

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ОБРАЗОВАНИЯ
МЕЖКОНТАКТНОГО ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ ПОД
ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В
ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ**

А.И. Саградян

Армянский государственный педагогический университет им. Х. Абовяна

Разработана технология получения естественно-защитного покрытия в межконтактном пространстве резец - сходящая стружка, которая предотвращает непосредственный контакт сходящего потока обрабатываемого материала по передней поверхности инструмента. Полученный естественно-защитный слой одновременно играет роль теплоизолятора. В условиях экономически целесообразных режимов резания ($V=70$ м/мин, $S=0,30$ мм/об и $t=2,0$ мм) при обработке нержавеющей стали марки 2Х13 резцами из безуглеродистых быстрорежущих сплавов с интерметаллидным упрочнением марки В14М7К25 обеспечиваются высокая износостойкость: $T=120$ мин, служебная долговечность, производительность и низкая себестоимость. На основании научно-экспериментальных и расчетных данных построены графики распределения нормальных и касательных напряжений, температур и коэффициента трения на передней поверхности контакта инструмента. Анализ полученных экспериментальных результатов, металлографических рисунков и графических данных показывает, что путем управления процесса резания и регулирования параметров обработки в межконтактном пространстве передней поверхности инструмента марки В14М7К25 и сходящего потока обрабатываемого материала из стали 2Х13 под воздействием термодинамических явлений и пластических деформаций образуется заторможенный застойный слой, играющий роль защитного покрытия и теплоизолятора. Образование в межконтактном пространстве естественно-защитного заторможенного, застойного слоя из сильно деформированных, накопленных мельчайших частиц сходящего потока из стали 2Х13 играет роль защитного покрытия, повышая износостойкость и теплостойкость инструмента марки В14М7К25. Таким образом, разработана важная ресурсосберегающая технология и решена задача повышения износостойкости, служебной долговечности и производительности обработки инструмента.

Ключевые слова: контактные напряжения, нормальные и касательные силы, пластическая деформация, термодиформация, естественно-защитный слой, ресурсосберегающая технология.

Введение. В металлообрабатывающей промышленности прогресс в сфере машиностроения тесно связан с проблемой повышения служебной долговечности инструмента, для решения которой в настоящее время важную роль играют материалы защитных покрытий. Триботехнические характеристики пар трения в процессе резания определяются напряженно-деформированным состоянием в области контакта инструмента под воздействием сходящего потока материала в процессе резания. В настоящее время в промышленности, особенно в металлообрабатывающей, в основном используют метод нанесения на контактные поверхности инструмента различных марок износостойких и теплостойких покрытий с помощью различного дорогостоящего вакуумного оборудования. Использование материалов защитных покрытий на контактных поверхностях металлорежущих инструментов позволяет успешно решить проблему износостойкости поверхности трения, создавая материалы с определенным комплексом требуемых эксплуатационных характеристик. Однако при нанесении покрытий на контактные поверхности используемое дорогостоящее вакуумное оборудование и материалы покрытия приводят к удорожанию как инструмента, так и обрабатываемой детали [1-5].

Целью работы является исследование контактных напряжений и раскрытие механизма образования межконтактного естественно-защитного слоя под воздействием термодинамических параметров при обработке нержавеющей стали марки 2Х13 резцами из безуглеродистых быстрорежущих сплавов с интерметаллидным упрочнением марки В14М7К25.

Постановка задачи и обоснование методики. Эксперименты проводились на многоцелевом станке 16К20, оснащённом вариатором ВР-1.

При исследовании динамических характеристик в процессе резания использована тензометрическая станция К-105, в состав которой входит универсальный трехкомпонентный динамометр УДМ-1, сигналы с которого через четырёхканальный усилитель ТА-5 регистрировались шлейфовым осциллографом Н-700. Коэффициент усадки стружки контролировался весовым методом. Определение температуры на контактном участке производилось методом естественной термопары, а регистрация данных измерялась с помощью зеркального милливольтметра М-253. Для металлографических исследований использован металлографический микроскоп НЕОРНОТ-32 (фирма ЦЕЙС).

Результаты исследования. Специфика работы пары трения резец - сходящая стружка в процессе резания заключается в высоком уровне термодинамических нагрузок и пластических деформаций. Одним из важ-

нейших методов повышения работоспособности инструмента является создание таких условий на контактном участке пары трения резец - сходящая стружка для образования в межконтактном пространстве естественно-защитного слоя, которые бы способствовали возникновению межконтактного защитного покрытия с управлением процесса резания и регулированием параметров режимов обработки нержавеющей стали 2Х13 резцами из безуглеродистых быстрорежущих сплавов с интерметаллидным упрочнением марки В14М7К25. Таким образом, образование заторможенного застойного слоя в межконтактном пространстве играет роль как защитного покрытия, так и теплоизолятора. Безусловно, это естественно-защитное покрытие ресурсосберегающее, которое практически образовалось при соответствующих условиях, оставшихся до конца выхода из строя инструмента, предотвращая непосредственный контакт сходящего потока материала с передней поверхностью резца, одновременно играя роль теплоизолятора. При исследовании полученных экспериментальных данных проведено комплексное изучение оптимального износа [6] и термодинамических характеристик процесса резания стали 2Х13 в широком диапазоне изменения режимов резания резцами марки В14М7К25, а также с управлением процесса резания и регулированием параметров режимов резания V , S , t . Раскрыт механизм образования заторможенного застойного слоя в межконтактном пространстве инструмент-сходящая стружка, играющего роль защитного покрытия на передней поверхности, с повышением износостойкости и служебной долговечности инструмента (рис. 1 а,б). Изменения в поверхностных слоях инструмент-сходящая стружка, а также характер соприкасающихся материалов под воздействием пластической деформации и температур приводят к образованию в межконтактном пространстве заторможенного застойного слоя, состоящего из сильно деформированных, наклепанных, мельчайших частиц сходящего потока из стали 2Х13. Выявлено, что деформируемость застойного слоя в десятки раз превосходит деформируемость сходящей стружки, в результате чего имеют место деформация и термоактивация энергетических уровней между обеими контактирующими поверхностями, причем между ювенильной поверхностью контакта инструмента и заторможенным застойным слоем происходит адсорбция и диффузия легирующих элементов инструментального материала: W, Mo, Co и интерметаллидных упрочняющих частиц $(FeCo)_7W_6Mo_6$ на контактную поверхность застойного, защитного покрытия. При диффузии большую роль имеет место воздействие как термодинамических параметров и пластических деформаций, а также величин когезионных сил связи [7], так и величин атомных диаметров

обрабатываемого 2Х13 и инструментального В14М7К25 материалов $Fe=2,54\text{\AA}$, $Cr=2,54\text{\AA}$, $W=2,74\text{\AA}$, $Mo=2,62\text{\AA}$, $Co=2,52\text{\AA}$.

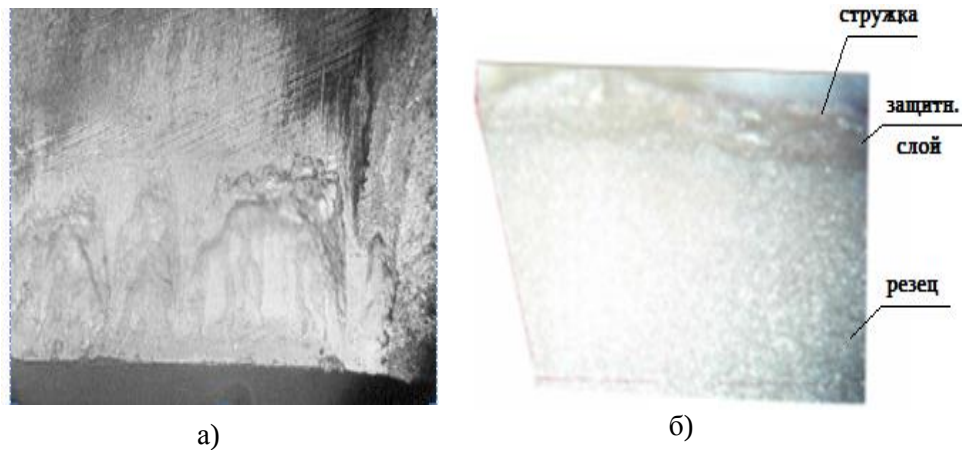


Рис. 1. Расположение защитного слоя на передней поверхности инструмента при обработке стали 2Х13 резцами марки В14М7К25: а - заторможенный защитный слой на передней поверхности инструмента; б - конфигурация защитного слоя на передней поверхности контакта инструмента ($\times 500$). Режимы резания: $V=70$ м/мин, $S=0,30$ мм/об, $t=2,0$ мм

С уверенностью можно сказать, что эта технология ресурсосберегающая, так как позволяет без использования дорогостоящего вакуумного оборудования и материалов для покрытия, а также дополнительных энергоресурсов достичь повышения износостойкости и производительности при обработке нержавеющей стали 2Х13 резцами марки В14М7К25.

Используя экономически целесообразную скорость резания стали 2Х13 [8], т.е. $V = 70$ м/мин при стойкости $T = 120$ мин, с оптимальным износом инструмента $h_{\text{зопт}} = 0,65$ мм, найдены условия образования защитного покрытия в межконтактном пространстве инструмент - сходящая стружка, что способствует повышению служебной долговечности и производительности инструментов, работающих на станках-автоматах, станках с многоинструментальной наладкой, особенно на станках поточной линии. При этом каждая остановка для замены или наладки инструмента приводит к большим потерям времени, снижая производительность станка или поточной линии. Вышеизложенная задача в соответствующих условиях решена при образовании естественно-защитного покрытия из заторможенных, сильно пластически деформированных мельчайших частиц сходящего потока обрабатываемого материала 2Х13 (рис. 1).

На рис. 2 приведена зависимость главной составляющей силы резания P_z , коэффициента усадки стружки ξ и температуры θ от скорости резания при обработке нержавеющей стали 2Х13 резцами из безуглеродистых быстрорежущих сплавов с интерметаллидным упрочнением типа В14М7К25.

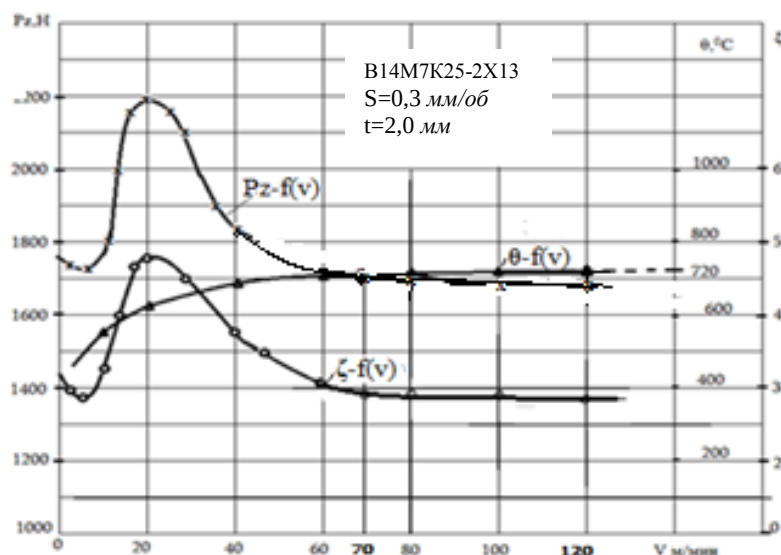


Рис. 2. Зависимость вертикальной составляющей сил резания P_z , коэффициента усадки стружки ξ и температуры θ от скорости резания при обработке стали 2Х13 резцами марки В14М7К25

Видно, что начиная со скорости 70 м/мин (рис. 2) практически стабилизируются как силы резания и деформация сходящего потока, так и температура на контактом участке инструмента. При этом стабилизируются толщина и форма распределения естественно-защитного покрытия на межконтактном пространстве передней поверхности резец - сходящая стружка. Выявлено, что при скоростях выше 120 м/мин застойный слой практически исчезает. Наибольшая толщина застойного слоя наблюдается на участке пластического контакта C_1 , т.е. на границе деформационного упрочнения C_2 и температурного разупрочнения C_3 , и составляет от 18 до 21 мкм, а на упругом участке $C-C_1$ толщина защитного покрытия составляет в среднем 10...12 мкм при $V = 70$ м/мин, $S = 0,30$ мм/об, $t = 2,0$ мм (рис. 3). Ширина контакта сходящей стружки по передней поверхности инструмента C определялась с помощью инструментального микроскопа ММИ-2; $C = 1,8$ мм, а величина пластического участка C_1 - по формуле Н.Г. Абуладзе; $C_1 = a[\xi(1 - \text{tg}\alpha) + \sec\alpha] = 0,21[3,0(1 - 0,17) + 1,01] = 0,8$ мм.

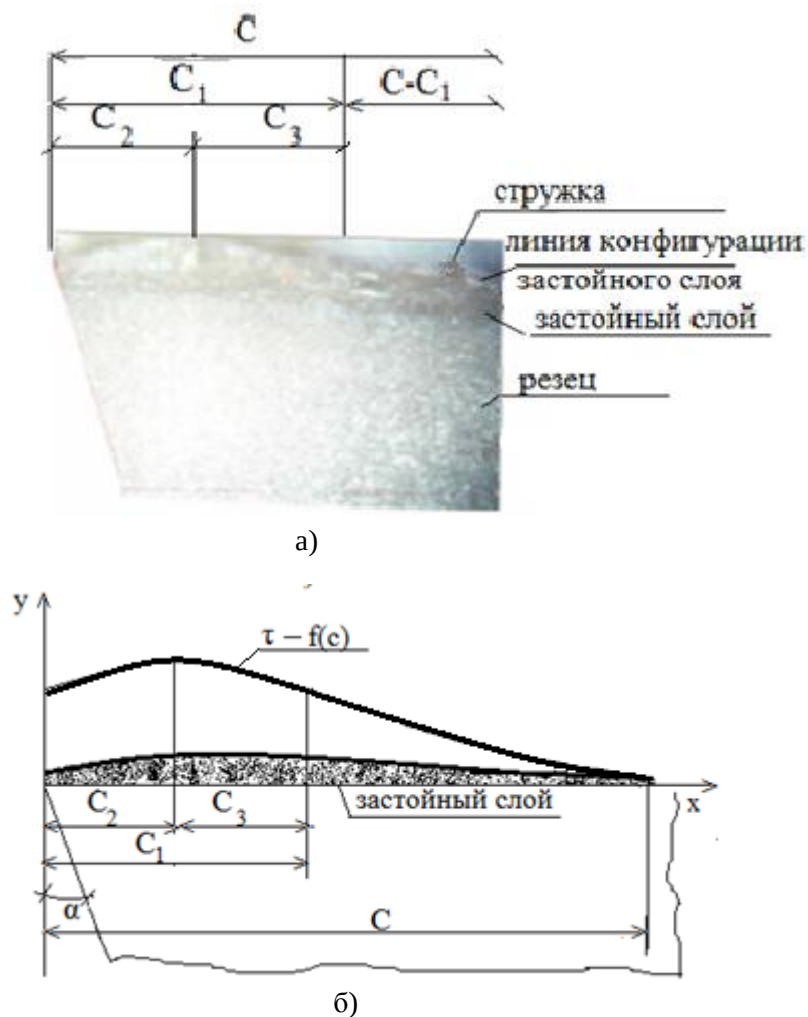


Рис. 3: а - конфигурация застойного слоя по ширине контакта в зависимости от касательных напряжений ($X 500$); б - характер изменения толщины застойного слоя в зависимости от касательных напряжений по ширине контакта C при обработке стали 2Х13 резцами марки В14М7К25

Как видно из рис. 3а, конфигурация застойного слоя коррелирует распределение формы касательных напряжений по ширине контакта C . На рис. 3 а, б видны линии касательных напряжений и их распределение по пластическому и упругому участкам контакта $C_1 + (C - C_1)$. Причем на участке пластического контакта C_1 касательное напряжение имеет параболическую форму, а на участке упругого контакта - гиперболическую форму. Заторможенный,

застойный, защитный слой также имеет соответствующую идентичную форму (рис. 3 а,б). Все это - результат воздействия триботехнических факторов, действующих на межконтактном участке, а также нормальных и касательных напряжений, температуры и коэффициента трения при соответствующих условиях и режимах резания.

Для исследования контактных явлений при обработке стали 2Х13 резцами марки В14М7К25 под воздействием термодинамических параметров в процессе резания рассчитаны нормальные и касательные силы, коэффициент трения, температура на контактом участке. По имеющимся данным рассчитаны нормальные и касательные напряжения, а также величина распределения коэффициента трения μ на контактом участке передней поверхности инструмента (рис. 4).

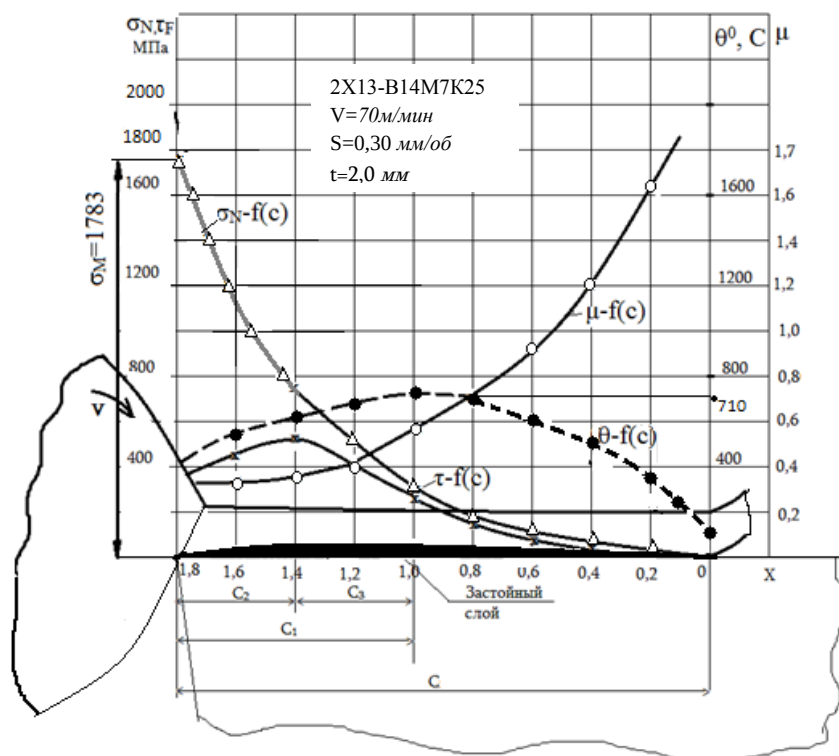


Рис. 4. Распределение контактных напряжений, температур и коэффициента трения на передней поверхности инструмента при обработке нержавеющей стали 2Х13 резцами марки В14М7К25

На основе полученных экспериментальных данных рассчитаны динамические характеристики, величины распределения нормальных и касательных

напряжений, действующих по ширине контакта сходящего потока пластически деформированной стружки обрабатываемой нержавеющей стали 2Х13 по передней поверхности инструмента из В14М7К25.

По указанным формулам можно рассчитать величины нормальных и касательных сил N , F [9] на контактном участке, а впоследствии - коэффициент трения μ :

$$\text{коэффициент трения: } \mu = \frac{F}{N}, \quad \text{где} \quad \begin{cases} N = \frac{P_z}{\cos \omega} \cos(\omega + \gamma) \text{ Н,} \\ F = \frac{P_z}{\cos \omega} \sin(\omega + \gamma) \text{ Н,} \end{cases}$$

при этом $\omega = 25^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\sin 35^\circ = 0,57$; $\cos 25^\circ = 0,906$; $\cos 35^\circ = 0,819$, $P_z = 1720 \text{ Н}$ (рис. 2);

нормальная сила:

$$N = \frac{P_z}{\cos \omega} \cos(\omega + \gamma) = \frac{1720}{\cos 25} \cos(25 + 10) = \frac{1720}{0,906} \cdot 0,819 = 1554 \text{ Н};$$

касательная сила:

$$F = \frac{P_z}{\cos \omega} \sin(\omega + \gamma) = \frac{1720}{\cos 25} \sin(25 + 10) = \frac{1720}{0,906} \cdot 0,573 = 1088 \text{ Н};$$

$$\text{коэффициент трения: } \mu = \frac{F}{N} = \frac{1088}{1554} = 0,7.$$

Величины касательных и нормальных напряжений определяются по формулам [10]:

$$\tau_F = \mu \sigma_N \text{ МПа}, \quad \sigma_N = \sigma_M \left(\frac{x}{c} \right)^n \text{ МПа}.$$

Касательные напряжения имеют наибольшее значение на участке пластического контакта C_1 . Напряжение σ_M у режущей кромки определяется в виде

$$\sigma_M = \frac{N}{c \cdot b} \left\{ \frac{r \cdot c}{a \xi [\mu + \tan(\beta - \gamma)]} + 1 \right\} \text{ МПа}.$$

Максимальная величина нормального напряжения σ_M у режущей кромки при $r = C$ рассчитана по формуле [10], где r – расстояние текущей точки от начала координат (рис. 4).

Учитывая, что при $V=70 \text{ м/мин}$, $S=0,30 \text{ мм/об}$, $t=2,0 \text{ мм}$, $\varphi=45^\circ$ - то $a=S \cdot \sin \varphi = 0,3 \cdot \sin 45^\circ \approx 0,21 \text{ мм}$; $a=0,21 \text{ мм}$; $b = \frac{t}{\sin \varphi} = \frac{2,0}{\sin 45} \approx 2,83 \text{ мм}$, $b=2,83 \text{ мм}$; $\zeta=3,0$, $N=1554 \text{ Н}$, $C=1,8 \text{ мм}$, $\beta=30^\circ$, $\gamma=10^\circ$, $\mu=0,7$, получим

$$\sigma_M = \frac{1554}{1,8 \cdot 2,83} \left\{ \frac{1,8 \cdot 1,8}{0,21 \cdot 3,0 [0,7 + \tan(30^\circ - 10^\circ)]} + 1 \right\} = 1783 \text{ МПа};$$

$$\sigma_M = 1783 \text{ МПа}.$$

Для определения показателя степени неравномерности n распределения нормального напряжения σ_N на участке контакта C воспользуемся формулой [10]:

$$n = 2 \left\{ \frac{c}{a \cdot \xi [\mu + tg (\beta - \gamma)]} - 1 \right\} = 2 \left\{ \frac{1,8}{0,21 \cdot 3,0 [0,7 + tg (30 - 10)]} - 1 \right\} = 3,37.$$

Определив рассчитанные величины N , F , μ , σ_M , n , действующие на контактом участке резца, можно построить графики распределения нормальных и касательных напряжений, температур и коэффициента трения на передней поверхности контакта инструмента при обработке нержавеющей стали 2Х13 резцами марки В14М7К25 (рис. 4).

Заключение. Анализ полученных научно-экспериментальных результатов и графических данных показывает, что путем управления процесса резания и регулирования параметров обработки на межконтактном пространстве передней поверхности инструмента типа В14М7К25 и сходящего потока обрабатываемого материала из стали 2Х13 под воздействием термодинамических явлений и пластических деформаций образуется заторможенный, застойный слой, играющий роль защитного покрытия и теплоизолятора. Таким образом, решена важная ресурсосберегающая задача, повышающая износостойкость, служебную долговечность и производительность обработки.

Литература

1. **Витязь П.А., Илющенко А.Ф., Швецов А.И.** Основы нанесения износостойких, коррозионностойких и теплозащитных покрытий.- Минск: Белорусская наука, 2006.- 362с.
2. Инженерия поверхности деталей / **А.Г. Суслов, В.Ф. Безъязычный, Ю.В. Понерилов и др.**- М.: Машиностроение, 2008.- 320 с.
3. Патент РА N 2860А. Способ получения естественно-защитных покрытий на инструментах из быстрорежущих сталей / **А.И. Саградян, М.Н. Колоян, А.С. Акопян и др.**- 2014.
4. **Верещака А.С., Третьяков И.П.** Режущие инструменты с износостойкими покрытиями.- М.: Машиностроение, 1986.- 190 с.
5. **Григорьев С.Н.** Методы повышения стойкости режущего инструмента.- М.: Машиностроение, 2011.- 366 с.
6. **Саградян А.И., Варданян С.В., Акопян А.С., Папазян А.А.** Исследование оптимального износа и режимов резания инструмента из безуглеродистых быстрорежущих сплавов с интерметаллидным упрочнением В14М7К25 при обработке нержавеющей стали 2Х13 // Кризисное управление и технологии: Научный журнал.- Ереван, 2021.- № 2(19).- С. 63-69.
7. **Бакли Д.** Поверхностные явления при адгезии и фрикционном взаимодействии.- М.: Машиностроение, 1986.- 359с.
8. **Саградян А.И., Мартиросян А.М., Папазян А.А.** Исследование экономически целесообразных режимов резания при обработке нержавеющей стали 2Х13

- резцами из безуглеродистых быстрорежущих сплавов B14M7K25 // Кризисное управление и технологии: Науч. журнал.- Ереван, 2022.- №2(21).- С.109-117.
9. **Бобров В.Ф.** Основы теории резания металлов.- М.: Машиностроение, 1975.-340с.
10. Развитие науки о резании металлов / **Н.Н. Зорев, Г.И. Грановский, М.Н. Ларин и др.**- М.: Машиностроение, 1967.- 416 с.

Поступила в редакцию 02.03.2023.

Принята к опубликованию 20.06.2023.

**ԿՏՐՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՈՒՄ ԿՈՆՏԱԿՏԱՅԻՆ ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ԵՎ
ՋԵՐՄԱԴԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՄԲ ՄԻՋԿՈՆՏԱԿՏԱՅԻՆ
ՏԻՐՈՒՅԹՈՒՄ ՊԱՇՏՊԱՆԻՉ ԾԱԾԿՈՒՅԹԻ ԱՌԱՋԱՑՄԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ**

Ա.Ի. Սահրադյան

Աշխատանքում գիտա-փորձարարական տվյալների հիման վրա մշակվել է գործիք-հեռացող տաշեղ միջկոնտակտային տիրույթում բնական պաշտպանիչ ծածկույթի ստացման տեխնոլոգիան, որը բացառում է հեռացող տաշեղի անմիջական շփումը կոնտակտի տիրույթում գործիքի առջևի մակերևույթի հետ: Առաջացած բնական պաշտպանիչ շերտը միաժամանակ կատարում է ջերմամեկուսիչ դեր: Արդյունքում տնտեսապես շահավետ կտրման ռեժիմների $V=70$ մ/րոպե, $S=0,30$ մմ/պր և $t=2,0$ մմ պայմաններում, միջմետաղական ամրացմամբ անաժխաժին արագահատ համաձուլվածքներից պատրաստված B14M7K25 կտրիչներով 2X13 մակնիշի չժանգոտվող պողպատ մշակելիս ապահովվում է բարձր մաշակայունություն՝ $T=120$ րոպե, որի դեպքում ապահովվում է աշխատանքային երկարակեցություն, արտադրողականություն և ցածր ինքնարժեք: Գիտափորձարարական և հաշվարկային տվյալների հիման վրա կառուցվել են առջևի մակերևույթի կոնտակտի տիրույթում գործիքի նորմալ և շոշափող լարումների, ջերմաստիճանի և շփման գործակցի բաշխման գրաֆիկները: Ստացված փորձարարական արդյունքների, մետաղագրաֆիկական նկարների և գրաֆիկական տվյալների արդյունքների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ կտրման գործընթացի կառավարման, վերահսկման և մշակման պարամետրերի կարգավորման ճանապարհով B14M7K25 մակնիշի գործիքի առջևի մակերևույթի և 2X13 պողպատից մշակվող նյութի հեռացող տաշեղի միջկոնտակտային տիրույթի վրա ջերմադինամիկական երևույթների և պլաստիկ դեֆորմացիայի ազդեցության տակ առաջանում է արգելակված, լճացած շերտ, որը միևնույն ժամանակ կատարում է պաշտպանիչ և ջերմամեկուսիչ դեր: Միջկոնտակտային տիրույթում բարձր պլաստիկ դեֆորմացիայի, տաշեղի մակակոփված մանրագույն մասնիկների հոսքից բնական՝ արգելակված, լճացած շերտի առաջացումը պաշտպանիչ ծածկույթի դեր է կատարում՝ բարձրացնելով մաշակայունությունը և ջերմակայունությունը B14M7K25 մակնիշի գործիքով պողպատ 2X13 մշակելու դեպքում:

Այսպիսով, մշակվել է կարևոր հումքատնտեսող տեխնոլոգիա, և լուծվել է գործիքի մաշակայունության, ծառայողական երկարակեցության և արտադրողականության բարձրացման խնդիրը:

Առանցքային բառեր. կոնտակտային լարումներ, նորմալ և շոշափող ուժեր, պլաստիկ դեֆորմացիա, ջերմային դեֆորմացիա, բնական պաշտպանիչ շերտ, հումքատնտեսող տեխնոլոգիա:

INVESTIGATION OF CONTACT VOLTAGE AND THE FORMATION OF AN INTERCONTACT PROTECTIVE COATING UNDER THE INFLUENCE OF THERMODYNAMIC PARAMETERS IN THE CUTTING PROCESS

A.I. Sahradyan

A technology for obtaining a natural protective coating in the cutting tool - chip intercontact space is developed, which excludes the direct contact of the departing flow with the front surface of the tool. The resulting natural protective layer plays the role of a heat insulator at the same time. Under economically viable cutting conditions: $V=70 \text{ m/min}$, $S=0,30 \text{ mm/rev}$ and $t=2,0 \text{ mm}$ when machining stainless steel 2X13 with cutters made of carbon-free high-speed alloys with intermetallic hardening of the grade B14M7K25, high wear resistance is provided: $T=120\text{min}$, service life, performance and low cost. On the basis of scientific-experimental and calculated data, graphs of distribution of normal and tangential stresses are constructed, the temperature and the coefficient of friction on the front contact surface of the tool. The analysis of the obtained experimental results, metallographic drawings and graphical data shows that by controlling the cutting process and adjusting the processing parameters in the intercontact space of the front surface of the tool of the grade B14M7K25 and the descending flow of the processed material from steel 2X13, under the influence of thermodynamic phenomena and plastic deformations, a retarded stagnant layer is formed, which plays the role of a protective coating and heat insulator. The formation in the intercontact space of a naturally protective inhibited, stagnant layer of highly deformed, accumulated tiny particles of the descending flow from steel 2X13 plays the role of a protective coating increasing the wear resistance and heat resistance of a tool of the grade B14M7K25. Thus, an important resource-saving technology is developed and the problem of increasing wear resistance, service life and tool processing performance is solved.

Keywords: contact stresses, normal and tangential forces, plastic deformation, thermal deformation, naturally protective coating, resource-saving technology.