

МАШИНОСТРОЕНИЕ

М. В. КАСЬЯН, Г. А. АРУТЮНЯН, Г. В. БАГДАСАРЯН

О СВЯЗИ СИЛЫ УДАРА С ХАРАКТЕРОМ ИЗМЕНЕНИЯ
 СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ СТРОГАНИИ

Исследуя некоторые вопросы динамики процесса строгания на гидрофиндированном станке 7МЗ6, в возможном для этого станка диапазоне скорости резания ($3-47$ м/мин), при обработке обычных машиноподелочных сталей, отличающихся содержанием углерода, мы обратили внимание на одно весьма оригинальное явление, а именно: при подходе к определенной скорости резания, почти независимо от продолжительности работы твердосплавного резца, его режущая кромка, выкрашиваясь, принимает определенный вид, напоминающий заметные следы износа на главной задней поверхности. Попытка объяснить это развитием колебаний с совпадением частот вынужденных и собственных потерпела неудачу при соответствующей сложной экспериментальной проверке.

Тогда появилась необходимость исследований составляющих силы резания, используя для этой цели и инерционную и безинерционную аппаратуру с тем, чтобы была возможность фиксации этих сил и их изменений в процессе осуществления одного прохода.

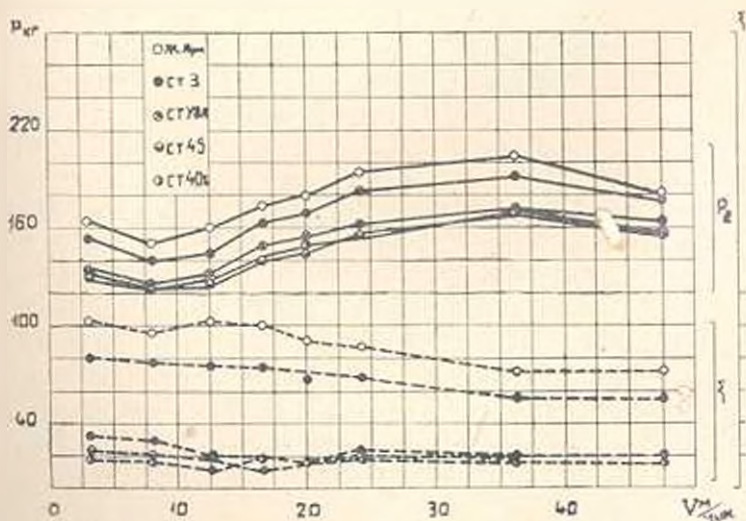


Рис. 1. Зависимость коэффициента усадки стружки и тангенциальной составляющей силы резания P_t от скорости резания ($s = 0,5$ мм/дв. ход; $t = 1,0$ мм, $\gamma = -10^\circ$; $\alpha = 6^\circ$; $\epsilon = 60^\circ$).

Данные исследований, представленные на рис. 1, показывают, что, по сравнению с изменением усадки стружки, составляющие силы резания изменяются неидентичным образом, причем, для всех обрабатываемых металлов однозначно. Уменьшаясь с изменением скорости резания от 3 до 8 м/мин, с дальнейшим ее увеличением силы резания возрастают и принимают наибольшие значения при скорости 36 м/мин, после чего наблюдается некоторый спад.

Снижение коэффициента усадки стружки при увеличении скорости в вышеуказанном диапазоне говорит о том, что силы стружкообразования при этом также уменьшаются. Исходя из этого, нами предполагается, что неидентичный характер сил резания и усадки стружки можно объяснить изменением условий трения и контакта, и, в связи с этим, ростом сил на задней поверхности резца при увеличении скорости резания. Такое предположение имеет реальную основу, связанную, как изложено выше, с появлением следов износа на задней поверхности резца, напоминающих фаску износа без исключения для всех обрабатываемых металлов, причем, величина ее колебалась в пределах от 0,2 до 0,45 мм (рис. 2).



Рис. 2. Фаска износа на задней поверхности резца.

Таким образом, совокупное влияние вышеуказанных факторов в комплексе с условиями трения на передней поверхности резца должно оказывать определенное воздействие на протекание процесса резания в целом.

Целью настоящего исследования является установление физической сущности изменения составляющих силы резания при изменении скорости резания. Постоянную задачу можно решить, в первую очередь, отметив, что возникновение фаски износа на задней поверхности резца специфично для процесса строгания, когда резец врезается в обрабатываемый металл ударом.

В данном случае вопрос удара резца об обрабатываемый материал решается в предположении, что хобот станка, имеющий массу m , движущийся со скоростью $v = v_{\text{рез}}$ ($v < c$, где c — скорость звука в

обрабатываемом материале) ударяет по обрабатываемому материалу с массой m , и деформирует его. Так как соударение предполагается мгновенным, то силы, возникающие при соударении резца (абсолютное твердое тело) об обрабатываемый материал (упругое тело), бесконечно велики.

Исходя из этого, при расчете силы удара нами используются значения энергии системы и импульсов, которые образуются при контакте двух соударяемых тел [1]. При этом сила, возникающая при ударе двух соударяемых тел, определяется уравнением [2]:

$$P(x) = Kx^{\gamma_1}, \quad (1)$$

где

$$K = \frac{4}{3\gamma_1} \sqrt{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}, \quad \gamma_1 = \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2}$$

K — коэффициент, зависящий от кривизны тел в точке контакта и от упругих свойств материала;

x — величина сближения центров инерции соударяющихся тел;

γ_1 — коэффициент, характеризующий механические свойства обрабатываемого материала;

R_1, R_2 — соответственно радиусы округления режущей кромки резца и обрабатываемого материала;

μ_1, μ_2 — коэффициент Пуассона соответственно для материала резца и обрабатываемого материала;

E_1, E_2 — модуль упругости соответственно для материала резца и обрабатываемого материала.

Если учесть, что для плоского обрабатываемого материала $R_2 = \infty$, а $E_1 > E_2$, то выражения для определения величин K и γ_1 принимают вид:

$$K = \frac{4}{3\gamma_1} \sqrt{R_1}; \quad \gamma_1 = \frac{1 - \mu_2^2}{E_2}. \quad (2)$$

Сближение центров инерции при соударении двух тел определяется уравнением:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -\frac{P(x)}{M}; \quad M = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}, \quad (3)$$

где M — приведенная масса соударяемых тел, которая определяется из условий сохранения количества движения этих тел.

Решение выражения (3) с учетом (1) и начальных условий $x(0) = 0$ и $v(0) = 0$ дает уравнение, которое имеет вид:

$$x = -\frac{5M}{K} \frac{1}{4}. \quad (4)$$

Выражая время соударения τ через x и скорость удара v и преобразуя (4), максимальное сближение центров инерции резца и обрабатываемого материала примет вид:

$$x_{\text{max}} = \left[\frac{5}{4} \frac{Mv^2}{K} \right]^{1/2}. \quad (5)$$

Максимальная контактная сила (сила удара) определяется после подстановки (5) в уравнение (1):

$$P_{\text{уд}} = K \left[\frac{5}{4} \frac{Mv^2}{K} \right]^{1/2}. \quad (6)$$

Из уравнения (6) видно, что с увеличением скорости движения резца v , увеличивается сила удара, причем, чем больше сила удара, тем больше скорость сближения соударяющихся тел.

Ниже, в табл. 1, даны расчетные и экспериментальные значения величины силы удара. Следует отметить, что общая сила удара, полученная при экспериментах, определяется выражением

$$P_{\text{уд}} = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + P_3^2},$$

где P_1, P_2, P_3 — динамометрические показания составляющих силы удара.

Приведенные в табл. 1 данные показывают удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных величин силы удара при исследовании ряда обрабатываемых металлов. Здесь важно отметить, что в пределах изменения скорости резания $3-20$ м/мин сила удара меньше фактической силы резания, между тем, как при увеличении скорости $v \geq 20$ м/мин сила удара превосходит значения фактической силы резания в $1,12-2,16$ раза для всех исследуемых металлов почти без исключения.

Выше было сказано, что именно примерно с этого же значения скорости резания и дальше, по мере ее увеличения, появляется фаска износа на задней поверхности резца. Следовательно, после того как сила удара превосходит значения силы резания, образование фаски износа становится уже неизбежностью.

Указанное явление можно объяснить, исходя из следующих соображений.

Сжимающие напряжения, которые возникают в режущей твердой пластинке резца при ее плоско-напряженном состоянии (в зависимости от скорости резания), могут быть определены зависимостью:

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{P}{ab},$$

где P — наибольшая сжимающая сила, действующая на передней поверхности резца (или сила удара, или сила резания, в зависимости от того, какая из них является наибольшей при данной скорости резания); a — толщина среза; b — ширина среза.

Ниже, в табл. 2, приведены значения сжимающих напряжений $\sigma_{\text{сж}}$ действующих на передней поверхности резца (в зависимости от скорости резания и свойств исследуемого металла), с учетом коэффициента динамичности γ_d [3]: $\sigma_{\text{сж}} = \gamma_d \cdot \sigma_{\text{стат}}$.

Таблица 1

Скорость резания <i>v</i> , м/мин	Сталь 45			Сталь 40X			Сталь У8А			Сталь Ст3			Железо Арми		
	<i>P</i> _{рез}	<i>P</i> _{уд}		<i>P</i> _{рез}	<i>P</i> _{уд}		<i>P</i> _{рез}	<i>P</i> _{уд}		<i>P</i> _{рез}	<i>P</i> _{уд}		<i>P</i> _{рез}	<i>P</i> _{уд}	
		расч.	эксп.		расч.	эксп.		расч.	эксп.		расч.	эксп.			
3,0	144,2	35,1	42,1	158,0	34,0	40,5	152,6	33,7	40,1	183,0	33,4	38,7	199,7	33	36,2
8,0	134,5	66,1	76,7	136,0	65,1	74,8	141,1	64,1	73,7	158,4	62,9	72,3	181,1	62	71,5
12,5	141,8	102,0	117,3	147,3	100,1	115,1	153,0	98,4	112,1	174,6	96,3	110,3	193,6	94	107,8
16,5	160,3	160,6	172,6	164,6	157,9	168,9	172,9	155,5	164,5	172,2	153,0	160,2	213,8	151	159,1
20,0	169,7	191,0	188,0	175,2	177,9	181,9	183,8	174,8	177,8	213,5	171,3	172,3	226,9	169	171,4
24,0	178,9	211,0	221,0	185,5	207,9	217,0	195,4	204,8	214,8	236,2	201,3	210,6	253,6	192	208,2
36,0	192,6	291,5	290,5	202,0	284,2	284,1	208,6	280,8	281,1	259,0	276,8	278,8	272,6	273	277,2
47,0	174,9	389,3	381,1	183,0	381,6	378,1	194,4	372,6	374,6	227,6	369,3	372,8	244,5	365	371,6

Таблица 2

Материал	Скорость резания v , м/мин	γ	$\sigma_{сж}$	$\sigma'_{сж}$	$l_{сж доп}$ для Т5К10
ж. Арыко	3	1,8	170,8	307	400
	8	1,8	172,8	311	400
	20	1,8	189,2	340	400
	36	1,8	211,6	381	400
Сталь У8А	3	1,8	197,6	356	400
	8	1,8	207,0	373	400
	20	1,8	224,6	404	400
	36	1,8	249,0	448	400

Уместно отметить, что величины $\sigma'_{сж}$ получены при допущении, что площадь контакта стружки с передней поверхностью резца равна площади сечения среза. В действительности первая бывает всегда больше последней, причем, с увеличением скорости резания она уменьшается. Сказанное говорит о том, что величины $\sigma'_{сж}$, представленные в табл. 2, при учете значения площади контакта стружки с передней поверхностью резца, примут значения, отличные от приведенных. Однако, независимо от принятого допущения, важно то, что с увеличением скорости резания, при сравнительно больших ее значениях, $\sigma'_{сж}$ или равна допускаемой величине $[\sigma_{сж}]_{доп}$ или превосходит ее. Из этого вытекает, что начиная со скорости 20 м/мин и больше, при ударе резца об обрабатываемый материал, должна происходить поломка кончика передней поверхности твердосплавного режущего материала. В результате образуется фаска на задней поверхности резца, не всегда имеющая правильную геометрическую форму. Такая картина и наблюдается в действительности. Появление фаски в свою очередь приводит к увеличению сил на задней поверхности резца и, тем самым, к увеличению составляющих силы резания.

Обобщая вышесказанное, можно предложить следующий механизм влияния скорости резания в диапазоне ее изменения 3–47 м/мин на силы резания.

С увеличением скорости резания в диапазоне примерно 3–8 м/мин составляющие силы резания уменьшаются, подобно уменьшению усадки стружки. Здесь, в основном, сказывается влияние скорости деформации в зоне стружкообразования, так как условия трения на задней поверхности резца практически остаются постоянными. Дальнейшее увеличение скорости, не превышающей величину примерно 20 м/мин, условия трения на задней поверхности значительно изменяются.

Согласно данным [4], при таких скоростях резания температура на задней поверхности резца не превышает 250–350 °С. При этом коэффициент трения на задней поверхности достигает своего максимального значения. Увеличение последнего приводит в свою очередь к возрастанию силы трения на задней поверхности резца.

Таким образом, возрастание сил резания при увеличении скорости от 8 до 20 м/мин объясняется в основном ростом сил трения на задней поверхности реза вследствие повышения значений коэффициента трения.

С увеличением скорости резания в диапазоне примерно от 20 до 36 м/мин коэффициент трения на задней поверхности реза незначительно уменьшается (так как температура не превышает 450°C), а ширина фаски износа значительно возрастает. В результате — увеличение составляющих сил резания в указанной зоне увеличения скорости.

Дальнейшее увеличение скорости резания от 36 м/мин до предельного значения 47 м/мин приводит к небольшому уменьшению сил резания. Причина заключается в том, что увеличение скорости при этом приводит, с одной стороны, к небольшому возрастанию фаски износа, с другой стороны, к значительному уменьшению коэффициента трения на задней поверхности реза. Значительное уменьшение коэффициента трения и является преобладающим фактором, приводящим к уменьшению составляющих сил резания при увеличении скорости до ее предельного значения.

Конечно, вышеуказанные диапазоны изменения скорости резания, с точки зрения различного их влияния на процесс резания в целом, условны. В действительности, для каждого обрабатываемого металла эти диапазоны будут различны в связи с тем, что с изменением механических свойств обрабатываемого металла максимумы и минимумы сил резания должны получаться не при одних и тех же скоростях резания.

Մ. Վ. ԿԱՍՅԱՆ, Է. Զ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Է. Բ. ԲԱՂՉԱՍԱՐՅԱՆ

ԽԱՆԴԻՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿԻ ՀԱՐՎԱԾԻ ՈՒԺԻ ԵՎ ԿՏՐԻՄԱՆ ՈՒԺԻՐԻ
ՓՈՓՈԽՄԱՆ ԲՆՈՒՆՔԻ ԿԱՊԻ ՄԱՍԻՆ

Ա. Մ. Փ. Մ. Փ. Մ. Փ.

Հետազոտված է ուսնդման ժամանակ կտրման ուժերի բաղադրիչների փոփոխման ֆիզիկական էությունը, կապված հարվածի ուժի հետ:

Ստացված է հարվածի ուժի հաշվարկային և փորձնական մեծությունները մշակվող նյութի մեջ կտրիչի ներկտրման ժամանակ: Հաստատված է, որ սկսած կտրման արագության որոշակի նշանակությունից, կտրիչի և մշակվող նյութի հարվածի հետևանքով, գործիքի հետևի նիստի վրա առաջանում են մաշման նկատելի հետքեր, մաշման երեսակը հիշեցնող: Հետևաբար, կտրիչի հետևի նիստի վրա գործող ուժերը մեծանում են, մեծացնելով կտրման ուժերի համապատասխան բաղադրիչները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Работнов Ю. Н.* Сопротивление материалов. Физматгиз, 1961.
2. *Штаерман И. Я.* Контактная задача теории упругости. Матиздат, 1949.
3. *Безухов Н. И.* Теория упругости и пластичности. 1953.
4. *Резников А. Н.* Температура и охлаждение режущих инструментов, Куйбышев, 1959.