

М. В. КАСЬЯН, Ф. А. ПАРИКЯН

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КАРБИДА ТИТАНА В ТВЕРДОМ СПЛАВЕ НА ПРОЦЕСС РЕЗАНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ ГАЗОВЫХ СРЕДАХ

Физико-химические явления, происходящие на поверхностях трения при резании металлов, непосредственно влияют на динамические показатели процесса, износ инструмента и т. д.

Существующие немногочисленные исследования [1, 2, 3] о влиянии внешней газовой среды на контактные процессы содержат противоречивые данные.

Отсутствие единого мнения как у отечественных, так и у зарубежных авторов относительно влияния окислительных и нейтральных газовых сред на характеристики процесса резания предопределило направление данной работы. При этом предполагалось, что на степень воздействия различных газовых сред влияют скорость резания (продолжительность воздействия и температура), свойства режущего материала, давление газов и т. д.

Методика проведения экспериментов

Эксперименты проводились в разработанной нами специальной вакуумной камере с установленным внутри трехкомпонентным динамометром. К камере был присоединен парамасляный диффузионный агрегат и два форвакуумных насоса, обеспечивающих устойчивый вакуум с возможностью регулирования. Конструкция камеры позволяет осуществить процесс резания как в вакууме, так и в различных газовых средах со скоростью резания до 150 м/мин и выше.

Для проведения экспериментов в сравнительно чистых газовых средах из камеры предварительно откачивался воздух и обеспечивался вакуум порядка $5 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст., после чего камера наполнялась исследуемыми газами. Такая методика позволяла доводить до минимума влияние остаточных газов камеры на процесс резания.

В качестве рабочих сред использовались кислород, азот, аргон, а также воздух и вакуум. Обрабатывалась сталь 20 инструментами с механическим креплением пластин твердых сплавов, содержащих различное количество карбида титана — ВК8; Т5К10; Т15К6; Т30К4.

Эксперименты проводились в интервале скоростей от 15 до 125 м/мин.

при постоянной подаче $S=0,1$ мм/об и глубине резания $t=0,8$ мм и неизменной геометрии режущей части пластин: $\gamma=0^\circ$, $\alpha=8^\circ$, $\varphi=90^\circ$.

Результаты экспериментов

Эксперименты показали, что на динамические показатели процесса наиболее эффективное влияние оказывает кислород, в среде которого явления схватывания, весьма развитые при азоте и аргоне, переходят в

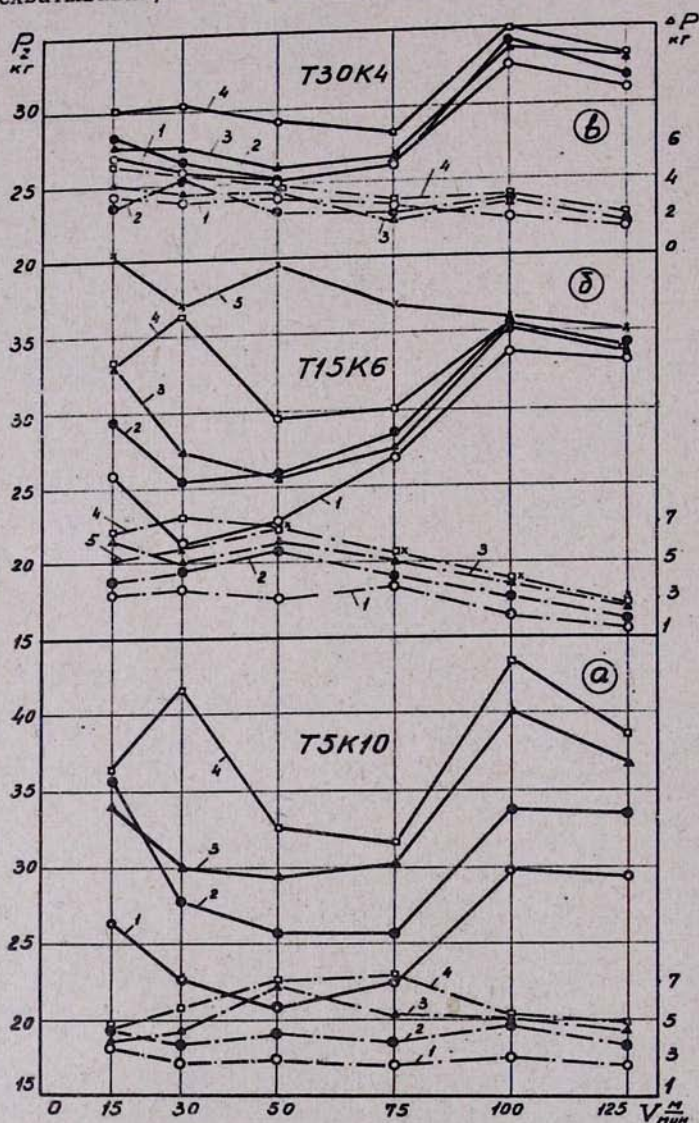


Рис. 1 а, б, в, Зависимость вертикальной проекции силы резания P_z и ее колебания ΔP от скорости резания в различных средах. 1^х—кислород; 2—воздух; 3—азот; 4—аргон; 5—вакуум $5 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. — P_z ; — — — ΔP ; х—здесь и везде одинаковое обозначение.

трение между контактными поверхностями. При этом для всех исследуемых твердых сплавов эффективность влияния кислородной среды сказывается как в уменьшении силы резания и ее колебания (рис. 1а, б, в), так и в уменьшении площади контакта и среднего коэффициента трения (рис. 2)*, который определялся по формуле [4]:

$$\mu = \sqrt{\frac{[P_z \sin \gamma + (P_y \cos \varphi + P_x \sin \varphi) \cos \gamma]^2 + (P_y \sin \varphi - P_x \cos \varphi)^2}{P_z \cos \gamma - (P_y \cos \varphi + P_x \sin \varphi) \sin \gamma}}$$

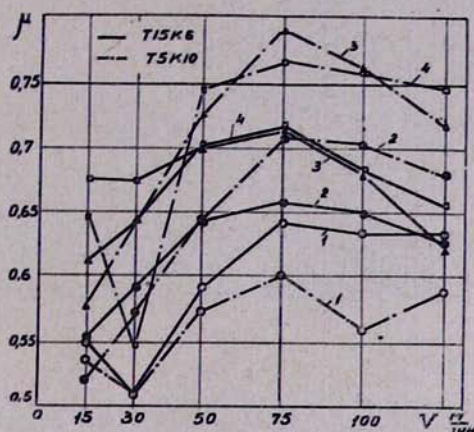


Рис. 2. Зависимость среднего коэффициента трения μ от скорости резания в различных средах.

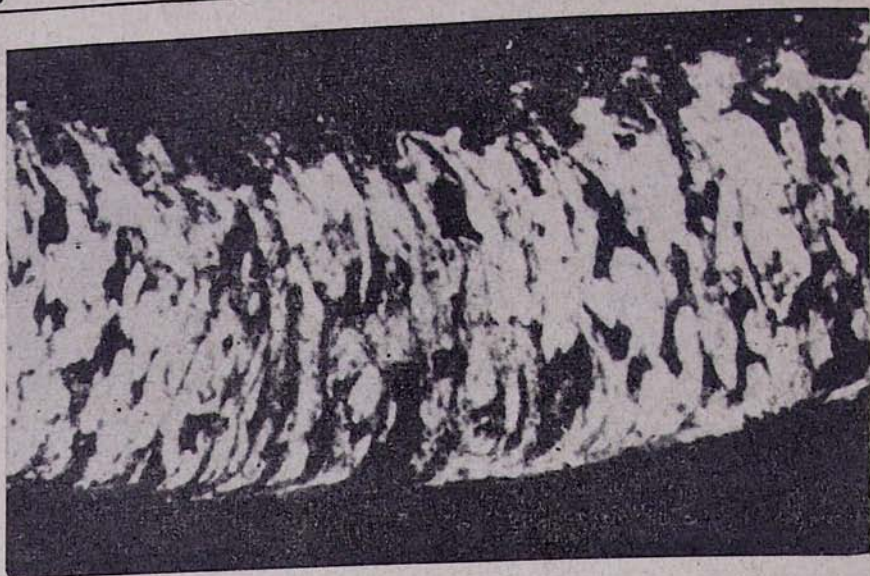
Из рис. 1 видно, что при резании в кислороде, как и в других средах, кривые $P=f(v)$ имеют характерный минимум, появление которого объясняется в основном влиянием наиболее развитого нароста.

Кислород, изменяя характер стружкообразования и контактных процессов, способствует исчезновению нароста, уменьшению среднего коэффициента трения и коэффициента продольной усадки стружки.

Микрофотография продольных сечений стружек на рис. 3а показывает, что при резании в среде кислорода прирезцовая поверхность стружки гладкая, искривление линии текстуры наблюдается только непосредственно у контактной поверхности, в то время как по толщине стружки эти линии не претерпели каких-либо изменений. Это свидетельствует о «мягкой» схеме деформирования в зоне стружкообразования и о минимальном среднем коэффициенте трения. Учитывая это, можно утверждать, что уменьшение усилия в среде кислорода при скоростях 30—50 м/мин является результатом самого характера процесса резания, данного температурно-скоростного фактора, определяющего величину среднего коэффициента трения.

Сравнение рис. 3а и б показывает, что уже при резании в среде аргона наблюдается значительное искривление линии текстуры, появляется нарост, а такие изменения в стружкообразовании, как известно, связаны с повышением среднего коэффициента трения.

* В статье приведены в основном данные для сплавов Т5К10 и Т15К6.



а



б

Рис. 3. Микрофотографии продольных сечений стружек, полученных в различных средах: а - в среде кислорода $\times 160$, б - в среде аргона $\times 160$.

При резании в среде воздуха, азота и аргона, несмотря на увеличение среднего коэффициента трения, усилие резания снижается до некоторого минимума. Такое снижение объясняется появлением нароста, который увеличивает фактический передний угол, в связи с чем увеличивается площадь контакта, уменьшаются удельные контактные давления, что и приводит к повышению среднего коэффициента трения.

Экспериментами установлено, что для всех газовых сред с увеличением содержания карбида титана (TiC) в твердом сплаве кривые $P=f(V)$ имеют менее выраженный минимум (рис. 1), обусловленный меньшим развитием нароста [4]. А это, как известно, связано с уменьшением контактной активности (способности к схватыванию) твердого сплава с увеличением содержания TiC в твердом сплаве.

Работами Давиля [5] установлено, что по сравнению со сплавами $WC-TiC-C_0$ (15% TiC) твердые сплавы $WC-C_0$ более подвержены привариванию. Были определены температура приваривания, которая ниже у сплавов $WC-C_0$, а также прочность приваренного шва, которая весьма незначительна для сплавов с 15%-ным содержанием TiC .

Интересно также отметить существование гипотезы, согласно которой режущие свойства твердых сплавов определяются их окисляемостью, весьма низкой для сплавов с большим содержанием TiC [6].

Полученные экспериментальные данные хорошо согласуются с выдвинутыми положениями: с увеличением содержания TiC в твердом сплаве интенсивность влияния среды однозначно снижается и для сплава Т 30 К4 почти отсутствует для всего диапазона исследуемых скоростей резания.

Вышеизложенное позволяет предположить, что чем выше окислительная способность твердого сплава и его контактная активность, тем больше, при прочих равных условиях, сказывается влияние окислительных и нейтральных сред на динамику процесса резания.

Для данного твердого сплава, при неизменных режимах резания, переход из кислородной среды к аргону приводит к значительному увеличению сил резания (рис. 1). Отмеченное увеличение для составляющих сил резания (в процентах) показано в табл. 1 в зависимости от скорости резания и содержания TiC в твердом сплаве.

В литературе по резанию металлов существует утверждение, согласно которому увеличение содержания TiC в твердом сплаве приводит к уменьшению силы резания, вследствие изменения среднего коэффициента трения. В действительности же существование этой закономерности зависит от скорости резания и, как показали эксперименты, от окружающей среды.

В табл. 2 показано влияние указанных факторов на вертикальную составляющую усилия резания P_z в кг.

При резании в воздухе до $V=100$ м/мин усилие резания с увеличением содержания TiC в твердом сплаве не всегда уменьшается и даже наблюдается обратный эффект. Но уже в среде азота или аргона (с незначительными отклонениями) увеличение содержания TiC приводит к уменьшению усилия резания и среднего коэффициента трения. Интерес-

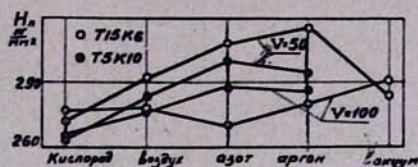


Рис. 4. Зависимость микротвердости прирезцовой стороны стружки от окружающей среды.

Таблица 1

V м/мин	ВК8	T5 K10	T15 K6	T30 K4
30	90 (P_z)	74	77	15
	68 (P_x)	75	100	30
	180 (P_y)	140	200	14
50	65	52	30	14
	110	74	41	23
	200	185	110	25
100	45	45	4	6
	55	100	11	11
	77	62	3	14
125	32	30	2	7
	45	65	5	11
	62	64	—	21

ное явление отмечено при резании в кислородной среде. Здесь для сплавов ВК8 и Т5К10 усилие резания (в исследованном диапазоне скоростей) меньше, чем для сплавов Т15К6 и Т30К4. На наш взгляд, это связано с окислительной способностью этих сплавов.

Таблица 2

$\frac{\sigma}{T_{iC}}$ V м/мин	Кислород				Воздух				Аргон			
	0	5	15	30	0	5	15	30	0	5	15	30
50	19	21,3	22	25,2	24	27	26	24,7	31,5	32,5	28,8	29,0
100	30,5	29,8	33,8	33	37	34	35,2	34,6	44,2	43,4	35,8	35,0

Кинетика окисления твердых сплавов $WC-C_0$ (в некотором приближении и Т5К10) подчиняется линейному закону. Эти сплавы окисляются значительно легче, чем сплавы с большим содержанием TiC . Процесс окисления таких сплавов характеризуется тем, что образующаяся на их поверхности пленка не обладает защитными свойствами, легко разрушается и, по-видимому, является хорошей смазкой при трении стружки о переднюю поверхность резца. Об этом и говорит сравнительно низкий средний коэффициент трения и уменьшение усилия при резании сплавов ВК8 и Т5К10 в среде кислорода.

Одновременно с изменением усилия резания в зависимости от скорости резания и окружающей среды меняется и ее колебание (рис. 1). Причем наибольшее колебание сил отмечается в среде аргона в интервале скоростей, при которых влияние среды более ощутимо и уменьшается в сторону азота, воздуха и кислорода. Увеличение же содержания TiC в твердом сплаве (т. е. уменьшение его контактной активности) независимо от окружающей среды приводит к уменьшению колебания сил резания и снижению влияния самой среды.

Приведенные на рис. 4 данные микротвердости средней части при-

резцовой стороны стружек показывают, что переход от окислительной среды к нейтральной приводит к повышению микротвердости стружки. При резании твердым сплавом Т15К6 ($V=50$ м/мин) микротвердость стружки сравнительно выше, чем при Т5К10, но уже при $V=100$ м/мин в среде азота и аргона отмечается обратное, что вполне совпадает с изменением P_z для обоих сплавов.

Интересное явление отмечено в вакууме, где, несмотря на общее повышение твердости стружки по всему поперечному сечению, микротвердость прирезцовой стороны уменьшается. По-видимому, здесь имеет место явление отдыха, вызванное более высокой средней температурой процесса, и повышение интенсивности диффузионных процессов, приводящих к обезуглероживанию поверхностного слоя и, как следствие, к снижению его твердости.

Существуют различные гипотезы о механизме влияния газов на процесс резания при низких и средних скоростях.

Предположение, что в режимах наростообразования создаются благоприятные условия проникновения газов в зону резания из-за периодических срывов нароста и возникновения мгновенного вакуума в этой зоне, является наиболее вероятным. Такое вакуумное пространство легко заполняется рабочими газами, которые адсорбируются химически чрезвычайно активными контактными поверхностями или вступают в реакцию, образуя различные пленки.

Гипотеза же об адсорбции кислорода прирезцовой стороной движущейся стружки требует некоторого уточнения. Когда скорость адсорбции выше, чем скорость движения стружки, то контактные поверхности адсорбируют молекулы газа (кислорода). При скорости резания 50 м/мин и выше адсорбция прирезцовой стороной стружки уже незначительна, так как сокращается длительность контакта с передней поверхностью инструмента, ослабляется действие среды. При допущении, что кислород имеет свободный доступ к контактным поверхностям, скорость, с которой эти поверхности покрываются хемосорбирующим газом, определяется из выражения [7]

$$V = \frac{S \cdot P}{\sqrt{2\pi m k T}}, \quad (1)$$

где S —вероятность прилипания, P —давление, m —масса газовых молекул, k —постоянная Больцмана и T —абсолютная температура.

В случае применения кислорода или азота, окружающего стальную поверхность, величина S принимается равной 0,1, которая по мере покрытия поверхности становится меньшей.

Из формулы (1) имеем: $V = 2,85 \times 10^{20}$ мол/мм² сек. Количество молекул, адсорбированных фактической площадью контакта ($S_{\text{факт}}$) за время t контакта при $P_{O_2} = 1$ атм., будет:

$$n_{\text{факт.}} = V \cdot t_k \cdot S_{\text{факт.}} = 8 \cdot 10^{16} \text{ мол} \quad (2)$$

Учитывая, что молекулы кислорода занимают площадь $10 \text{ \AA}^2$,

количество молекул, необходимых для образования хемосорбционного слоя на $S^*_{\text{факт.}}$, будет:

$$n_{\text{хем.}} = \frac{S_{\text{факт.}}}{S_{\text{мол.}}} = 4 \cdot 10^{12} \text{ мол.}$$

В реальных условиях, когда доступ кислорода к контактным поверхностям не свободен, $n_{\text{факт.}}$ резко снижается и на контактной поверхности сбегавшей стружки не образуется даже мономолекулярный слой, в то время как на деформированной и нагретой поверхности неподвижного инструмента существуют самые благоприятные условия для адсорбции и химической реакции и образования весьма тонких пленок окислов. Наличие даже таких тонких пленок способствует подавлению сил молекулярного взаимодействия трущихся ювенильных поверхностей, заменяя их значительно слабыми силами вандерваальсовского взаимодействия. Именно этим объясняется отмеченное в экспериментах снижение среднего коэффициента трения, силы резания и ее колебания.

С увеличением скорости (100 м/мин и выше) разрушенные и унесенные сбегавшей стружкой адсорбированные пленки не успевают возобновиться из-за сравнительно низкой скорости химической реакции по сравнению со скоростью резания.

Кроме того, средняя температура в зоне трения повышается, контактные слои размягчаются, образуется сплошной контакт между стружкой и резцом, а это еще больше затрудняет проникновение газов в зону резания [8].

Все это способствует увеличению коэффициента внешнего трения и соответственно среднего коэффициента трения до некоторой скорости резания (100—150 м/мин в зависимости от твердого сплава), при которой действие среды уже практически отсутствует.

ВЫВОДЫ

1. При средних скоростях резания наблюдается существенное влияние окружающей газовой среды на динамические показатели процесса.
2. С увеличением содержания TiC в твердом сплаве влияние среды снижается.
3. Наиболее эффективной средой по сравнению с азотом, аргоном и вакуумом является кислород. Уменьшение среднего коэффициента трения в среде кислорода связано с образованием окисных пленок на контактных поверхностях инструмента.
4. Для сплава Т15К6 влияние среды, начиная от $V=100$ м/мин, практически отсутствует, в то время как для сплавов ВК8 и Т5К10 оно снижается при больших скоростях резания.
5. Микротвердость прирезцової стороны стружек растет при переходе от окислительной среды к нейтральной. С увеличением скорости резания разница в микротвердости снижается.

* $S_{\text{факт.}}$ взят для сплава Т15К6.

ЛИТЕРАТУРА

1. П. В. Тимофеев, Известия вузов, Машиностроение, 1969, № 4.
2. Г. Оплиц, Сб. Новые работы по трению и износу, М., 1959.
3. В. А. Мирбабаев, Г. И. Якунин, Труды Ташкентского политехнического института, вып. 24, 1964.
4. Н. Н. Зорев, Вопросы механики процесса резания металлов, М., 1956.
5. Р. Киффер, Ф. Бенезовский, Твердые сплавы, М., 1971.
6. Францевич и др., Высокотемпературное окисление металлов и сплавов, Киев, 1963.
7. «Экспресс информация», серия «Режущие инструменты», 1969, № 36.
8. «Развитие науки о резании металлов», М., 1967.