

УДК 621.91.01

РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ПРЕРЫВИСТОГО РЕЗАНИЯ

М.М. Симонян, М.О. Навоян, М.С. Саркисян

Национальный политехнический университет Армении, Ванадзорский филиал

Существующие теоретические и экспериментальные исследования в области хрупкой прочности твердосплавного клина и в контактной, и в законтактной зонах (Т.Н. Лоладзе, М.Ф. Полетика, А.И. Бетанели и др.) носят приближенный характер и имеют один существенный недостаток: они не учитывают ударные явления, возникающие в переходном процессе врезания режущего клина в обрабатываемый материал. Результаты известных исследований показывают, что хрупкое разрушение режущего клина происходит в основном в законтактной зоне. Этому способствует “всплеск” напряжений на передней поверхности инструмента в зоне контакта со стружкой, что можно объяснить задержкой между увеличением контакта “инструмент-стружка” и увеличением динамической составляющей силы резания, т.к. сила удара достигает своего максимального значения до достижения полного сечения среза на передней поверхности инструмента.

Проведенные нами экспериментальные исследования с учётом требований, предъявляемых к преобразующей и регистрирующей аппаратуре для измерения быстропротекающих процессов, показывают, что в режиме прерывистого резания в момент входа инструмента в обрабатываемый материал происходит ударный “подскок” силы резания, который в зависимости от параметров режима резания, вида обрабатываемого материала, жесткости системы СПИД и геометрии инструмента может превышать силы установившегося процесса резания до 2,2 раза, что, безусловно, следует учесть в прочностных расчётах твердосплавного клина.

В статье рассмотрены вопросы прочности твердосплавного режущего клина в контактной зоне при прерывистом резании. Впервые сделана попытка определения контактных нагрузок с учётом ударной силы для случая распределения контактных динамических напряжений по параболическому закону.

Ключевые слова: прочность, режущий клин, твердосплавная пластина, прерывистое резание, контактная нагрузка.

Введение. Известно, что при расчете действующих контактных напряжений, согласно принципу Сен-Венана, необходимо учитывать детальный способ приложения нагрузок, т.е. характер (закон) распределения этих нагрузок [1]. Из литературных источников также известно, что при обработке материалов

резанием эпюра контактных нормальных напряжений по передней поверхности режущего клина может быть прямоугольной, треугольной, параболической и т.п. [1-3]. Расчет контактных напряжений, распределенных по прямоугольной и треугольной эпюрам, приведен в работе [4].

При выявлении характера распределения напряжений в зоне контакта стружки и инструмента наглядным примером является метод динамической фотоупругости, но инструментальный материал, используемый для этой цели и проявляющий при нагружении оптическую анизотропию, пригоден лишь для моделирования процесса резания на малых скоростях и при низких температурах режущей части клина [1, 2]. Нужно также отметить, что многочисленные эксперименты, проведенные для исследования переходного процесса врезания инструмента в обрабатываемый материал с учётом амплитудно-частотных и линейности фазочастотных характеристик (АФЧХ) ударно-измерительной аппаратуры, показывают, что в процессе врезания инструмента имеет место “всплеск” силы резания (удар), величина которого в зависимости от параметров резания, жесткости системы СПИД, вида обрабатываемого материала и геометрии инструмента может превышать силы квазиустановившегося процесса резания в 1,1...2,2 раза [5].

Результаты исследований, проведенных в работе [4], показывают, что динамические напряжения, возникающие вследствие изгиба твердосплавной пластины в контактной зоне при начальном контакте режущего клина и заготовки, рассчитанные для условий распределения контактных нормальных динамических напряжений по равномерной и треугольной эпюрам, не превышают допустимое значение для инструментального материала. В работе [6] констатируется, что хрупкое разрушение твердосплавных инструментов происходит в основном в законтрактной зоне. Однако следует отметить, что при определенных режимах прерывистой обработки хрупкое разрушение от ударных нагрузок может иметь место и в контактной зоне при любом виде распределения контактных нагрузок. Этому может способствовать “всплеск” силы удара при врезании (рис. 1, 2), о чём свидетельствуют заводская практика и результаты исследований [6], а также задержка увеличения сечения среза на передней поверхности режущего твердосплавного клина в переходном периоде врезания [4, 5, 7].

Постановка задачи и методы исследования. Целью исследования является определение нормальных контактных напряжений от изгиба твердосплавной пластины в переходном процессе врезания режущего клина в случае распределения этих напряжений по параболической эпюре. Распределение контактных нормальных напряжений σ_n вдоль ширины контакта b_k при параболической эпюре (рис. 3 а и б) выражается формулой [6]

$$\sigma_N = \sigma_M [1 - (r/l_k)^n], \quad (1)$$

где σ_N - контактные нормальные напряжения у режущей кромки; σ_M - максимальное нормальное напряжение; n - показатель степени параболы.

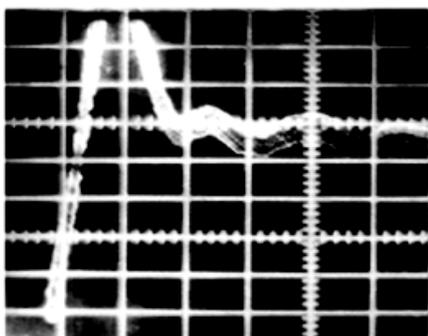


Рис.1. Стругание стали 45:
 $V=48$ м/мин, $s=0,75$ мм/дв. ход, $t=4$ мм,
 $P_{Z_{\text{дин}}} / P_Z = 1,6$, 1 дел. = 2,5 мс

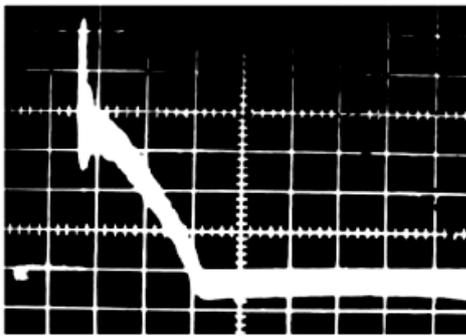


Рис.2. Стругание стали 12X18H9Т с медленно
 уменьшающимся сечением среза: $V=48$ м/мин,
 $s=0,75$ мм/дв. ход, $t=4$ мм, $P_{Z_{\text{дин}}} / P_Z = 1,85$,
 1 дел.=5 мс

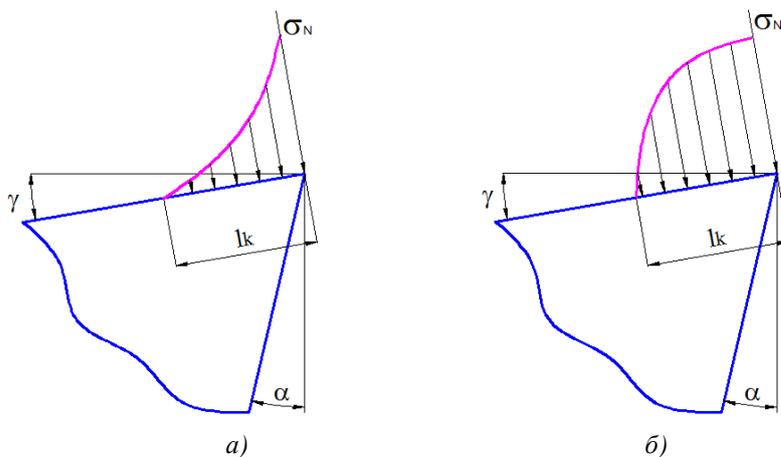


Рис.3. Параболические эпюры нормальных контактных напряжений [6]:
 а - вогнутая ($\gamma < 0$, $n < 1$), б - выпуклая ($\gamma > 0$, $n > 1$)

Показатель степени параболы определяется по формуле [1]

$$n = 2\{(\tau_k / \alpha \cdot K_i[\mu_c + \text{tg}(\theta - \gamma)]) - 1\}. \quad (2)$$

С достаточной точностью для практических расчетов можно принять [6]

$$\mu_c = \mu,$$

где μ_c - средний коэффициент трения по ширине контакта; μ - коэффициент трения между стружкой и передней поверхностью режущего клина.

Величина μ приближенно может быть определена по формуле, предложенной Т.Н. Лоладзе [1, 8]:

$$\mu \approx \mu_c = 1 / 2 (1,285 - \gamma). \quad (3)$$

Можно предположить, что для одной и той же нормальной силы, действующей на переднюю поверхность, площади прямоугольной, треугольной и параболической эпюр равны [6]

$$S = \int_0^{l_k} \sigma_N [1 - (r/l_k)^n] \cdot dr = (n/n+1) \cdot \sigma_{Nap} \cdot l_k = \sigma_{Np} \cdot l_k = 0,5 \sigma_{Nmp} \cdot l_k, \quad (4)$$

$$\sigma_{Nap} = \sigma_{Np} \cdot (n + 1) / n. \quad (5)$$

Значения максимальных изгибающих динамических напряжений в контактной зоне, рассчитанные для условий распределения контактных нормальных напряжений по параболической и треугольной эпюрам, приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Расчетные данные для оценки прочности инструмента в контактной зоне
(параболическое распределение)

Расчетные элементы	Обрабатываемый материал		
	Сталь 40X	Сталь 45	Железо Армко
V, м/мин	48	48	48
a, мм	0,433	0,433	0,433
b, мм	1,7	1,7	1,7
h, мм	7	7	7
σ_c , кг/мм ²	56,25	41,65	29,79
K, кг/мм ²	421,4	421,4	421,4
$[\sigma_{BP}]_{T15K10}$, кг/мм ²	72,52	72,52	72,52
$[\sigma_{изг}]_{T15K10}$, кг/мм ²	117,6	117,6	117,6
E_{T15K10} , кг/мм ²	4,1·10 ⁴	4,1·10 ⁴	4,1·10 ⁴
Выл. резца l_p , мм	50	50	50
b x h, мм ²	20·30	20·30	20·30
K _{дин}	1,62	1,82	1,76
$\sigma_{изг.дин.пар.(тр)}$, кг/мм ²	44,5	43,13	45,76
$\sigma_{изг.дин.пар.(тр)} / [\sigma_{BP}]_{T15K10}$	0,38	0,37	0,4

Таблица 2

Расчетные данные для оценки прочности инструмента в контактной зоне
(треугольное распределение)

Расчетные элементы	Обрабатываемый материал		
	Сталь 40Х	Сталь 45	Железо Армко
$V, \text{ м/мин}$	48	48	48
$\alpha, \text{ мм}$	0,433	0,433	0,433
$b, \text{ мм}$	1,7	1,7	1,7
$h, \text{ мм}$	7	7	7
$\sigma_c, \text{ кг/мм}^2$	56,25	41,65	29,79
$K, \text{ кг/мм}^2$	421,4	421,4	421,4
$[\sigma_{BP}]_{T15K10}, \text{ кг/мм}^2$	72,52	72,52	72,52
$[\sigma_{изд}]_{T15K10}, \text{ кг/мм}^2$	117,6	117,6	117,6
$[\sigma_{изг.д.}], \text{ кг/мм}^2$	38,2	34,6	48,4
$E_{T15K10}, \text{ кг/мм}^2$	$4,1 \cdot 10^4$	$4,1 \cdot 10^4$	$4,1 \cdot 10^4$
Выл. резца $l_p, \text{ мм}$	50	50	50
$b \cdot h, \text{ мм}^2$	20·30	20·30	20·30
$K_{дин}$	1,60	1,82	1,68
$\sigma_{изг.дин.пар.(тр)}, \text{ кг/мм}^2$	61,12	63,0	81,31
$\sigma_{изг.дин.пар.(тр)} / [\sigma_{BP}]_{T15K10}$	0,52	0,54	0,70

Результаты исследования. Многочисленными экспериментами, проведенными поляризационно-оптическим методом, результаты которых приведены в работах [1, 3 и др.], установлено, что параболические эпюры являются вогнутыми при отрицательных величинах переднего угла, при которых показатель степени параболы $n < 1$, и выпуклыми – при $n > 1$. С увеличением толщины среза вогнутость эпюры уменьшается, а величина показателя степени возрастает [1, 6].

Сравнение результатов, приведенных в табл.1, 2, показывает, что динамические напряжения, возникающие вследствие изгиба твердосплавной пластины в переходном процессе врезания режущего клина в обрабатываемый материал, для условия распределения контактных напряжений по треугольной эпюре больше контактных нормальных напряжений по параболической эпюре.

Выводы. Обобщая результаты данного исследования и результаты, приведенные в работе [4], можно утверждать, что наибольшее значение динамических контактных изгибающих напряжений имеет место при треугольной эпюре контактных напряжений, действующих на переднюю поверхность, а наименьшее – при прямоугольной (равномерной) эпюре.

Литература

1. **Лоладзе Т.Н.** Прочность и износостойкость режущего инструмента.- М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.
2. **Подураев В.Н.** Резание труднообрабатываемых материалов. – М.: Высшая школа, 1974. – 590 с.
3. **Андреев Г.С.** Контактные напряжения при периодическом резании // Вестник машиностроения. – М., 1969. - №8. – С. 63-66.
4. **Симонян М.М.** Расчет действующих напряжений в контактной зоне режущего твердосплавного клина с учетом динамики нагружения при прерывистом резании // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.–2012.–Т.65, №2. – С. 134-141.
5. **Симонян М.М.** О некоторых явлениях переходного периода процесса прерывистого резания при врезании инструмента в заготовку // Вестник машиностроения. – М., 2005. - №10. - С. 50-52.
6. **Беганели А.И.** Прочность и надежность режущего инструмента. – Тбилиси: Сабчота Сакартвело, 1973. – 304 с.
7. **Симонян М.М., Балаян В.А., Казарян Н.Э.** О методике экспериментального исследования температурных, адгезионных и ударных явлений при прерывистом резании // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. - November-December, 2014. – С.43-47.
8. **Полетика М.Ф.** Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. - М.: Машиностроение, 1969. – 148 с.

*Поступила в редакцию 11.04.2017.
Принята к опубликованию 14.06.2017.*

ԿՈՆՏԱԿՏԱՅԻՆ ԴԻՆԱՄԻԿ ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ ԸՆԴՀԱՏ ԿՏՐՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՈՒՄ

Մ.Մ. Սիմոնյան, Մ.Հ. Նավոյան, Մ.Ս. Սարգսյան

Կարծր համաձուլվածքային կտրող սեպի փխրուն քայքայման բնագավառում գոյություն ունեցող տեսական և փորձնական հետազոտությունները (Տ.Ն.Լոլաձե, Մ.Ֆ.Պոլետիկա, Ա.Ի.Բետանելի և ուրիշներ) կրում են մոտավոր բնույթ և ունեն մեկ էական թերություն. նրանցում հաշվի չեն առնված կտրող սեպի մշակվող նախապատրաստվածքի մեջ ներխուժման անցումային գործընթացում առաջացող հարվածային երևույթները:

Հայտնի հետազոտությունների արդյունքները ցույց են տալիս, որ կտրող սեպի քայքայումը տեղի է ունենում հիմնականում հետկոնտակտային գոտում: Սակայն նյութերի ընդհատ կտրմամբ մշակման բնագավառում կարծր համաձուլվածքային գործիքների շահագործման պրակտիկայում հայտնի են կտրող սեպի քայքայման ոչ քիչ դեպքեր կոնտակտային գոտում: Դրան կարող է նպաստել տաշեղի և գործիքի առջևի նիստի հպման տեղամասում առաջացող լարումների ցուլը, որը կարելի է բացատրել գործիք-տաշեղ կոնտակտի աճման ուշացումով՝ կտրման ուժի դինամիկ բաղադրիչի աճման համեմատ, քանի որ հարվածի ուժը հասնում է իր առավելագույն արժեքին՝ մինչև գործիքի առջևի նիստի վրա կտրման հատույթի լրիվ ձևավորումը:

Արագընթաց պրոցեսների չափման վերափոխող և գրանցող սարքերին ներկայացվող պահանջների հաշվառումով մեր կողմից կատարված փորձերը ցույց են տալիս, որ ընդհատ կտրման ռեժիմում մշակվող նախապատրաստվածքի մեջ գործիքի ներխուժման պահին տեղի է ունենում կտրման ուժի ցատկ, որը, կախված կտրման ռեժիմի պարամետրերից, մշակվող նյութի տեսակից, հաստոց-հարմարանք-գործիք-դետալ համակարգի կոշտությունից և գործիքի երկրաչափությունից, կարող է մինչև 2,2 անգամ գերազանցել կայունացված գործընթացի կտրման ուժը, ինչը անպայմանորեն պետք է հաշվի առնել կարծր համաձուլվածքային սեպի ամրության հաշվարկներում:

Դիտարկվել են կոնտակտային գոտում ընդհատ կտրման դեպքում կարծր համաձուլվածքային կտրող սեպի ամրության հետ կապված հարցեր: Առաջին անգամ կատարվել է կոնտակտային բեռնվածքի որոշման փորձ՝ հարվածային ուժի հաշվառումով, կոնտակտային դինամիկ լարումների պարաբոլական օրենքով բաշխման դեպքի համար:

Առանցքային բաներ. ամրություն, կտրող սեպ, կարծր համաձուլվածքային թիթեղիկ, ընդհատ կտրում, կոնտակտային բեռնվածություն:

CALCULATING THE DYNAMIC CONTACT STRESSES AT INTERRUPTED CUTTING

M.M. Simonyan, M.H. Navoyan, M.S. Sargisyan

The existing theoretical and experimental research in the sphere of fragile solidity of carbide wedge within and out of the contact zone (T. N Loladze, M. F. Poletika, A. I. Betaneli, etc) have an approximate character . An essential drawback of the latter is that they do not take into consideration the impact phenomena arising in the transient process of inserting a cutting wedge into the material being processed. The results of the known research show that tail destructions of the cutting wedge basically take place out of the contact zone. This can be facilitated by the peak of stresses on the front surface of the tool in the area of the contact with the chips which can be explained by the delay between the increase of the “tool-chips” contact and the increase in the dynamic component of the cutting force, as the force of the impact reaches its maximum value before the total cross section of the cut is reached on the front surface of the tool. The experimental studies we conducted, considering the requirements for converting and recording the equipment for measuring fast processes, show that in the intermittent cutting mode, when the tool enters the material to be processed, a shock jump of the cutting force occurs, which, depending on the parameters of the cutting regime, the type of the processed material and the rigidity of the of the MDID system(Machine-tool-Device-Instrument-Detail system), can exceed the forces of the cutting process by 2,2 times which certainly must be taken into consideration in solidity calculations of the carbide wedge. The article deals with the issues of solidity of carbide tools in the contact zone of the cutting wedge with intermittent cutting. For the first time, an attempt has been made to determine the contact loads considering the shock force for the case of distribution of contact dynamic stresses according to the parabolic law.

Keywords: solidity, cutting wedge, carbide- tipped plate, intermittent cutting, contact load.