

## ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТРЕНИЯ ПРИ РЕЗАНИИ НАПЛАВЛЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Коломиец В.В.,** докт. техн. наук, **Тищенко Л.Н.,** докт. техн. наук,  
**Суглобова В.В.,** специалист, **Любичева К.М.,** преподаватель  
*(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенка)*

**Клименко С.А.,** докт. техн. наук,  
*(Институт сверхтвердых материалов НАН Украины, г. Киев)*

**Виджай Кумар** канд. техн. наук,  
*(Технический университет г. Дели, Индия)*

*Приведены результаты исследования коэффициентов трения инструментов из твердых сплавов и сверхтвердых материалов при резании наплавленных материалов*

**Введение.** При резании наплавленных материалов, имеющих неоднородное строение, трение стружки о переднюю, поверхность инструмента и обрабатываемой детали о его задние поверхности оказывают большое влияние на характер протекания всего процесса резания. Обработка наплавленных материалов, характеризующихся наличием большого количества разнообразных дефектов в наплавленном материале и зоне сплавления, особенно при наплавке порошковыми самозащитными проволоками, сопровождается интенсивным трением, имеющим свои специфические особенности и отличия от трения при резании сплошных однородных материалов.

**Цель работы** – выявление отличий изменения величины среднего коэффициента трения при резании ряда неоднородных наплавленных материалов от его изменения при резании сплошных однородных материалов.

**Обзор литературы.** Подробное описание зависимости характеристик трения твердых тел от наличия смазки приведено в работе Боудена Ф. и Тейбора Д. [1]. В работах Крагельского И.В. [2,3] рассмотрено влияние трения на износ трущихся поверхностей и приводятся коэффициенты трения для различных материалов в зависимости от смазки и других технологических сред. Детально описано влияние трения на силы резания и остаточные напряжения при резании различными инструментальными материалами однородных сплошных материалов при моделировании в работе Кравченко Б.А. [4].

В работах [5,6] приведено влияние смазки и технологической среды на коэффициенты трения сверхтвердых материалов с закаленными сталями и наплавленными материалами различного химического состава и строения. Однако в приведенных работах не рассмотрены особенности трения сверхтвердых материалов в сравнении с твердыми сплавами при резании ряда наплавленных материалов, резко отличающихся наличием разного рода дефектов.

**Теоретические предпосылки** особенностей трения при резании неоднородных

родных наплавленных материалов инструментами из сверхтвердых материалов на основе нитрида бора.

Проведенными опытами установлено, что из всех характеристик неоднородности наплавленных материалов, только величина макронеровностей при срезании их за один проход не будет оказывать большого влияния на величину среднего коэффициента трения. Все другие же внутренние характеристики неоднородности наплавленных материалов будут влиять на коэффициент трения, как на передней, так и на задних поверхностях инструмента.

Суммарная сила трения  $F_{mp}$  состоит из силы необходимой для среза контактных сварных адгезионных микроучастков  $F_{cp}$ , силы царапания твердыми микрочастицами менее твердых микрочастиц и участков  $F_{ц}$ , силы выламывания отдельных твердых микрочастиц  $F_{в}$ , сил дополнительной упругой и пластической деформации стружки  $F_{уп}$  и  $F_{пл}$  при контактировании твердых микрочастиц под действием силы нормального давления:

$$F_{mp} = F_{cp} + F_{ц} + F_{в} + F_{уп} + F_{пл}, H.$$

В зависимости от величины различных характеристик неоднородности наплавленного материала в зоне контакта будет наблюдаться преобладание той или иной составляющей силы трения, которые в основном и будут составлять величину общей силы трения.

Рассмотрим влияние геометрических параметров инструмента на силы действующие на резец в процессе образования стружки. Так как коэффициент трения определяется силами трения  $F$  и силами нормального давления  $N$ , то можно установить их зависимость от силы сдвига и геометрических параметров заточки инструмента.

Нормальная сила равна:

$$N = P_{\tau} \cos \beta_1 + \gamma + P_N \sin(\beta_1 - \gamma),$$

где:  $P_N = F \cos(\beta_1 - \gamma) + N \sin(\beta_1 - \gamma)$ .

Подставив  $P_N$  в уравнение нормальной силы, определим силу нормального давления стружки на резец:

$$N = \frac{P_{\tau}}{\cos(\beta_1 - \gamma)} + F \cdot \operatorname{tg}(\beta_1 - \gamma).$$

По величине сил сдвига и трения можно определить изменение нормальной силы в зависимости от изменения переднего угла  $\gamma$  и угла сдвига  $\beta_1$ . Сила трения  $F$  может быть определена из условия:

$$R = \frac{F}{\sin(\omega + \gamma)} = \frac{P_{\tau}}{\cos(\omega + \beta_1)}, \quad \text{откуда} \quad F = \frac{P_{\tau} \sin(\omega + \gamma)}{\cos(\omega + \beta_1)}.$$

Нормальная сила  $N$  может быть выражена в зависимости от силы сдвига:

$$N = \frac{P_{\tau}}{\cos(\beta_1 - \gamma)} \left[ 1 + \frac{\sin(\omega + \gamma) \sin(\beta_1 - \gamma)}{\cos(\omega + \beta_1)} \right] \quad \text{или} \quad N = \frac{P_{\tau}}{\cos(\beta_1 - \gamma)} \left[ \frac{1}{1 - \mu \operatorname{tg}(\beta_1 - \gamma)} \right].$$

Установлено, что для точного определения силы сдвига и силы трения при резании наплавленных материалов знание одних характеристик их свойств и технологических факторов процесса резания является недостаточно. Сила сдвига и сила трения зависят от характеристик неоднородности срезаемого слоя наплавленного материала, которые могут быть учтены на основе анализа каче-

ства наплавленного материала и учета метода и техники наплавки.

Наибольшее влияние на изменение и колебание силы сдвига оказывают такие характеристики неоднородности наплавленного материала как величина макронеровностей на поверхности наплавленного слоя, нестабильность твердости, химическая неоднородность и внутренние дефекты наплавленного материала в виде микропор и микротрещин.

Эти характеристики неоднородности наплавленного материала оказывают также влияние на изменение и силы трения, но в значительно меньшей степени, чем на силу сдвига.

Количественное изменение характеристик трения следует определять в зависимости от установленных экспериментально величин коэффициентов неоднородности для различных наплавленных материалов различными инструментальными материалами при разных операциях технологического процесса восстановления изношенных деталей.

**Определение характеристик трения.** На средний коэффициент трения контактирующих тел кроме материалов этих тел влияют скорость резания, удельные давления, шероховатость поверхностей, внутренние неоднородности и внешняя среда, в которой происходит трение.

Проведенными опытами установлено, что с увеличением скорости резания при точении наплавленных материалов резцами из твердого сплава средний коэффициент трения стружки о переднюю поверхность инструмента, сначала увеличивается до максимума, а затем снижается и с дальнейшим увеличением скорости резания изменяется мало. Такое экстремальное изменение среднего коэффициента внешнего трения получается от влияния нароста, который исчезает с увеличением температуры на контактных поверхностях. Нарост, изменяя действительный передний угол, изменяет нормальное давление на трущихся поверхностях. Средний коэффициент трения с уменьшением нормального давления увеличивается.

При увеличении скорости трения у пары сверхтвердый материал типа гексанит-Р и наплавленный материал типа Нп-30ХГСА величина среднего коэффициента трения только уменьшается, что указывает на то, что налипание микрочастиц наплавленного материала на инденторе из гексанита –Р, из-за его химической инертности к железосодержащим материалам отсутствует.

Величина коэффициентов трения в значительной степени зависит от удельного давления, с увеличением которого увеличивается температура в зоне контакта, которая и изменяет характер взаимодействия контактируемых материалов. Увеличение удельных давлений свыше давлений, при которых наблюдаются минимальные величины коэффициентов трения, вызывает возрастание молекулярной составляющей силы трения, что увеличивает средний коэффициент внешнего трения.

Поскольку площадь действительного контакта зависит от упругих и пластических свойств обрабатываемых материалов, то интенсивность изменения коэффициента трения от удельного давления и положение точки минимума зависит от модуля упругости и предела текучести этих материалов [2,3].

Проведенными опытами установлено, что с увеличением твердости

наплавленного материала минимум в зависимостях  $\mu = f(q)$  смещается в сторону меньших удельных давлений.

При трении инденторов из твердого сплава Т15К6 и из гексанита-Р по наплавленному материалу типа высокопрочный чугун ПП-Нп-250Х10Б8С2Т при моделировании наблюдаются высокие значения коэффициентов трения, что можно объяснить наличием только упругих контактов в зоне трения и большими дефектами в наплавленном материале.

Для сравнения величин коэффициентов трения полученных при моделировании трения инденторов из твердого сплава Т15К6 и из сверхтвердого материала на основе нитрида бора гексанита-Р по различным наплавленным материалам их значения приведены в таблице.

Таблица

Опытные значения коэффициентов трения при моделировании

Марка наплавки	Твердость, HRC	Скорость трения, м/с	Удельное давление, МПа	Коэффициент трения	
				Т15К6	Гексанит-Р
Нп-Св08	НВ 180	1,5	500	0,43	-
Нп-У8А	НВ 212	1,3	600	0,37	-
Нп-30ХГСА	35	1,2; 2,3	700; 1600	0,35	0,18
Нп-12Х18Н9Т	38	1,0; 2,0	800; 1600	0,42	0,27
ПП-Нп-25Х5ФМС	38	1,0; 2,0	800; 1800	0,31	0,17
ПП-Нп-10Х14Т	52	0,8; 1,8	900; 2000	0,28	0,15
ПП-Нп-30Х5Г2СМ	56	0,6; 1,5	1000; 2100	0,27	0,13
ПП-Нп-250Х10Б8С2Т	58	1,3	1800	-	0,43

Примечание: сначала указаны скорости трения и удельного давления для инденторов из твердого сплава Т15К6, а затем – для гексанита-Р.

Из приведенных в таблице данных видно, что величины коэффициентов трения твердого сплава с рядом наплавленных материалов почти в два раза больше, чем у сверхтвердого материала гексанита –Р.

**Выводы.** Меньшие значения коэффициентов трения у гексанита-Р в паре с любой маркой наплавленного материала обуславливают их повышенную работоспособность при восстановлении изношенных деталей машин. Кроме того, они гарантируют высокое качество обработанной поверхности.

### Список литературы

1. Боуден Ф. П. Трение и смазка твердых тел / Ф.П. Боуден, Д. Тейбор. – М.: Машиностроение, 1968. – 542 с.
2. Крагельский И. В. Трение и износ / И.В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
3. Крагельский И.В. Коэффициенты трения. Справочное пособие, изд. 2-е пе-

рераб. и допол. / И.В. Крагельский, И.Э. Виноградова – М.: Машгиз, 1962. – 220 с.

4. Кравченко Б.А. Силы, остаточные напряжения и трение при резании металлов / Б.А. Кравченко. – Куйбышев: Куйбышевское кн. изд-во, 1962. – 179 с.
5. Коломиец В.В. Влияние смазки на коэффициент трения Эльбора-Р с закаленными сталями / В.В. Коломиец, П.В. Тимофеев // Сб. Синтетические алмазы. – Киев. – 1977. – №3. – С. 27-31.
6. Коломиец В.В. Коэффициенты трения гексанита-Р с наплавленными поверхностями / В.В. Коломиец, В.И. Сорбат, В.Н. Малышев, В.В. Голик, В.М. Мозок, Ф.Л. Демура // Сб. Алмазы и сверхтвердые материалы. – М., 1979, №10. – С. 9-10.

### **Анотація**

#### **Особенности зміни характеристик тертя при різанні наплавлених матеріалів**

*Приведені результати дослідження коефіцієнтів тертя інструментів із твердих сплавів і надтвердих матеріалів при різанні наплавлених матеріалів*

### **Abstract**

#### **The special features of changing of characteristics of friction at cutting of built-up materials**

*The results of research of coefficient of friction of instruments which are made of hard alloys and super – hard materials at cutting of built–up materials are brought*