

УДК 629.04

МАШИНОСТРОЕНИЕ

DOI: 10.53297/18293387-2022.2-44

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ КОЛЕБАНИЙ И
АДГЕЗИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ НА СТОЙКОСТЬ ТВЕРДОСПЛАВНОГО
ИНСТРУМЕНТА ПРИ ПРЕРЫВИСТОМ РЕЗАНИИ**

М.М. Симонян, М.О. Навоян, Н.Э. Казарян

Национальный политехнический университет Армении

Износ режущих поверхностей инструмента при обработке металлов резанием представляет сложный комплекс одновременно действующих нескольких механизмов разрушения, степень влияния которых зависит от условий контактного взаимодействия между обрабатываемым материалом и инструментом. Практика эксплуатации режущих инструментов показывает, что значительная их часть подвергается хрупкому разрушению в виде выкрашиваний и сколов.

Интенсивность хрупкого разрушения возрастает при прерывистых процессах резания, особенностью которых является наличие чередований рабочих и холостых ходов, т.е. переходных процессов, протекающих при врезании и выходе инструмента из зоны резания, которые вызывают циклические воздействия силового и теплового характера на хрупкий материал инструмента, приводят к его интенсивному износу и усталостному разрушению, а наличие удара при врезании может привести к преждевременному выходу инструмента из строя вследствие хрупкого разрушения.

В процессе резания сталей между инструментом и обрабатываемым материалом возникают условия, благоприятствующие адгезионному схватыванию, требующему сближения трущихся поверхностей на расстоянии порядка параметра кристаллической решетки поликристалла, что приводит к схватыванию стружки с поверхностью режущего клина на выходе из зоны резания и ее отрыву с частицами материала инструмента при последующем врезании.

Мнения о причинах хрупкого разрушения инструмента не однозначны: одни считают причиной термоусталостный характер нагружения инструмента, другие – ударный характер силы при врезании инструмента в обрабатываемый материал.

Существует также мнение, что при резании вязких, склонных к адгезии с материалом инструмента металлов, особенно жаропрочных и нержавеющей сталей, большое влияние на стойкость инструмента могут оказать адгезионные (застойные) явления, проявляющиеся в схватывании стружки с поверхностью режущего клина на выходе из зоны резания и ее отрыве при последующем врезании. Способность материалов к адгезионному схватыванию резко возрастает при температурах, близких к температуре рекристаллизации $t_p = (0,3 \dots 0,5)t_{\text{пл}}$.

Ключевые слова: прерывистое резание, разрушение, стойкость, температура, адгезия, переходные процессы.

Введение. Закономерности износа твердосплавного режущего клина в прерывистых процессах резания отличаются от таковых при непрерывном резании, что обусловлено наличием рабочих и холостых ходов, усталостными разрушениями, возникновением и исчезновением полностью или частично застойных образований в зонах контакта режущего лезвия, а также спецификой переходных процессов при врезании в заготовку и выходе из нее режущего клина.

Влияние адгезионных явлений на стойкость твердосплавных инструментов наиболее ярко проявляется при прерывистом резании, т.к. эти явления, протекающие на контактных поверхностях клина, дестабилизируют силу резания, воздействуют на температуру резания, коэффициент трения и другие параметры процесса резания. Периодически повторяющаяся циклическая нагрузка способствует возникновению и отделению “застойных частиц” от рабочих поверхностей режущего клина, что снижает его прочность и усиливает процесс его разрушения, а при выходе инструмента из заготовки, как правило, стружка, приварившаяся с адгезионно налипшим слоем на гранях инструмента, при последующем врезании отпадает, что приводит к полному или частичному отрыву застойных частиц с частицами материала инструмента.

Анализ существующих методов исследования и постановка задачи.

Циклически действующие переменные тепловые нагрузки при прерывистом резании способствуют термоусталости и возникновению микротрещин на контактных поверхностях твердосплавного инструмента, которые в определенных условиях могут вызвать выкрашивание режущих кромок. Сочетание тепловых и адгезионных воздействий в зависимости от условий резания может привести к хрупкому разрушению в виде вырывания крупных или мелких частиц материала инструмента [1-5].

На рис. 1 приведено изменение температуры режущего клина при резании и холостом ходе.

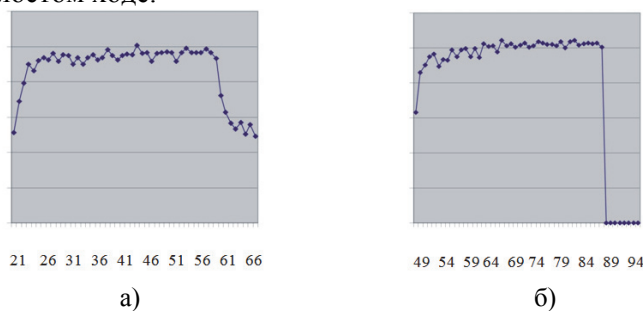


Рис. 1. Измерение температуры при врезании и установившемся резании:
а - составным резцом; б - естественной термопарой

Как видно из рисунка, при врезании инструмента в заготовку происходит резкое нарастание температуры, а в самом процессе резания

изменения температуры незначительны. На рис. 2 показан характер изменения температуры во времени при резании и холостом ходе инструмента, записанный с применением составного резца.

В современной литературе неоднократно высказывается мнение о том, что работоспособность твердосплавного инструмента в значительной степени зависит от отношения $t_{раб} / t_{хол}$ или $t_{раб} / (t_{раб} + t_{хол})$, и при этом существуют три основных подхода в оценке влияния указанных факторов (тепловых нагрузок) на стойкость инструмента, а именно: при периодическом нагреве и, особенно, при охлаждении термоциклические воздействия являются основной причиной пониженной стойкости твердого сплава режущего инструмента [6,7]; тепловые нагрузки имеют малое влияние на стойкость инструмента [8,9]; охлаждение твердосплавного режущего клина при холостом ходе может влиять на стойкость режущего лезвия положительно [10], но не исключено и отрицательное влияние холостого хода на стойкость при условии полного теплового насыщения режущего клина во время рабочего хода [10,11].

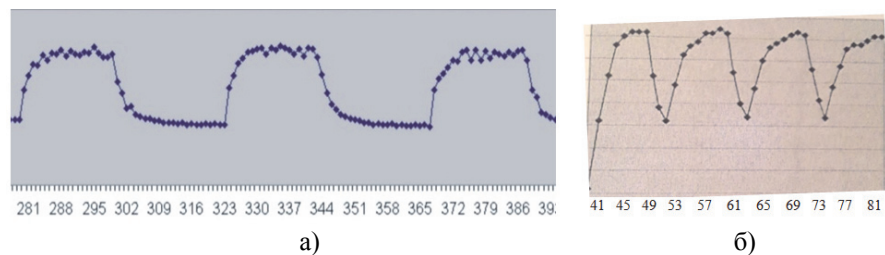


Рис. 2. Фрагменты изменения температуры во времени при прерывистом резании (нагревание во время рабочего хода и охлаждение во время холостого хода):
а - $t_{раб} = 0,15$ с, $t_{хол} = 0,18$ с; б - $t_{раб} = 0,0525$ с, $t_{хол} = 0,0225$ с. Обработываемые материалы и инструмент: а - сталь 45 – ВК8; б - Х18Н9Т – ВК8

Методика исследования. Несоответствие в выводах исследователей в вопросе о влиянии тепловых воздействий на стойкость твердосплавного инструмента при прерывистом резании, по нашему мнению, объясняется неоднозначностью методик проведенных исследований и постановки экспериментов, в которых не были разделены или исключены влияния отдельных факторов, определяющих процесс. Поэтому для четкой оценки роли влияния адгезионных (застойных) явлений на стойкость инструмента разработана методика эксперимента, позволяющая исключить либо выдержать неизменными воздействия на выходной параметр процесса остальных влияющих факторов: переходных процессов, протекающих при врезании клина в заготовку и выходе из нее; термоциклических воздействий; растягивающих напряжений при выходе клина из контакта [12]. Сложность оценки влияния конкретного фактора, например теплового или адгезионного, на стойкость инструмента заключается в том, что влияние прочих факторов обусловлено особенностями самого процесса резания, и они проявляются совместно. Заметим, что влияние охлаждения и нагрева клина на его стойкость

обычно исследовалось при фрезеровании, строгании и прерывистом точении заготовок с продольными пазами и в условиях наличия адгезии. Причем, игнорируя влиянием ударных и адгезионных явлений и меняя длительности рабочих и холостых ходов в процессе обработки, сделан вывод о том, что первопричиной низкой стойкости твердосплавного инструмента являются термоциклические нагрузки [7].

В проведенных нами экспериментах измерение и регистрация износа инструментов и высоты нароста проведены инструментальным микроскопом ИМЦ100А с отсчетным устройством и цифровой фотокамерой в сочетании с компьютером.

Исследования показывают, что при обработке серых чугунов, когда адгезионные явления отсутствуют или проявляются слабо, разница между стойкостями инструментов при непрерывной и прерывистой обработке не существенна (рис. 3).

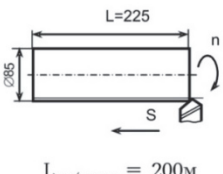
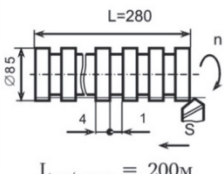
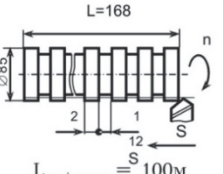
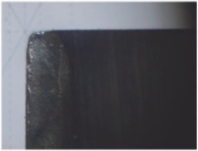
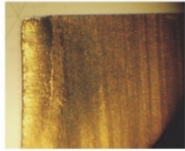
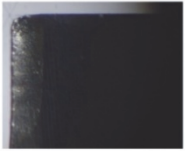
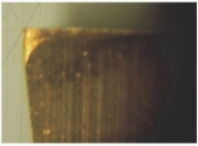
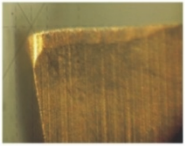
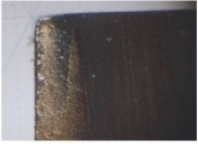
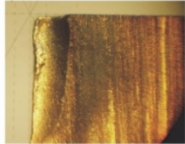
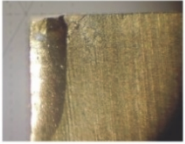
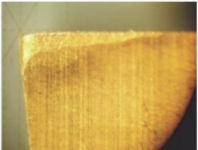
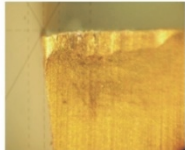
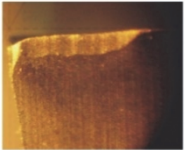
Изучение влияния термоциклических воздействий на работоспособность твердосплавных инструментов при разной степени их воздействия в процессе прерывистой обработки чугунных заготовок осуществлено проведением ряда испытаний путем варьирования длин путей и режимов резания, длительностей рабочих и холостых ходов и их отношений $t_{\text{раб}}/t_{\text{хол}}$; $t_{\text{раб}}/(t_{\text{раб}} + t_{\text{хол}})$. Результаты одного из таких опытов приведены на рис. 3 а,б.

Оценка стойкостей инструментов производилась сравнением износов по главным задним поверхностям. В экспериментах была поставлена задача выявления влияния не только прерывистости обработки, но и числа циклов нагружений (“врезание – выход”) на стойкость инструмента.

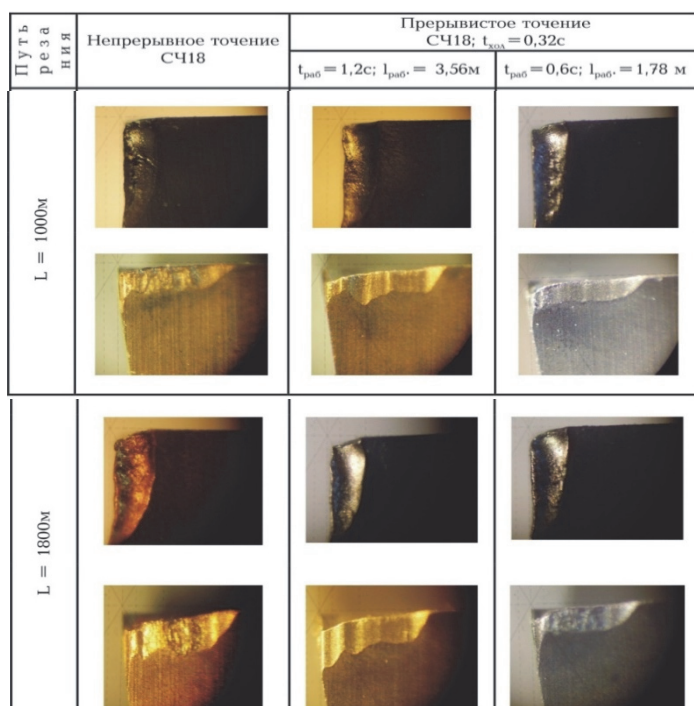
Исследования проводились при прерывистом точении рабочих шеек, имеющих в одном случае длины $l_{\text{ш}} = 4 \text{ мм}$ ($t_{\text{раб}} = 1,2 \text{ с}$), а в другом – $l_{\text{ш}} = 2 \text{ мм}$ ($t_{\text{раб}} = 0,6 \text{ с}$), что дает возможность при постоянной длине обработки на каждом проходе увеличить число циклов входа и выхода резца из заготовки в два раза (рис. 3) и оценить влияние числа циклов “нагружение-разгружение” на стойкость инструмента.

Результаты проведенных исследований показали также, что в случае отсутствия удара при врезании и исключения условий выхода из зоны резания при обработке серых чугунов не происходит хрупкого разрушения твердосплавных пластин от термоциклических воздействий, и износ режущего лезвия носит преимущественно абразивный характер. Этот вывод подтверждается и увеличением числа циклов нагружений (“врезание-выход”). При длине пути резания $L = 1800 \text{ мм}$ на рабочих поверхностях всех инструментов наблюдались приблизительно одинаковые по характеру следы изнашивания. Величины износов по главным задним поверхностям в основном были равны (рис. 4). При непрерывной и прерывистой обработке заготовок из стали 45 и чугуна СЧ20 наростообразование изучено в зависимости от режимов резания. Методика эксперимента отличается от иных тем, что

позволяет при изменении режимов резания обеспечить постоянство длительности холостого хода, дающее возможность оценить влияние скорости резания в качестве теплового фактора [12].

Путь резания	Непрерывное точение СЧ18	Прерывистое точение СЧ18; $t_{хол} = 0,32с$	
		$t_{раб} = 1,2с; l_{раб} = 3,56м$	$t_{раб} = 0,6с; l_{раб} = 1,78 м$
	 $L=225$ $\varnothing 85$ $L_{рез/проход} = 200м$	 $L=280$ $\varnothing 85$ $L_{рез/проход} = 200м$	 $L=168$ $\varnothing 85$ $L_{рез/проход} = 100м$
	$V = 168,1 м/мин; S = 0,3 мм/об; t = 1,0 мм$		
$L = 200м$			
			
$L = 400м$			
			

а)



б)

Рис. 3. Микрофотографии рабочих поверхностей инструментов из ВК8 при непрерывном и прерывистом точении при различных циклах нагружений:

а - L до 400 мм, б - L до 1800 мм

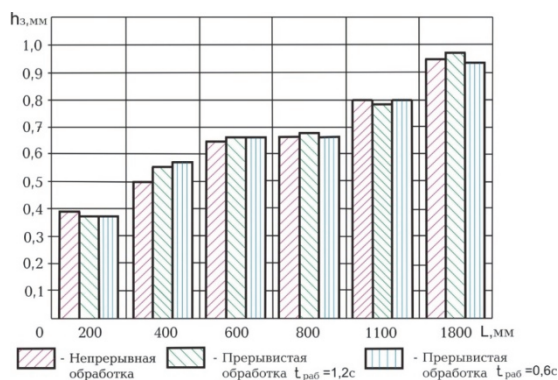


Рис. 4. Зависимость величины износа h_3 от длины пути резания при непрерывном и прерывистом точении чугуна СЧ18 с различными циклами нагружений

Для изучения влияния адгезии и теплового фактора на процесс изнашивания клина нужно было провести серию сравнительных стойкостных испытаний при постоянных циклически действующих тепловых воздействиях, обеспечивая также постоянство влияния циклических силовых нагрузок. В

экспериментах наличие адгезии достигалось обработкой стали 45, а ее исключение - обработкой чугуна СЧ20 ввиду его слабой адгезии с твердым сплавом. Имея предварительные данные, режимы резания подбирались из условия постоянства тепловых и силовых нагрузок (см. табл.).

Таблица
Режимы и условия обработки стали 45 и чугуна СЧ20

Материал обраб. заготовки	Температура, θ , °C	Главная состав. сила резания, P_z , Н	Режимы резания			Диаметр и длина заготовки		Длина рабочих и холостых ходов		Длина резания, $L_{рез}$, мм	Время хода, $t_{хол}$, с
			V , м/мин	S , мм/об	t , мм	D , мм	L_z , мм	$l_{раб}$, мм	$l_{хол}$, мм		
Сталь 45	640	250	91	0,20	0,6	29	200	1,0	1,0	455	0,3
Чугун СЧ20	660	300	149,2	0,20	1,0	29,7	141	0,98	1,86	457	0,35

Следует отметить, что при одинаковых толщинах среза ширина контакта стружки по передней грани клина при резании чугуна СЧ20 будет меньше ширины контакта при резании стали 45, что обусловлено формой образующейся стружки и более высокой скоростью резания.

Приведенные рассуждения и известные данные подтверждают, что величины контактных давлений при резании чугуна СЧ20 будут выше, чем при резании стали 45. Длины путей резания и число циклов при обработке заготовок сохранялись постоянными.

Микрофотографии износов контактных поверхностей твердосплавного клина показаны на рис. 5.

На рис. 6 представлены результаты сравнительных испытаний, проведенных в идентичных термосиловых условиях. Из рис. 5 и 6 видно, что в случае обработки серого чугуна наблюдается равномерный износ рабочих поверхностей клина без заметных следов адгезионного износа, который после пути резания $L = 4387$ м составил $h_3 = 0,54$ мм, в то время как при обработке стали при длине пути резания $L = 2275$ м испытания прекратились ввиду интенсивного адгезионного разрушения режущего клина.

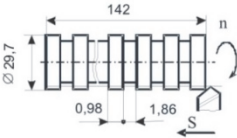
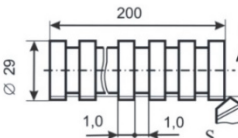
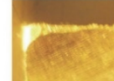
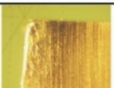
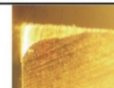
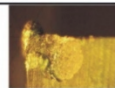
Серый чугун СЧ20		Сталь 45	
Схемы обработки			
			
V=149.2 м/мин; S=0.20мм/об; t=1.0мм		V=91 м/мин; S=0.20 мм/об; t=0.6мм	
передн. поверхн.	гл. задн. поверхн.	передн. поверхн.	гл. задн. поверхн.
			
L = 91м	L = 91 м		
			
L = 2194м	L = 910м		
			
L = 2925 м	L = 1456 м		
			
L = 4387 м	L = 2275 м		

Рис. 5. Микрофотографии износов (разрушений) контактных поверхностей твердосплавных инструментов из ВК8 при прерывистой обработке чугуна СЧ20 и стали 45 под воздействием одинаковых циклически действующих теплосиловых нагрузок

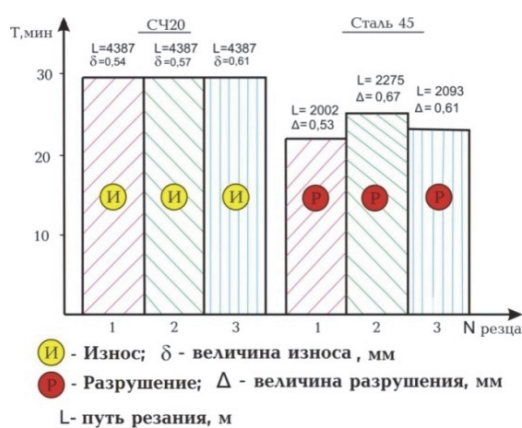


Рис. 6. Стойкость инструментов при прерывистой обработке чугуна СЧ20 и стали 45

Выводы. Результаты исследований показали, что:

1) при прерывистом резании пластичных материалов с выходом инструмента из зоны резания даже с нулевой толщиной среза имеют место адгезионные (застойные) явления;

2) при прерывистой обработке пластичных материалов доминирующее влияние на работоспособность инструмента на фоне тепловых воздействий оказывают адгезионные явления, зависящие от режимов резания, свойств контактирующих материалов, а также циклов нагружений и длительностей рабочих и холостых ходов;

3) при прерывистом резании хрупких материалов, когда влияние адгезионных явлений на стойкость инструмента отсутствует или проявляется слабо, разница между стойкостями при непрерывном и прерывистом резании незначительна, независимо от длительностей рабочих и холостых ходов и циклов нагружений.

Литература

1. **Макаров В.Ф.** Выбор и назначение оптимальных условий протягивания заготовок из труднообрабатываемых материалов: Учеб.- метод. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 396 с.
2. **Макаров В.Ф.** Оптимизация протягивания труднообрабатываемых материалов: Монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2014. – 440 с.
3. **Симонян М.М., Балаян В.А., Кочарян К.С.** Влияние адгезии на работоспособность твердосплавного инструмента при выходе из зоны резания с нулевой толщиной среза // Вестник машиностроения.- М., 2010. - № 9. – С. 62-64.
4. **Кабалдин Ю.Г.** Разрушение режущей части твердосплавного инструмента под воздействием адгезионных явлений // Станки и инструмент.- 1981. - № 2.–С.23-25.
5. **Симонян М.М., Навоян М.М., Кочарян К.С.** Влияние адгезии, ударной и термоциклической нагрузки на период стойкости твердосплавного инструмента в условиях периодически прерывистого процесса резания // Вестник Инженерной академии Армении. - 2006. -Т.3, №3. – С. 417- 422.
6. **Бобров В.Ф.** Основы теории резания металлов.- М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.
7. **Зорев Н.Н., Креймер Г.С.** Высокопроизводительная обработка стали твердосплавными резцами при прерывистом резании.- М.: Машгиз, 1961. –79 с.
8. **Синопальников В.А., Гурин В.Д.** Температурное поле в режущем клине инструмента при прерывистой работе // Вестник машиностроения.- М.,1980.- № 4. – С. 44-47.
9. **Ташлицкий Н.И.** Особенности изнашивания твердосплавного инструмента при прерывистом резании // Вестник машиностроения.- М., 2005. - № 7. – С. 55-56.
10. **Подураев В.Н.** Резание труднообрабатываемых материалов.- М.: Высшая школа, 1974. – 590 с.

11. **Андреев Г.С.** Тепловое состояние режущей части инструмента при прерывистом резании // Вестник машиностроения. - М., 1974.- №8. - С. 57- 60.
12. **Սիմոնյան Մ.Մ., Քոչարյան Կ.Ս.** Ընդհատ կտրման գործընթացի հետազոտման նմուշ // Արդյունաբերական սեփականություն. Պաշտոնական տեղեկագիր. – Երևան, 2009. – № 3 (59). – էջ 96 (<< արտոնագիր № 2254 Ը):

Поступила в редакцию 26.11.2022.

Отправлена на рецензию 16.11.2022.

Принята к опубликованию 28.03.2023.

**ԿԱՐԾՐ ՀԱՄԱՁՈՒԿԱԾՔԵ ԳՈՐԾԻՔԻ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ ԸՆԴՀԱՏ
ԿՏՐՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ ԶԵՐՄԱՍԻՃԱՆԱՅԻՆ ՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ԵՎ
ԱԴՀԵԶԻՈՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ
ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Մ.Մ. Սիմոնյան, Մ.Հ. Նավոյան, Ն.Է. Ղազարյան

Կտրումով մետաղամշակման ժամանակ գործիքի կտրող մակերևույթների մաշումը ներկայացնում է միաժամանակ գործող քայքայման մի քանի մեխանիզմների համալիր, որոնց ազդեցությունների աստիճանը կախված է մշակվող նյութի և գործիքի կոնտակտային փոխազդեցությունից: Կտրող գործիքների շահագործման պրակտիկան ցույց է տալիս, որ դրանց զգալի մասը ենթարկվում է փխրուն քայքայման՝ փշրամաշման և ջարդման եղանակով:

Փխրուն քայքայման ինտենսիվությունն աճում է ընդհատ կտրման գործընթացներում, որոնց առանձնահատկությունը բացատրվում է աշխատանքային և պարապ ընթացքների հերթափոխների առկայությամբ, այսինքն՝ անցումային գործընթացներով, որոնք ընթանում են գործիքի ներխրման և կտրման գոտուց ելքի ժամանակ և փխրուն գործիքանյութի վրա առաջացնում են ուժային և ջերմային բնույթի ցիկլիկ ազդեցություններ՝ հանգեցնելով նրա ինտենսիվ մաշմանը և հոգնածային քայքայմանը: Իսկ ներխրման ժամանակ հարվածի առկայությունը կարող է առաջացնել գործիքի անժամանակ փխրուն քայքայում:

Պողպատների մշակման դեպքում գործիքի և մշակվող նյութերի միջև առաջանում են ադիեզիայի նպաստավոր պայմաններ, ինչը հանգեցնում է կտրման տեղամասից ելքի պահին կտրող սեպի աշխատանքային մակերևույթների հետ տաշեղի հարակցմանը և նրա հեռացմանը գործիքանյութի մասնիկների հետ միասին՝ հաջորդ ներխրման ժամանակ:

Գործիքի փխրուն քայքայման պատճառների մասին կարծիքները միանշանակ չեն: Մասնագետների մի մասը դա բացատրում է գործիքի ջերմահոգնածային բնույթի բեռնավորման հանգամանքով, մյուս մասը՝ նյութի մեջ գործիքի ներխրման պահին հարվածային երևույթի առաջացմամբ:

Գոյություն ունի նաև կարծիք, որ գործիքանյութի հետ ադիեզիայի հակում ունեցող մետաղների մշակման դեպքում կայունության վրա մեծ ազդեցություն կարող են ունենալ ադիեզիոն (<<լճացված>>) երևույթները, որոնք դրսևորվում են կտրող սեպի՝ մշակման գոտուց ելքի ժամանակ տաշեղի և սեպի մակերևույթների հարակցումով և պոկումով՝ հաջորդ ներխրման պահին: Նյութերի ադիեզիոն հարակցման հատկությունը կտրուկ աճում է վերաբյուրեղացման ջերմաստիճանին մոտ ջերմաստիճաններում:

Առանցքային բառեր. ընդհատ կտրում, քայքայում, կայունություն, ջերմաստիճան, ադիեզիա, անցումային գործընթացներ:

INVESTIGATING THE IMPACT OF TEMPERATURE VARIATIONS AND ADHESIVE PHENOMENA ON THE RESISTANCE OF A HARD-ALLOY TOOL UNDER INTERRUPTED CUTTING

M.M. Simonyan, M.O. Navoyan, N.E. Ghazaryan

The wear of the cutting surfaces of a tool during metal processing by cutting is a complex set of several simultaneously active destruction mechanisms, the degree of influence of which depends on the conditions of contact interaction between the work stock and the tool. The practice of operating cutting tools shows that a significant part of them is subjected to brittle fracture in the form of pitting and chipping.

The intensity of brittle fracture increases with intermittent cutting processes, the peculiarity of which is the presence of alternations of working and idle strokes, i.e. transient processes that occur during the plunge cutting and exit of the tool from the cutting zone, causing cyclic effects of force and thermal character on the brittle material of the tool, lead to its intensive wear and fatigue fracture, while the presence of impact during plunge cutting can lead to premature failure of the tool due to brittle destruction.

In the process of cutting steels, conditions arise between the tool and the work stock that favor the adhesive seizure, which requires the rubbing surfaces to approach at distances of the order of the crystal lattice parameter of the polycrystal, which leads to the seizure of chips with the surface of the cutting wedge at the exit from the cutting zone and its separation from the particles of the tool material during subsequent cutting.

Opinions concerning the causes of brittle fracture of the tool are not unambiguous: some consider the cause of the thermal fatigue to be the nature of the loading of the tool into the material, others - the impact nature of the force when the tool plunges into the work stock.

There is also an opinion that when cutting viscous, prone to adhesion with the tool material, especially heat-resistant and stainless alloys, adhesion (stagnation) phenomena, manifested in the seizure of chips with the surface of the cutting wedge at the exit from the cutting zone and its separation during the subsequent plunge, can have a great influence on the tool life. The ability of materials for adhesive seizure increases sharply at temperatures close to the recrystallization temperature.

Keywords: intermittent cutting, fracture, durability, temperature, adhesion, transient processes.