

- дование вибраций при резании металлов (построение математической модели процесса). Межвуз. сб.: Исследование обрабатываемости жаропрочных и титановых сплавов, вып. I, Куйбышев, 1973.
4. Бурмистров Е.В., Маркушин Е.М., Тарасов А.В. Крутильные колебания и их влияние на стойкость сверл малых диаметров при обработке жаропрочных и титановых сплавов. Материалы симпозиума "Прогрессивные конструкции сверл и их рациональная эксплуатация". Вильнюс, 1974.
 5. Бурмистров Е.В., Маркушин Е.М., Тарасов А.В. Исследование вибраций, сопровождающих процесс сверления отверстий малых диаметров (разработка математической модели автоколебательного процесса при сверлении). - Межвуз. сб.: Исследование обрабатываемости жаропрочных и титановых сплавов, вып. 2. Куйбышев, 1974.
 6. Бурмистров Е.В., Тарасов А.В. Исследование крутильных колебаний сверл при обработке титановых сплавов. Материалы научно-технической конференции. Куйбышев, 1970.

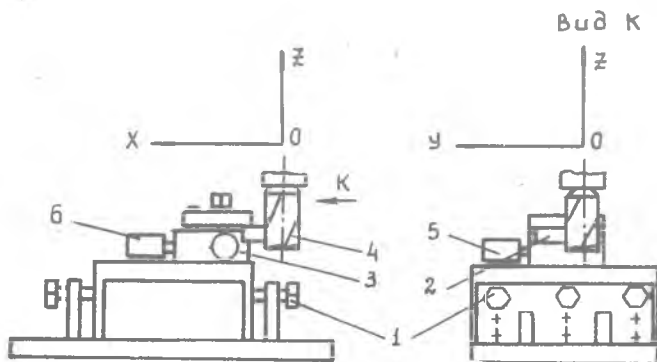
Э.А. Михайлюк, Я.И. Солер, В.С. Коляка

ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИЙ НА ОБРАБАТЫВАЕМОСТЬ ВЫСОКОПРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ КОНЦЕВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

В данной работе рассматривается влияние вибраций на стойкость инструмента и качество поверхности при обработке высокопрочной нержавеющей стали X15H5Д2Т ($\sigma_B = 135 \text{ кгс/мм}^2$, $\sigma' = 12\%$) и титанового сплава BT20 ($\sigma_B = 95-110 \text{ кгс/мм}^2$, $\sigma' = 8\%$). Оценка качества поверхности производилась по шероховатости (R_a), высоте (H_B), шагу (L_B) волнистости, степени наклепа (ΔH_V), неравномерности упрочнения поверхности, характеризуемой отношением микротвердостей, замеренных во впадине и на вершине микронеровностей ($H_{V_{вп}}/H_{V_{вср.}}$).

Интенсивность вибраций в процессе обработки изменялась путем варьирования жесткости системы "деталь-приспособление" и режимов резания. Для этого было изготовлено приспособление (рис. I), жесткость которого могла изменяться за счет уменьшения толщины боковых стенок крепежного столика и их поджима болтами I на разной высоте. При изучении качества поверхности образцы 2 закреплялись в державке 3, а при стойкостных испытаниях - непосредственно на столике при-

способления. Колебания детали при фрезеровании концевой фрезой 4 регистрировались сейсмическими датчиками 5 и 6 (типа МВ-22Г) в



Р и с.1. Схема экспериментальной установки

двух направлениях: совпадающем (по оси Y) и ортогональном (по оси X) вектору подачи. Полученные вибросигналы через переходной блок поступали на усилитель и записывались с помощью осциллографа Н102. Тарировка датчиков вибраций осуществлялась в динамическом режиме на вибростенде.

Фрезерование производилось на станке 6Н13П, по подаче на следующих режимах: скорость резания $v = 9,4-47$ м/мин; подача $S_z = 0,03 - 0,33$ мм/зуб; глубина $t = 20$ мм; ширина $B=3-12$ мм; СОЖ - 7% эмульсия СДМУ-2. Жесткость системы " деталь-приспособление" $f_{\partial x}^X$ изменялась от 1200 до 30770 кгс/мм.

При изучении качества поверхности использовались концевые фрезы из стали Р18 стандартной конструкции с усиленной сердцевиной ($D=50$ мм, $z = 4$, $\omega = 40^\circ$), при стойкостных испытаниях - фрезы [1] ($D=40-50$ мм, $z = 1$) со вставными ножами из стали Р18. Геометрия заточки: $\alpha_r = 12^\circ$, $\gamma_n = 6^\circ$ - при обработке стали Х15Н5Д2Г и $\alpha_r = 6-10^\circ$, $\gamma_n = -6^\circ$ - при обработке сплава ВТ20. За критерий притупления принимался износ по задней грани, равный $h_z = 0,4$ мм.

^X В дальнейшем для краткости жесткость системы " деталь-приспособление" будем называть жесткостью детали.

Результаты опытов показывают, что вибрации детали при фрезеровании вызваны врезанием зуба в обрабатываемый материал, поэтому с увеличением скорости резания частота колебаний возрастает. Затупление инструмента, особенно при обработке титанового сплава, ведет к увеличению интенсивности колебаний детали. При недостаточной жесткости системы $f_{\partial x}$ затупление инструмента сопровождается возрастанием колебаний в 1,5-2 раза.

Минимально допустимая жесткость зависит от сил резания, вызывающих отжимы элементов системы СПИД, и растет с увеличением основных параметров резания t , S_z , β и др. Так, при фрезеровании титанового сплава BT20 с подачей $S_z = 0,06$ мм/зуб величина минимально допустимой жесткости составила 1200 кгс/мм, а при $S_z = 0,13$ мм/зуб - 4600 кгс/мм.

Результаты исследования показали, что наибольшие вибрации возникают в направлении наименьшей жесткости детали - по оси X, при этом их величина может превышать интенсивность колебаний по оси Y в 6 раз. Эти колебания оказывают решающее воздействие на стойкость режущего инструмента. Так, при обработке сплава BT20 снижение амплитуды колебаний $A_{\partial x}$ в 3-5 раз, обусловленное изменением жесткости $f_{\partial x}$ от 1200 до 11100 кгс/мм, дало повышение стойкости фрез в 1,5-2,5 раза. При фрезеровании более пластичной стали XI5H5Д2Т наблюдается меньшее увеличение стойкости инструмента.

На основании результатов стойкостных испытаний получены следующие зависимости:

$$T = C_1 A_{\partial x}^n, \quad T = C_2 f_{\partial x}^m$$

где $A_{\partial x}$ - амплитуда колебаний детали по оси X, мм (табл.)

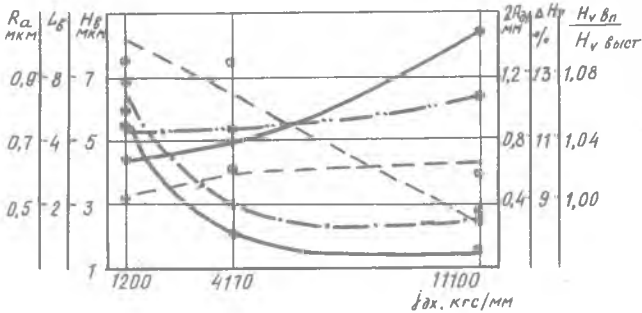
Т а б л и ц а

Значения коэффициентов C_1 , C_2 и показателей степеней

Обрабатываемый материал	S_z мм/зуб	C_1	n	C_2	m
BT20	0,06-0,08	5	-0,23	1,93	0,22
	0,10-0,13	2,43	-0,71	0,62	0,44
XI5H5Д2Т	0,06-0,08	11,79	-0,32	5,16	0,22

Существенное влияние на качество обработанной поверхности оказывают вибрации. Как видно из рис.2, снижение интенсивности колебаний детали в 10 раз, за счет повышения ее жесткости, ведет к умень-

шению высоты микро- и макронеровностей поверхности в 1,8-2 раза.



Р и с. 2. Влияние жесткости детали на амплитуду колебаний детали, шероховатость и волнистость поверхности: обрабатываемый материал - XI5H5D2T; режим резания - $v = 47$ м/мин, $B = 12$ мм, $S_z = 0,2$ мм/зуб, $t = 3$ мм; -- H_g ; - \bullet - $\frac{H_v \delta_n}{H_v \delta_{нст}}$; - \circ - ΔH_v ; - \square - L_g ; - \circ - R_a ; - \bullet - $2A_{dx}$

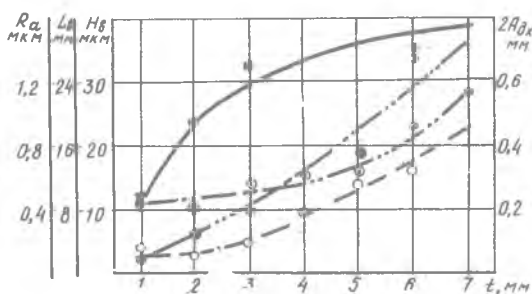
При этом незначительно возрастают шаг волнистости L_g , степень ΔH_v и неравномерность наклепа. Это может отрицательно сказаться на эксплуатационных характеристиках изделий [2]. Поэтому повышение жесткости системы "деталь - приспособление" следует производить с учетом требуемой стойкости инструмента и качества обработанной поверхности.

Увеличение элементов режима резания, в большинстве случаев, способствует росту вибраций детали и ухудшению качества поверхности. Так, с увеличением глубины резания при фрезеровании образцов из стали XI5H5D2T, имеющих жесткость $f_{dx} = 1200$ кгс/мм (рис.3), амплитуда колебаний A_{dx} увеличивается от 0,1 до 0,38 мм, а высота (H_g) и шаг волнистости (L_g) возрастают соответственно в 26 и 17 раз. Среднее арифметическое отклонение профиля R_a возрастает менее интенсивно, особенно при $t \leq 4$ мм.

С повышением жесткости детали f_{dx} до 11100 кгс/мм интенсивность колебаний снижается в 3-4 раза, что замедляет рост параметров качества поверхности R_a , H_g и L_g .

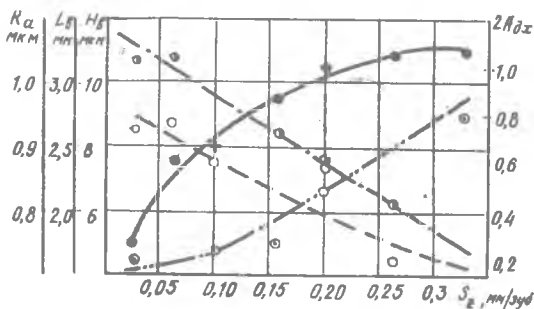
Неравномерность наклепа поверхности при различных глубинах резания составляет 3-10%. С увеличением жесткости детали отношение

$H_{\text{вн}}/H_{\text{внст}}$ уменьшается. При этом степень наклепа $\Delta H_{\text{в}}$ изменяется в незначительных пределах.



Р и с.3. Влияние глубины резания на амплитуду колебаний и качество обработанной поверхности: обрабатываемый материал - ХТ5Н5Д2Т; режим резания - $v = 47$ м/мин, $B = 12$ мм, $S_z = 0,06$ мм/зуб; жесткость системы $j_{zx} = 1200$ кгс/мм; —●— $2A_{dx}$; ●— — R_a ; —○— H_b ; —○— L_b

Варьирование подачи S_z от 0,03 до 0,33 мм/зуб вызывает увеличение амплитуды колебаний A_{dx} в 3-5 раз и ухудшение шероховатости обработанной поверхности на 2-3 разряда (рис.4). Это вызвано



Р и с.4. Влияние подачи на амплитуду колебаний детали, шероховатость и волнистость поверхности: ХТ5Н5Д2Т; $v = 47$ м/мин, $B = 12$ мм, $t = 3$ мм; $j_{zx} = 1200$ кгс/мм; —●— $2A_{dx}$; —○— H_b ; —○— L_b ; —○— R_a

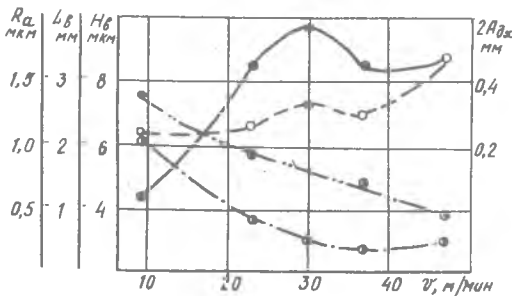
возрастанием пластического деформирования металла под воздействием сил резания и царапанием поверхности стружкой.

Закономерность изменения макропрофиля поверхности от подачи имеет более сложный характер и зависит от соотношения жесткостей детали и фрезы $K = \frac{E \delta}{J \rho}$. При коэффициенте $\kappa \leq 8$ (при жесткости $J \rho \leq 4200 \text{ кгс/мм}$) возрастание подачи дает уменьшение волнистости в 2-3 раза (см. рис.4); для $K > 8$ волнистость уменьшается только при $S_z \leq 0,02 \text{ мм/зуб}$, когда с возрастанием толщины среза резко ухудшается макропрофиль поверхности, особенно за счет увеличения высоты H_B .

Полученные результаты объясняются прежде всего тем, что сталь X15H5Д2Т содержит в аустенитной структуре карбидные и интерметаллидные включения, имеющие иную твердость и способность к упрочнению при деформации. При обработке резанием это приводит к появлению специфической волнистости поверхности [2].

Обнаружено, что возрастание подачи в варьируемых пределах ведет к снижению микротвердости поверхности и степени наклепа. Неравномерность наклепа мало зависит от подачи и не превышает 3-12%.

Значительное влияние на интенсивность колебаний детали оказывает скорость резания. С увеличением v от 9,4 до 30 м/мин амплитуда колебаний $A_{\sigma x}$ сначала возрастает, а затем начинает снижаться. При обработке деталей из стали X15H5Д2Т, имеющих жесткость $J \rho = 4600 \text{ кгс/мм}$ (рис.5), максимальное значение амплитуды $A_{\sigma x}$ составляет 0,29 мм. С увеличением жесткости детали до 30770 кгс/мм оно снижается до 0,14 мм.



Р и с.5. Влияние скорости резания на амплитуду колебаний детали, шероховатость и волнистость поверхности: X15H5Д2Т; $B = 12 \text{ мм}$, $t = 4 \text{ мм}$; $S_z = 0,06 \text{ мм/зуб}$; $J \rho = 4600 \text{ кгс/мм}$; —•— $2A_{\sigma x}$;
 ○ — — — R_{α} ; — — ○ — L_{δ} ; ○ — — — H_{δ}

С ростом скорости резания закономерности изменения шага L_f и амплитуды колебаний детали имеют идентичный характер, но наблюдается уменьшение параметров R_a и H_f поверхности.

При жесткостях детали $j_{ax} \leq 25000$ кгс/мм возрастание скорости резания до 36,9 м/мин сопровождается снижением микротвердости и степени наклепа поверхности, которая не превышает 10-22%. При скорости $v = 30$ м/мин в результате интенсификации колебаний детали наблюдается усиление неравномерности наклепа поверхности.

Л и т е р а т у р а

1. Подпоркин В.Г., Бердников Л.Н. Фрезерование труднообрабатываемых материалов. Л., "Машиностроение", 1972.
2. Даниелян А.М. и др. Обработка резанием жаропрочных сталей, сплавов и тугоплавких металлов. М., "Машиностроение", 1965.

Ю.С. Быховский, Г.Т. Авдонин, Р.Н. Мдановский, Г.Ф. Миледин

БЕСКОНТАКТНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ВИБРАЦИИ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДСТРОЙКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ МЕШАЮЩИХ ФАКТОРОВ

Для современной техники характерен переход к более высоким скоростям работы различных механизмов. Неуравновешенность движущихся частей механизмов вызывает вредные вибрации, приводящие к быстрому износу деталей, а в некоторых случаях и к авариям.

В настоящее время изучением вибраций занимаются во всех отраслях народного хозяйства: в судостроении - при работах над снижением уровня вибраций и шума различных механизмов; в авиационной технике - при совершенствовании самолетов и повышении мощности их двигателей; в энергетике - при создании турбин и электрических машин с высоким коэффициентом полезного действия и надежности, при исследовании динамики процессов резания и т.д.

В некоторых случаях необходимо измерять перемещения или вибрации при минимальном влиянии измерителя на объект контроля, например, при измерении собственной резонансной частоты или перемещений объектов, механический контакт с которыми нежелателен. В этих случаях используются **бесконтактные** преобразователи, у которых связь с объектом осуществляется посредством электрического (емкостного),