

М. В. КАСЬЯН, К. М. МИРЗОЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФфуЗИОННОГО МЕТОДА АРМИРОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА СТОЙКОСТЬ

Многочисленные исследования последних лет показывают, что в определенной зоне режимного поля износостойкость твердосплавных режущих инструментов повышается. Одним из объяснений такого поведения можно допустить то положение, что именно в этой зоне температур снижаются остаточные напряжения. В связи с этим представляет интерес исследование поведения инструмента, в большой степени свободного от этих напряжений.

Как известно, использование принципа диффузионного соединения в вакууме твердосплавной пластины со стальным корпусом, разработанного проф. Н. Ф. Казаковым [1], основано на способности к схватыванию поверхностей металлов и сплавов за счет открытых атомных связей. При этом механизм образования соединения в твердой фазе представляется двухстадийным процессом.

На первой стадии происходит образование физического контакта поверхностей соединяемых материалов. В этот период под воздействием температуры, давления и вакуума происходят процессы десорбции, возгонки и диффузии в глубь металла различных пленок, осуществляется микропластическая деформация как выступов шероховатостей стали 45, так и частиц порошка никеля, что приводит к активации контактных поверхностей соединяемой композиции сталь 45—никель—твердый сплав.

На второй стадии параметрами сварки являются время выдержки и температура. Тут, в результате активной взаимной диффузии компонентов, происходит ликвидация микронесплошностей и несовершенств решетки [1], окончательное спекание как порошка никеля, так и контактирующих поверхностей стали 45 — никеля и никеля — твердого сплава.

Ввиду того, что контактирование твердых поверхностей носит дискретный характер, между первой и второй стадиями процесса сварки нет резкой границы. С момента контакта первых выступов шероховатостей начинаются их микропластическая деформация, схватывание и спекание, происходят диффузионные процессы.

Таким образом, вторая стадия характеризуется получением прочного соединения.

Отметим, что применение никелевого подслоя, ввиду его компенсирующей роли, является необходимым, так как при этом снижаются остаточные напряжения, возникающие в режущей пластинке при охлажде-

нии инструмента с температуры сварки, вследствие различной усадки стали и твердого сплава.

С целью получения надежного и прочного соединения твердых сплавов марок ВК8, Т5К10, Т15К6 со сталью 45 были выполнены эксперименты по определению оптимальных режимов сварки. Затем армирование инструмента диффузионным методом осуществлялось по следующей технологии:

подготовка контактных поверхностей: для стали 45 чистота обработки $\nabla 5$, для твердых сплавов — алмазное шлифование, чистота $\nabla 8$ — $\nabla 10$; обезжиривание — ацетоном;

применение компенсационной прокладки — порошок никеля;

создание вакуума в камере $B = 10^{-3}$ мм рт. ст.;

импульсный нагрев током высокой частоты до температуры 1000°C ;

подача сжимающего давления $p = 1,0$ кг/мм² и выдержка при указанных температуре и давлении — $T = 10$ мин;

постепенное охлаждение под давлением в вакуумной камере до температуры 100 — 120°C .

Таким образом, армированные прямые проходные резцы, а также резцы, армированные пайкой твч, подверглись сравнительным испытаниям точением.

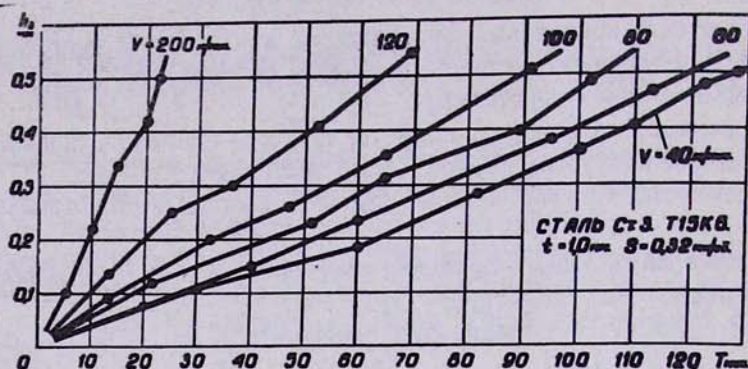
Геометрические параметры режущей части инструмента соответствовали: передний угол $\gamma = 10^\circ$, задние углы $\alpha = \alpha_1 = 10^\circ$, главный угол в плане $\varphi = 45^\circ$, вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 25^\circ$, угол наклона главной режущей кромки $\lambda = 0^\circ$, радиус закругления вершины $r = 1$ мм. Заточка и доводка передней и задних граней производились алмазными чашечными кругами. Продольным точением обрабатывались следующие материалы, имеющие большое распространение в металлообработке: сталь Ст. 3, сталь 45, сталь 40Х, чугун СЧ-21—40. В стойкостных испытаниях скорость резания изменялась в диапазоне от 40 до 200 м/мин, подача и глубина резания сохранялись постоянными $S = 0,32$ мм/об, $t = 1$ мм. В качестве критерия затупления принималась величина износа задней грани $h_3 = 0,4$ — $0,5$ мм, что соответствует нормальному периоду износа твердосплавных резцов.

В экспериментах, наряду с выявлением возможных закономерностей изменения износостойкости, в зависимости от метода армирования, оценивались и выявлялись известные зависимости износостойкости от скорости резания, обрабатываемого материала и материала инструмента.

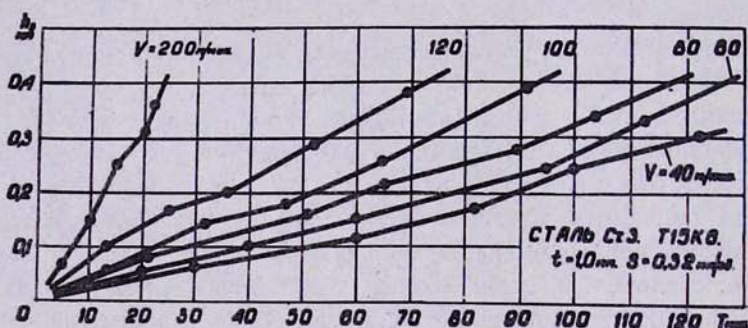
На интенсивность изнашивания серьезно влияет скорость резания, с изменением которой меняются: температура поверхности контакта; коэффициент трения, степень пластической деформации, физико-механические свойства контактных слоев как материала инструмента, так и срезаемого слоя металла, поверхностного слоя обрабатываемой детали.

На рис. 1 даны зависимости $h_3 = f(T)$ при различных скоростях резания для резцов Т15К6, армированных пайкой и методом диффузии.

Обрабатываемый материал и материал инструмента также оказывают влияние на закономерность износа резцов. В связи с этим отметим, что при обработке сталей резцами Т5К10 и Т15К6 наблюдается увеличение износа в следующем порядке: сталь 45 → сталь Ст. 3 → сталь 40Х. При этом резцы марки Т5К10 изнашиваются в значительно большей мере, чем резцы марки Т15К6.



а

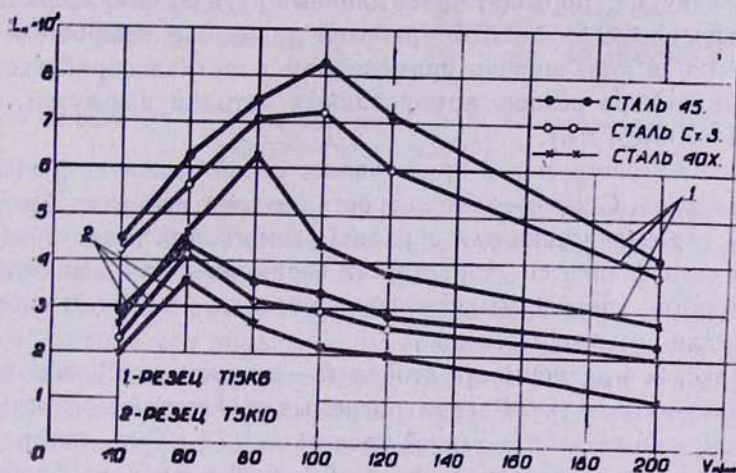
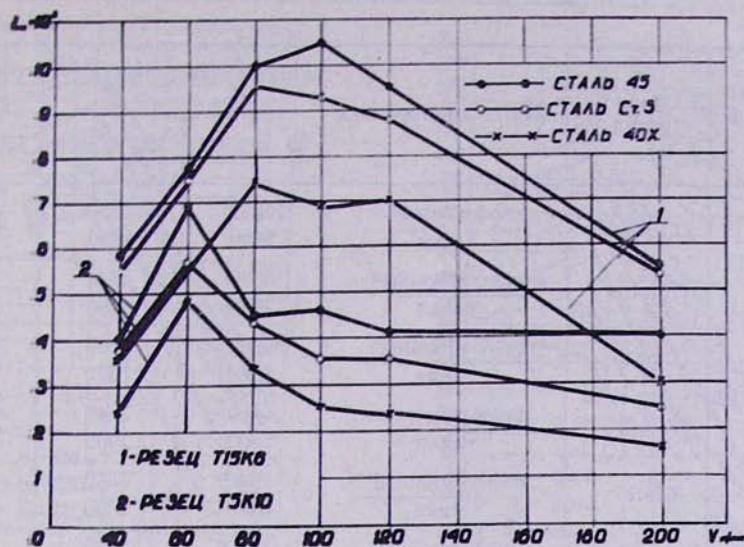


б

Рис. 1. Зависимость $h_3=f(T)$ резцов, армированных методом пайки (а) и диффузионной сваркой в вакууме (б).

На основании экспериментальных зависимостей $h_3=f(T)$ установлено уменьшение интенсивности износа резцов, армированных диффузионной сваркой в вакууме. Качественная и количественная стороны выявленного факта показывают, что снижение износа резцов марки Т5К10 и Т15К6, в диапазоне скоростей резания 40 ÷ 200 м/мин, составляет в среднем следующие величины: сталь 40Х—26—25%, сталь Ст. 3—39,7—33%, сталь 45—42—34,6%. Подобное уменьшение износа инструмента, армированного методом диффузии, наблюдается и при обработке чугуна СЧ-21—40 резцами ВК8.

Экспериментальные данные позволили построить график изменения пройденного пути резца до затупления $h_3=0,4$ мм, в зависимости от скорости резания. Для сравнения на рис. 2 эта зависимость $L=VT=f(V)$ дана для резцов, армированных методом пайки и диффузии.



6

Рис. 2. Зависимость $L=VT=f(V)$ резцов, армированных методами диффузии (а) и пайки (б). Затупление — $h_3=0,4$ мм.

Анализируя полученные зависимости $L=f(V)$, отметим известный экстремальный характер, обусловленный ростом температуры в зоне резания и тем самым оказывающий воздействие на изменение характера износа. Очевидно также, что положение точек максимума на кривых $L=VT=f(V)$ зависит от условий резания, от физико-механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов. Так, понижение режущих свойств инструментального материала Т5К10 снижает оптимальные скорости резания, при которых наблюдается максимум пройденного резцом пути резания.

Далее отметим, что резцы, армированные методом диффузионной

Таблица 1

Обрабатываемый материал	Марка резца	Метод армирования	Длина пройденного пути резца L , м		
			80 м/мин	100 м/мин	120 м/мин
Сталь 45	T15K6	диффузионный пайка	10000	10500	9500
			7630	8400	7240
	T5K10	диффузионный пайка	4560	4720	4120
			3520	3480	2850
Сталь СТ3	T15K6	диффузионный пайка	9500	9250	8750
			7160	7320	6000
	T5K10	диффузионный пайка	4400	3640	3560
			3200	2900	2600
Сталь 40X	T15K6	диффузионный пайка	7640	6840	7100
			6480	4500	3700
	T5K10	диффузионный пайка	3480	2620	2380
			2740	2150	2000

сварки в вакууме, проходят более длинный путь резания, чем те же резцы, армированные пайкой. В рабочем диапазоне скоростей резания $V=80 \div 120$ м/мин, широко применяемом в металлообработке, указанное преимущество резцов, армированных методом диффузии, показано в табл. 1 ($h_3=0,4$ мм).

Стойкость инструмента представляет собой сложную функцию многих параметров. С изменением скорости резания меняются физико-механические характеристики как обрабатываемого, так и инструментального материала. Меняется характер их взаимодействия в контакте, и поэтому «горбы», «переломы» полученных кривых стойкости являются типичными для резания металлов.

На рис. 3, 4 зависимости стойкость—скорость построены в двойной логарифмической сетке. Рассматриваемые стойкостные зависимости получены по кривым износа задней грани $h_3=f(T)$. Они построены для различных критериев затупления от 0,1 до 0,4 мм при обработке сталей 45, 3, 40X резцами марки T5K10, T15K6.

Таким образом, анализируя полученные стойкостные зависимости, можно установить факт повышения стойкости резцов, армированных методом диффузии по сравнению с напаянными резцами. В зависимости от обрабатываемого материала и марки инструмента, стойкость увеличивается в среднем от 1,4 до 2,2 раза.

На основании проведенных стойкостных испытаний рассчитаны и получены результаты, представленные в табл. 2.

Аналогично, обрабатывая чугун марки СЧ-21—40 резцами ВК8, можно изменить режимное поле процесса резания в части повышения скорости резания на 22,5%.

В дальнейшем был проведен ряд исследований состояния твердосплавного инструмента при двух различных методах армирования.

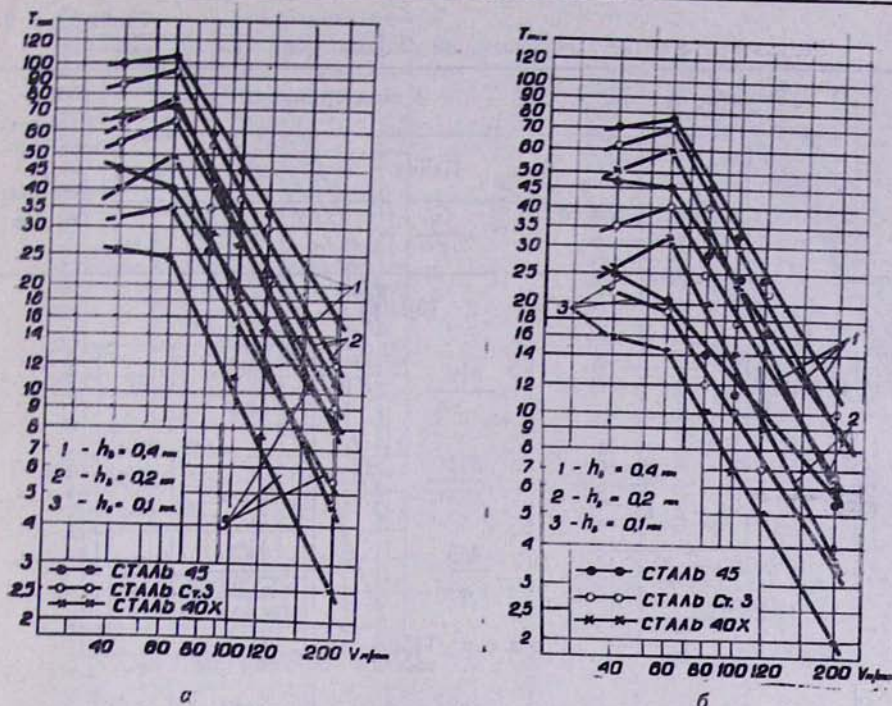


Рис. 3. Зависимость $T=f(V)$ реза марки Т5К10, армированного методами диффузии (а) и пайки (б).

Так, механические испытания на сдвиг показали, что диффузионной сваркой достигается более стабильное и прочное соединение, нежели напайкой. Прочность возрастает на 25—40% [2].

В результате микроструктурных исследований, исследования по-слойного спектрального анализа и измерения микротвердости зон контакта как со стороны твердых сплавов, так и со стороны стали 45 выявлено, что соединение в твердой фазе формируется за счет активной взаимной диффузии железа, никеля и кобальта [3].

Эта триада элементов-аналогов и обуславливает образование твердых растворов переходных зон, характеризующихся различной глубиной и относительным содержанием указанных элементов, в зависимости от марки примененных твердых сплавов.

Так, например, при соединении ВК8—Ni—сталь 45 создается переходная зона в твердом сплаве, обогащенная на глубине 60—70 мкм железом, никелем и обедненная на глубине 90 мкм кобальтом, а в стали 45—обогащенная на 20 мкм кобальтом, на 110 мкм никелем и обедненная на 90 мкм железом. В никелевый подслоя, по всей глубине, равной 40 мкм, диффундируют как железо, так и кобальт.

Таким образом, общая глубина диффузионного слоя с учетом глубин переходных зон и глубины никелевого подслоя составляет: при армировании твердым сплавом ВК8—240 мкм, Т5К10—170 мкм, Т15К6—145 мкм.

Таблица 2

Результаты стойкостных испытаний резцов (износ $h_3 = 0,4$ мм)

Марка стали	Режимы резания			Метод армирования				Увеличение скорости резания, % V_{60}
	V м/мин	t мм	S мм/об	Пайка		Диффузионный		
				$V = \frac{C_v}{T^m}$	V_{60}	$V = \frac{C_v}{T^m}$	V_{60}	

Резец Т5К10

45	40÷200	1,0	0,32	$\frac{816}{T^{0,6}}$	70	$\frac{1115}{T^{0,62}}$	88	25,6
Ст3	"	"	"	$\frac{592}{T^{0,54}}$	65	$\frac{656}{T^{0,52}}$	78	20
40X	"	"	"	$\frac{465}{T^{0,5}}$	60	$\frac{542}{T^{0,5}}$	70	16,7

Резец Т15К6

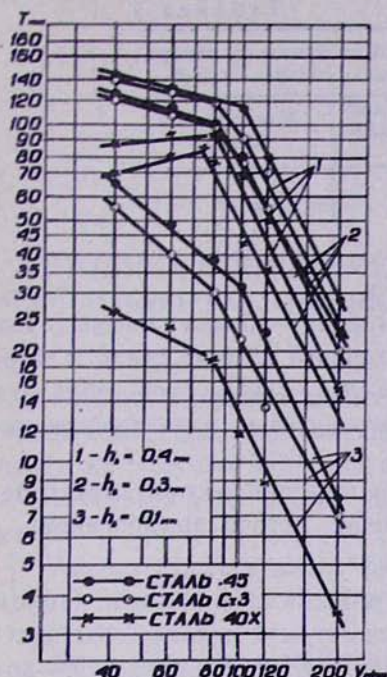
45	40÷200	1,0	0,32	$\frac{1050}{T^{0,53}}$	120	$\frac{1084}{T^{0,5}}$	140	16,7
Ст3	"	"	"	$\frac{925}{T^{0,52}}$	110	$\frac{994}{T^{0,5}}$	125	13,6
40X	"	"	"	$\frac{698}{T^{0,5}}$	90	$\frac{813}{T^{0,51}}$	105	16,8

Изучая явления, происходящие при пайке (припой латунь Л62), обнаружить диффузионные зоны не удалось, так как соединение твердого сплава со сталью в этом случае происходит за относительно короткое время. Сказанное подтверждается данными, представленными в работе К. П. Имшенника и Н. А. Бухмана [4].

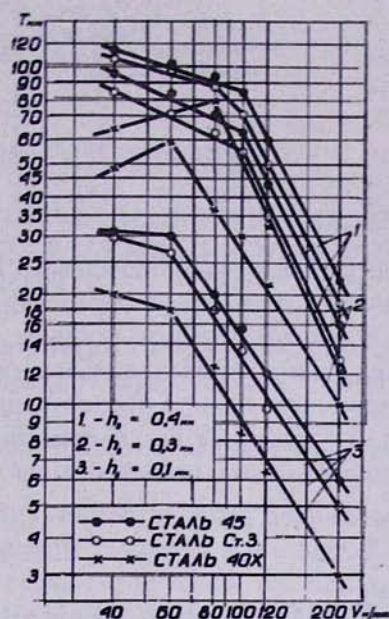
При охлаждении твердого сплава с температуры пайки (диффузионной сварки) в стали 45 возникают структурные превращения аустенита в перлит и феррит, что вызывает соответствующее увеличение объема стали и появление остаточных напряжений в твердом сплаве. Кроме того, одновременно возникают остаточные напряжения в режущей части инструмента и из-за большого различия коэффициентов линейного расширения стали и твердого сплава.

Следовательно, под совместным взаимодействием указанных двух факторов, твердосплавная пластинка инструмента находится в сложно-напряженном состоянии.

Тут же отметим, что в процессе резания, при возникновении повышенной температуры, наличие остаточных напряжений будет стимули-



а



б

Рис. 4. Зависимость $T=j(V)$ реза марки Т15К6, армированного методами диффузии (а) и пайки (б).

ровать и способствовать в определенных условиях окислительному процессу [5], а также диффузионным процессам в материале режущей пластинки [6], что приведет к ее разупрочнению и ускоренному износу.

Учитывая специфику диффузионного соединения, при наличии многослойных зон с возможными различными физико-механическими свойствами, остаточные напряжения на реальном инструменте определялись при помощи электрических датчиков сопротивления.

Результаты измерения напряжений на поверхности пластинки твердого сплава, формы 0107 прямых проходных резцов показали, что независимо от рассматриваемых методов армирования режущая пластинка находится в растянутом состоянии, обусловленном маркой стали державки.

Величина растягивающих напряжений в разных точках пластины неодинакова, вдоль главной режущей кромки наблюдаются максимальные значения напряжений.

В случае армирования резцов методом диффузии имеет место снижение остаточных напряжений, возникающих при армировании пайкой, с 20,6—21,5 до 9,7—14 кг/мм².

Выявленный факт снижения остаточных напряжений необходимо отнести на счет никелевого подслоя, который ослабляет влияние разности коэффициентов линейного расширения. Здесь же отметим, что ком-

Таблица 3

Марка твердого сплава	Глубина диффузион. слоя при сварке, мкм	Остаточные напряжения на поверх- ности твердого сплава, кг/мм ²	
		Армирование диф- фузионной свар- кой	Армирование пайкой
ВК8	240	9,7	21,4
T5K10	170	10,8	21,5
T15K6	145	14,0	20,6

пенсирующая роль никелевого подслоя (глубина ~ 40 мкм) намного усиливается, вследствие образования диффузионного слоя (в стали и твердом сплаве) большой глубины (240—145 мкм). Такой слой обладает наилучшими компенсационными возможностями из-за аддитивности механических свойств твердого раствора.

Изложенные результаты экспериментов и их анализ показывают целесообразность использования диффузионного метода армирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Ф. Казаков. Диффузионная сварка в вакууме. М., «Машиностроение», 1968.
2. Н. Ф. Казаков, К. М. Мирзоев. К вопросу прочности соединения твердых сплавов со сталью. Сб. «Диффузионное соединение в вакууме. Научные труды V межвузовской научно-технической конференции». М., 1970.
3. К. М. Мирзоев. Металлографическое исследование структур твердосплавных пластин, соединенных со сталью. «Промышленность Армении», 1970, № 2.
4. К. П. Имшенник, Н. А. Бухман. Технология пайки твердосплавного инструмента. М., Машгиз, 1954.
5. Д. Гринаф. Сб. «Остаточные напряжения», под ред. В. Р. Осгуда, ИЛ, 1957.
6. С. З. Бокштейн и др. Сб. «Некоторые проблемы прочности твердого тела», под ред. А. Ф. Иоффе, Изд. АН СССР, 1959.