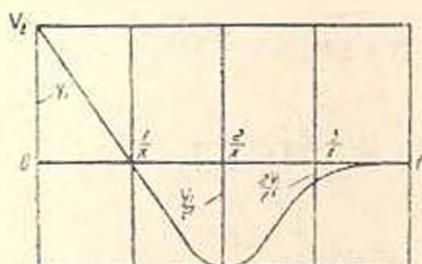


Рис. 2. Расчетная зависимость изменения скорости резания от времени врезания в обрабатываемый материал.

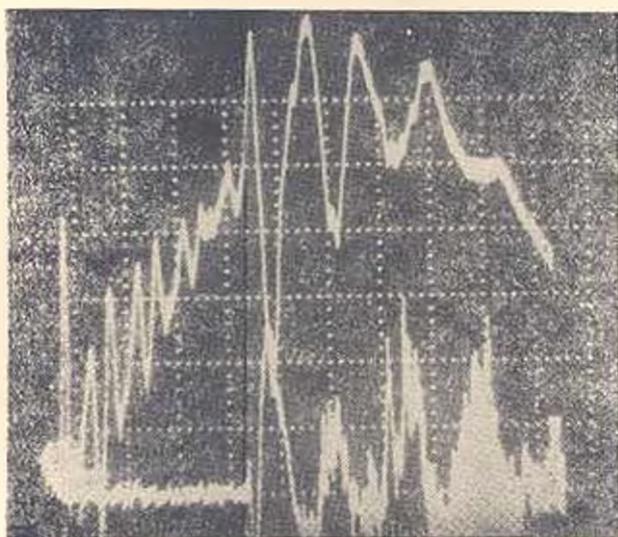


Рис. 3. Осциллограмма изменения силы (1) и скорости (2) врезания зуборезного долбяка в обрабатываемый материал:

$m = 2$  мм;  $Z = 38$ ;  $S_{\text{пр}} = 0,12$  мм/дв.х.;  $n = 200$  дв.х./мин;  
сталь 45, 1 дел. = 10 мс.

Полученные математические выражения дают информацию об экстремальном характере изменения силы и скорости резания при врезании зуборезного долбяка в обрабатываемую деталь. Отсюда следует, что при первоначальном контакте инструмента с деталью имеет место процесс, очень схожий с импульсным. С целью проверки полученных

функциональных зависимостей и подтверждения приемлемости сделанных при анализе системы СПИД допущений было произведено экспериментальное исследование процесса резания при зубодолблении с помощью специально разработанной измерительной аппаратуры [8]. На рис. 3 приведена осциллограмма изменения силы и скорости при врезании зуборезного долбяка. Нетрудно заметить, что изменение скорости при реальном врезании зуборезного долбяка качественно соответствует полученным теоретическим закономерностям. Существующие отклонения следует объяснить тем, что металлорежущий станок имеет ограниченную мощность двигателя, в связи с чем его обороты снижаются под нагрузкой.

Երևանի Կ. Մարյան

5. III 1986

Ս. Վ. ԿԱՅՅԱՆ, Վ. Ս. ՎԵՆԿՍՅԱՆ, Ս. Ս. ԱՎԻԱՅԱՆ, Գ. Ս. ԱՎԻԱՅԱՆ, Է. Ա. ԳՈՐԿԱՅԱՆ

### ԱՏԱՄԱԽՈՐԾԱՆ ԴԵՊՐՈՒՄ ԻՆԳՐԱՎՍԱՅԻՆ ԵՐԵՎՈՒՅՑՆԵՐԻ ՀԱՐՅԻ ԿԱՍԻՆ

#### Ա մ փ ո փ ո ս մ

ՀՀԴԴ համակարգի մոդելի հիման վրա գործիքի ենթակտրման դեպքի համար կազմված է ստամանաթործիչի շարժման դիֆերենցիալ հավասարում և արագությունը որոշելու համար ստացվել են վերլուծական արտահայտություններ: Բերված են ուժի իմպուլսի և կտրման արագության անսահման և փորձնական հետազոտությունների արդյունքները, ինչպես նաև ուժի ու արագության փոփոխման սպիտակագամ՝ պողպատ 45-ից պատրաստված ստամանների թորման դեպքում:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Батуев Г. С. Инженерные методы исследования ударных процессов.— М.: Машиностроение, 1977.— 240 с.
2. Сейдов Б. Е. Исследование кинематических условий работы зуборезных долбяков.— Автореф. дис. канд. техн. наук.— М., 1975.— 24 с.
3. Петрухин С. С., Харламов Г. А. Влияние силы резания на точность нарезаемых колес при зубодолблении и условия ее повышения.— В кн.: Технология машиностроения. Тула, 1975 (76), вып. 40, с. 46—51.
4. Колесников В. Г. Исследование сил резания при зубодолблении, точности и чистоты поверхности профиля дуба стальных колес, нарезаемых долбяком.— Автореф. дис. канд. тех. наук.— Волгоград, 1970.— 22 с.
5. Ганченко М. Г. Экспериментальные исследования сил резания при зубодолблении колес с внешними зубьями.— В кн.: Технология машиностроения и автоматизация производственных процессов. Волгоград, 1978, с. 176—184.
6. Ходяев К. С., Горняков Л. М. Точность обработки и режимы резания.— М.: Машиностроение, 1976.— 144 с.
7. Соколов Л. Д. Сопротивление металлов пластической деформации.— М.: Металлургияиздат, 1963.— 284 с.
8. Способ определения значения импульсной силы и зависимости от скорости резания / Касьян М. В., Лукасян Б. С., Авдалян Г. С. и др.— Информацион. лист. АРМИШИНТИ, 1986, сер. 55.29.33, № 5519.