

УДК621.762.5

**Н. В. Новиков**, академик НАН Украины<sup>1</sup>; **Н. М. Прокопив**, канд. техн. наук<sup>1</sup>;  
**В. Н. Ткач**, канд. физ.-мат. наук<sup>1</sup>; **О. В. Харченко**, инж.<sup>1</sup>;  
**А. Д. Чепурной**, докт. техн. наук<sup>2</sup>; **П. А. Терехов**, инж.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины,  
г. Киев, Украина*

<sup>2</sup> *ОАО «Головной специализированный конструкторско-технологический  
институт», г. Мариуполь, Украина*

### **СТРУКТУРА И СВОЙСТВА РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ИЗ СПЛАВА T15K6 ПОСЛЕ ТЕРМОКОМПРЕССИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПОД ДАВЛЕНИЕМ ГАЗА**

*The effect of thermal-compression treatment at a gas pressure of 3,0 MPa on the structure, physico-mechanical and cutting properties of replaceable inserts of T15K6 alloy has been studied.*

Машиностроительные предприятия Украины в больших объемах используют импортные сменные твердосплавные пластины для чистовой и получистовой лезвийной обработки деталей из сплавов на основе железа.

С одной стороны, это дешевый инструмент российских компаний, а с другой – дорогой с более высокими техническими характеристиками инструмент фирм Швеции, США, Японии, Южной Кореи, Израиля. Отметим, что пластины для получистового и чистового точения углеродистых сталей изготавливаются, в основном, из сплавов T14K8 и T15K6 без покрытия, а пластины – из сплавов группы ТТК с износостойким покрытием. И хотя преимущество сплавов ТК перед сплавами ТТК, как известно, проявляется в их более высоком сопротивлении износу, особенно при увеличении температуры в зоне резания, что характерно для скоростного точения с небольшим съемом металла. Однако на сегодня ТТК сплавам необоснованно дается преимущество перед ТК сплавами.

Но производители импортной продукции для получения высокоэффективных инструментов из твердых сплавов используют компрессионное спекание под давлением газа до 10 МПа [1], российские пластины спекают в вакууме, который не позволяет получать высокую плотность и структуры без крупных (>50 мкм) пор. Рассмотрим возможность повышения физико-механических режущих свойств отечественного инструмента. Существующие методы воздействия на поверхность инструмента, как, например, поверхностная закалка [2], термоциклирование [3] и облучение различного рода и различной интенсивности [4–6] хотя и повышают их режущие свойства, но пока не применяются в промышленных масштабах.

В ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины (далее по тексту – ИСМ) разработана технология упрочнения твердосплавных изделий после их спекания по традиционной технологии в среде водорода с помощью термокомпрессионной обработки (ТКО) под давлением газа до 5,0 МПа [7]. В результате такой обработки в структуре сплава отсутствуют поры размером >25 мкм, что приводит к определенному повышению его механической прочности, но дополнительный нагрев изделий при температуре жидкофазного спекания несколько снижает их твердость.

Эффективность такого упрочнения в большей степени сказывается на эксплуатационных свойствах инструмента. Так, например, стойкость упрочненных тангенциальных пластин формы LNUX 301940TN02 из сплава MC221 производства Кировградского завода твердых сплавов (Россия) при черновой обработке колесных пар увеличилась в два-три раза по сравнению с пластинами в исходном состоянии [8]. Рассмотрим влияние термокомпрессионной обработки на структуру, физико-механические и режущие свойства сплава T15K6 без покрытия при получистовом и чистовом точении углеродистых сталей.

### Материалы и методы исследования

Для исследования из ОАО «Головной специализированный конструкторско-технологический институт» (г. Мариуполь) были взяты сменные режущие пластины производства комбината «Победит» (г. Орджоникидзе, Россия) из сплава T15K6 формы SNMM 250724, которые применяются для получистового точения средней части осей, а формы SNMM190624 (рис. 1, а) – для точения подступичной части. Для сравнения использовали пластины формы SNMM 190616-GH NC 330 (рис. 1, б) производства фирмы «KORLOY» (Ю. Корея), которые используются на операции получистового точения подступичной части.

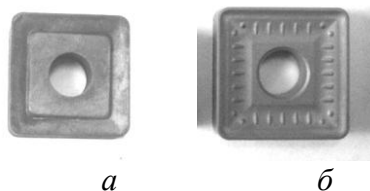


Рис. 1. Режущие пластины для получистового точения вагонных осей: SNMM190624 (а) и SNMM 190616 – GH NC 330 (б).

Следует отметить, что форма пластины «Победит» является универсальной и, согласно каталогу предприятия-производителя, используется по назначению, в то время как форма пластины «KORLOY» предназначена только для чернового точения [9].

Термокомпрессионную обработку пластины осуществляли в созданной в ИСМ установке [7] при температуре 1450 °С, давлении 3,0 МПа и изотермической выдержке 20 мин.

У пластин в исходном состоянии и после их ТКО по стандартным методикам определяли характеристики плотности, коэрцитивной силы, твердости по Роквеллу *HRA*, Виккерсу *HV30* и коэффициент интенсивности разрушения по Палквисту при нагрузке *HV30*.

Структуру пластин исследовали, используя полированные шлифы на оптических микроскопах МИМ-8М, Метам Р-1 (ЛОМО) и растрового электронного ZEISS EVO 50 XVP. Количественный элементный состав фаз определяли с помощью системы микроанализа INCA 450 (точность анализа 0,1 % (по массе)). Мелкую (до 50 мкм) пористость, скопления связующей и WC-фаз оценивали в соответствии с ГОСТ 9391–80 на оптическом микроскопе МИМ-6 при увеличении  $\times 100$ , распределение зерен по фракциям – по методу Глаголева при увеличении  $\times 1350$  на оптическом микроскопе МИМ-8М.

Стойкость пластин при резании оценивали количеством обработанных вагонных осей на операции получистового точения в производственных условиях ОАО «Азовмаш». Вид износа пластин, причины их выхода из строя – при исследовании режущих кромок после их полного износа. Механизм износа устанавливали в результате анализа эксплуатационных данных.

### Результаты исследования

Результаты исследования физико-механических свойств и особенностей структуры сплава пластины SNMM 190624 в исходном состоянии и после термокомпрессионной обработки представлены в табл. 1, 2. Нужно отметить, что характеристики свойств исходных пластин имеют большой разброс.

Как видно из таблиц, ТКО, как и ожидалось, уменьшает остаточную пористость, нет крупных пор в структуре сплава. Обработка не повлияла на размер карбидных зерен и зерен кобальтовой фазы, плотность, характеристики коэрцитивной силы. Несколько увеличив твердость и коэффициент вязкости разрушения сплава.

Таблица 1. Свойства сплава пластины T15K6

Состояние пластины	Коэрцитивная сила $H_c$ , кА/м	Плотность $\gamma$ , г/см <sup>3</sup>	Твердость		Коэффициент интенсивности разрушения $K_{Ic}$ , МПа·м <sup>1/2</sup>
			HRA	HV 30	
Исходные	10,5	11,33	91,7	14,8	8,3
После ТКО	10,4	11,32	92,1	15,3	8,7

Примечание. Структура и свойства пластины SNMM 250724 аналогичны.

Таблица 2. Характеристики структуры пластины T15K6

Состояние пластины	Пористость			Включения-графита, % по об.	Ширина прослоек кобальта, мкм
	Количество пор < 50 мкм, % по об.	Количество пор > 50 мкм, шт.			
		50–100	> 100		
Исходная	Д-2 0,1	54	–	0,1–0,2	0,5
После ТКО	А-2 0,1	–	–	0,1–0,2	0,5

Обнаруженный эффект, как следует из результатов табл. 2, а также из анализа микро-структуры (см. рис. 3), связан с уменьшением пористости образцов, с одной стороны, а с другой – обусловлен отсутствием изменения размеров карбидных зерен после ТКО.

Микроструктура сплава пластин с видом отпечатка после индентирования пирамидой Викерса до и после ТКО приведена на рис. 2. Темная фаза в электронном изображении структуры представляет как включения Co, так и поры, а в контрастном (см. рис. 2, в, г) – только структура сплава T15K6 представляет собой каркас, состоящий из зерен твердого раствора (W,Ti)C (темно-серая фаза) размером от 1 до 10 мкм, в котором размещены как отдельные зерна WC (до 5 мкм), так и их скопления (до 10–15 мкм). При этом в структуре исходной пластины имеются участки скелета, состоящего из мелких зерен с большой внутризеренной пористостью (см. рис. 2, д). В образцах, подвергшихся ТКО, уменьшилось количество и размер включений темной фазы, что свидетельствует об уменьшении остаточной микропористости и хорошо коррелирует с результатами табл. 2.

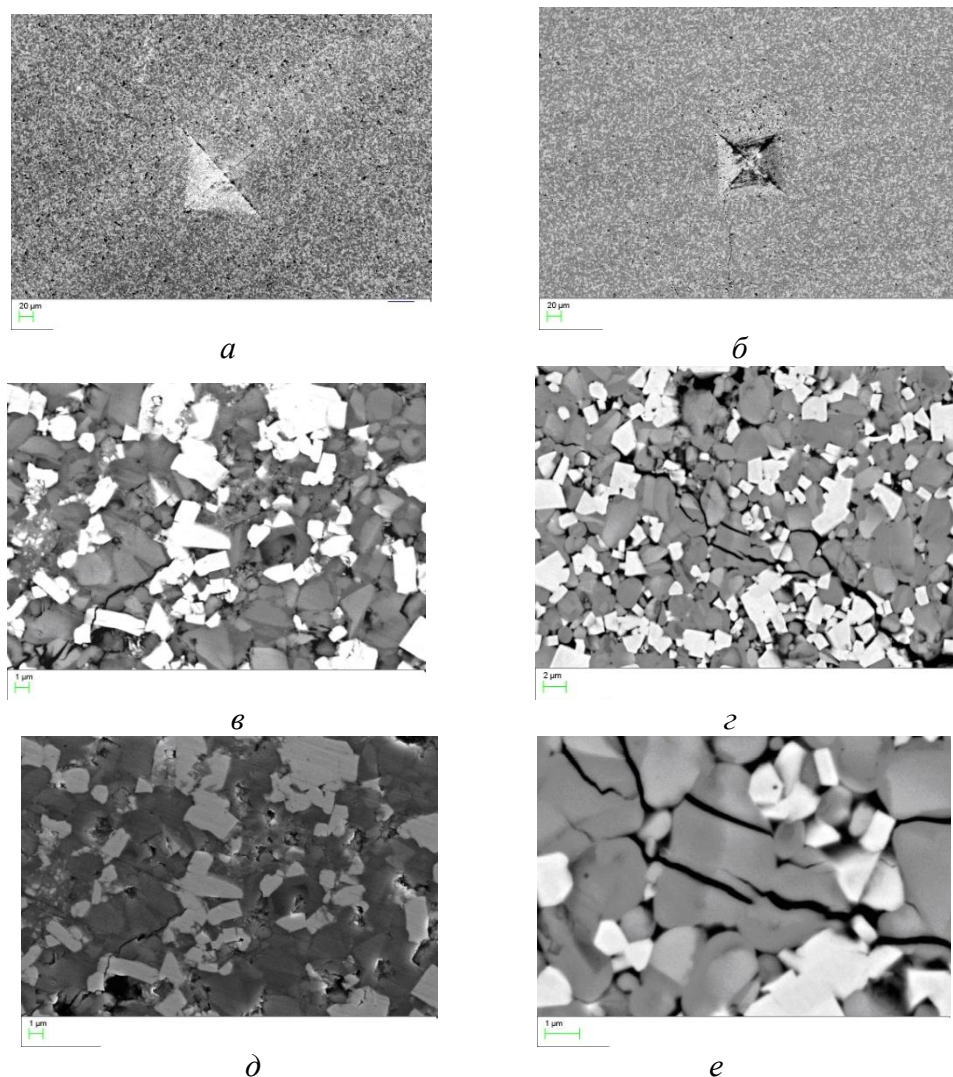


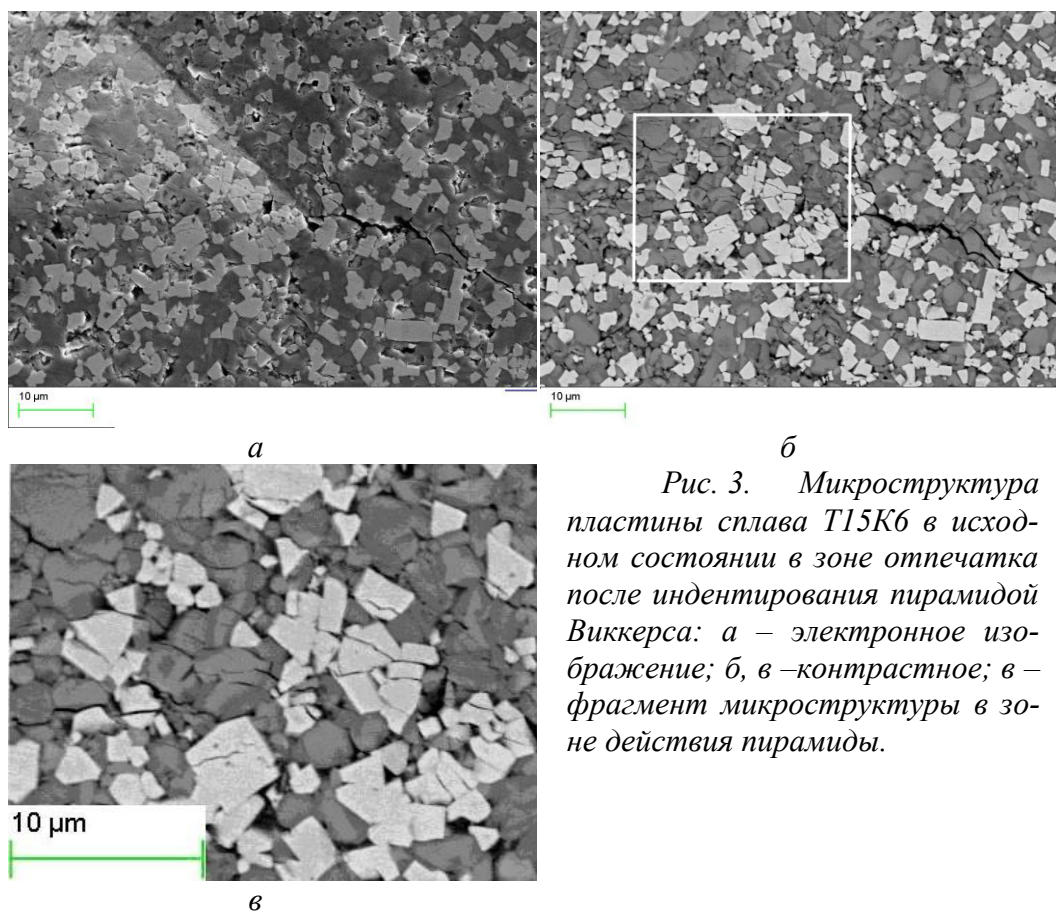
Рис. 2. Микроструктура сплава Ti15K6: а, в, д, – в исходном состоянии; б, г, е – после ТКО; а, б, д – электронное изображение; г, е, – контрастное.

Структурным количественным анализом в характерных точках установлено, что в центральной части зерен твердого раствора больших 2–3 мкм концентрация вольфрама составляет в % (по массе) 68–70, а в периферийной – 62–64, концентрация титана в этих точках соответственно равна 21 и 25. Таким образом, в процессе ТКО под давлением газа 3,0 МПа при температуре жидкофазного спекания произошла дальнейшая рекристаллизация зерен твердого раствора (W,Ti)C в результате диффузионного перераспределения вольфрама и титана с образованием градиентной структуры – центральной части, обогащенной вольфрамом, а периферийной – титаном. Увеличение концентрации карбида титана в оболочке зерен твердого раствора привело к ее охрупчиванию с одной стороны, а с другой – к повышению твердости. Форма, размер зерен карбида вольфрама и их расположение в структуре сплава после ТКО остались неизменными.

Распространение трещины в исходных образцах при вдавливании пирамиды Виккерса происходит по межзеренным границам конгломератов твердого раствора (W,Ti)C, а также по оболочке в крупных градиентных зернах (см. рис. 2).

Дробление зерен твердого раствора, а также крупных зерен WC на отдельные мелкие блоки, которые обнаружили в структуре на участке сдвига под воздействием пирамиды Виккерса (см. рис. 3, а, б, в), аналогично случаю распространения трещины от вершины отпечат-

ка под воздействием растягивающих напряжений, указывает на независимость механизма разрушения сплава Т15К6 от условий нагружения.



*Рис. 3. Микроструктура пластины сплава Т15К6 в исходном состоянии в зоне отпечатка после индентирования пирамидой Виккерса: а – электронное изображение; б, в – контрастное; в – фрагмент микроструктуры в зоне действия пирамиды.*

Исследование режущих свойств пластин проводили на специальном токарном станке с ЧПУ мод. 1А740РФ392 при получистовой обработке средней части вагонных осей пластинами формы SNMM 250724, а подступичной – пластинами формы SNMM 190624.

**Таблица 3. Результаты промышленных испытаний режущих свойств пластин из сплавов Т15К6 и NC 330**

№ п/п	Форма пластины	Получистовое точение	Количество осей, обработанных одной пластиной (четырьмя кромками)	Коэффициент стойкости, $K_{ст}$
1	SNMM 250724 в исходном состоянии	Средней части оси	34	1
2	То же, после ТКО		48	1,4
3	SNMM 190624, в исходном состоянии	Подступичной части оси	40	1,0
4	То же, после ТКО		64	1,6
5	SNMM 190616-GH NC 330		120	3,8

Примечание.  $K_{ст}$  – отношение количества осей, обработанных пластинами 2, 4, 5, к количеству осей, обработанных исходными пластинами 1, 3.



Для сравнения на операции получистового точения подступичной части оси испытывали пластины SNMM 190624-GH NC 330 с износостойким покрытием. Условия и параметры резания: без СОТС, скорость резания  $V$  – 150 м/мин; подача  $S$  – 0,18 мм/об; глубина резания  $t$  – 1,5 мм.

Из табл. 3 следует, что стойкость пластин при получистовом точении средней части вагонной оси после ТКО увеличивается в 1,4 раза, а подступичной части – в 1,6 раз.

Стойкость пластин 5 в 3,8 раз выше стойкости пластины 1 и в 1,85 – стойкости пластины 4 на операции получистового точения подступичной части вагонной оси. В результате анализа экспериментальных данных установили, что исходные пластины при обработке как средней, так и подступичной частей оси изнашиваются одинаково – с образованием лунки на передней (рис. 4, *а*) и ленточки на задней (рис. 4, *б*) поверхностях режущей кромки.

Доминирующим механизмом является микроскалывание режущей кромки. Потеря работоспособности происходит в результате макроразрушения (см. рис. 4, *в, г*), которое в отдельных случаях приводит к преждевременному выходу инструмента из строя, т.е. к нестабильности его работы. Такой характер износа режущей кромки свидетельствует о недостаточной механической и усталостной прочности сплава пластины Т15К6 в исходном состоянии.

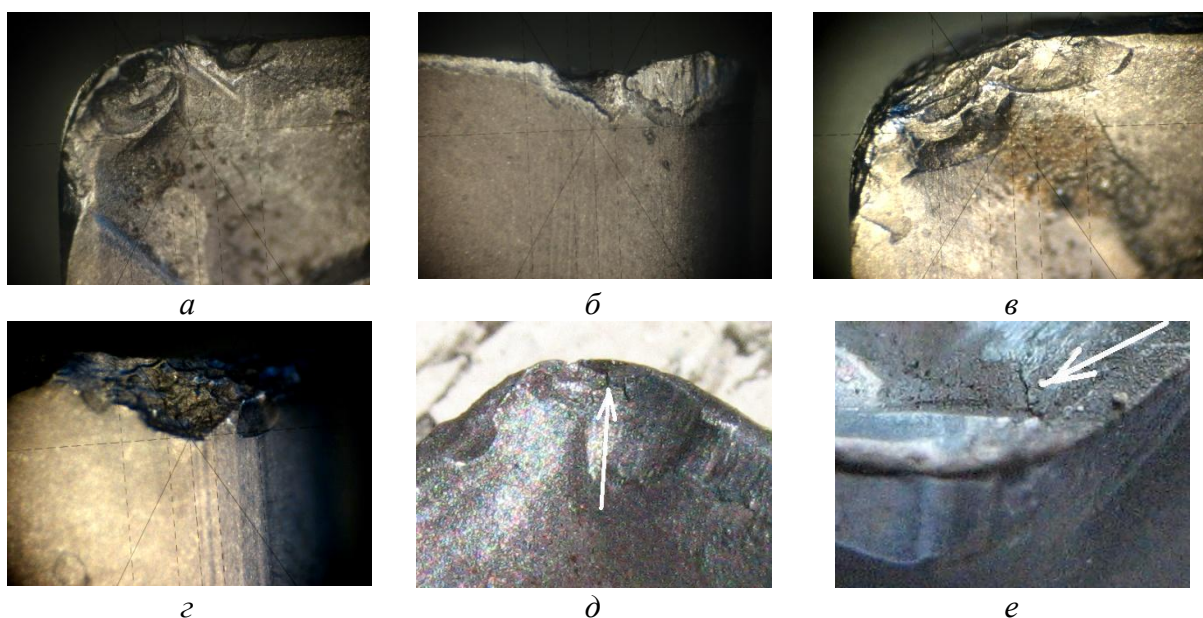


Рис. 4. Износ исходной пластины (*а–г*) и подвергнутой ТКО (*д, е*) после точения вагонных осей: *а, в, д* – на передней поверхности; *б, г, е* – по задней.

Величина полоски износа по задней поверхности  $h_3$  превышает 1,0 мм, что значительно превосходит допустимое (0,7–0,8 мм) значение, регламентируемое требованиями получистового процесса точения. Такая величина износа по задней поверхности вызывает заметное увеличение сил резания и температуры в зоне контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью, вследствие чего изменяется интенсивность процесса износа. В общем, пластины в исходном состоянии после эксплуатации имеют нехарактерные для получистового точения сильно разрушенные режущие кромки.

Анализ показывает, что у пластин после ТКО износ происходит по тому же механизму, что и у пластин в исходном состоянии, но с меньшей скоростью. Кроме того, уменьшается вероятность разрушения пластин макроскалыванием (см. рис. 4, *д, е*). На этих же снимках четко зафиксированы усталостные трещины (обозначены стрелками) на передних поверхностях режущих пластин даже после достижения критической величины износа  $h_3$ . Повыше-

ние средней стойкости пластин достигается как за счет уменьшения скорости износа, так и за счет уменьшения внезапных отказов из-за преждевременного разрушения режущих кромок.

Анализ показал, что износ пластины 5 (см. табл. 3) происходит по передней поверхности с образованием лунки (рис. 5, а) и по задней – с образованием полосы износа размером 0,3–0,4 мм (рис. 5, б–г) без наличия микроскалывания режущей кромки, но при этом по задней поверхности происходят сдвиги больших фрагментов материала (см. рис. 5, в, г) как с остатком покрытия, так и без него, т. е. по пограничному слою. Причиной такого разрушения могут быть большие силы резания, возникшие из – за сильного изменения формы режущей кромки в результате образования глубокой лунки на передней поверхности, а также из-за высокой хрупкости материала в пограничном слое по сравнению с материалом основного объема пластины.

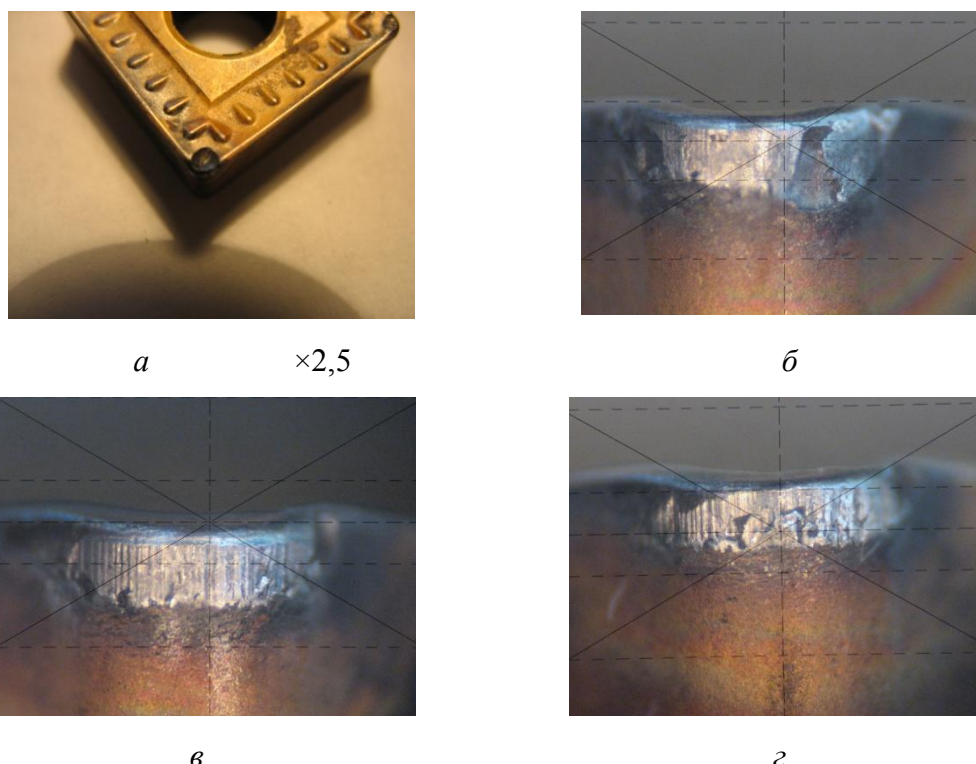


Рис. 5. Вид пластин «KORLOY» после использования: а – общий вид передней части; б–г – износ по задней поверхности,  $\times 50$ .

Различные виды износа по задней поверхности пластины – более гладкой (см. рис. 5, б) на поверхности прилегающей к покрытию, и наличие канавок (рис. 5, в, г) после сдвига части материала, непосредственно прилегающего к покрытию, подтверждают наше предположение о нерациональном использовании сплава NC 330 для работы в этих условиях.

В общем, такой вид износа характерен для условий получистового процесса точения, и, как известно, обеспечивает его стабильность и точность обработки. Анализируя расположение лунки износа на передней поверхности, можно утверждать, что специальные ребра, которые предназначены для дробления стружки при черновом точении, не выполняют такой функции на операции получистового точения, т.е. следует использовать пластину с другой формой стружколома.

Таким образом, из анализа вышеприведенных результатов следует, что увеличение сопротивления износу сплава T15K6, подвергнутого ТКО, при получистовой обработке вагонных осей происходит в результате увеличения его твердости и роста усталостной прочности за счет уменьшения микропористости и устранения крупных пор в структуре.

## Выводы

Сплав T15K6 режущих пластин «Победит», используемых для получистовой обработки вагонных осей, имеет в исходном состоянии неоднородную структуру с высокой микропористостью и крупными порами, снижающими режущие свойства пластин на операциях получистовой обработки вагонных осей.

Термокомпрессионная обработка режущих пластин под давлением 3,0 МПа не влияет на отдельные физико-механические свойства сплава – коэрцитивную силу, плотность, коэффициент вязкости разрушения, увеличивает твердость в результате уменьшения остаточной пористости и устранения крупных пор, не влияет на форму и размер WC зерен, но при этом увеличивает количество крупных зерен твердого раствора (W,Ti)C с градиентной структурой – центральной зоной, обогащенной вольфрамом, а периферийной – титаном.

Стойкость пластин после ТКО на операциях получистового точения средней и подступичной частей вагонных осей увеличивается соответственно в 1,4 и 1,6 раза за счет увеличения сопротивления материала усталостному разрушению, хрупкому микро- и макроскалыванию режущей кромки.

## Литература

1. Missol W., Karwata T., Krajzel J., Bujok J. Comparison of the properties of ultrafine and conventional hardmetals // Proc. Of the 1998 PM World Congress, V 4, Spain, October 18 – 22, 1998. – P. 152 – 157.
2. Ключко Н. А., Херсонский А. К. Исследование влияния термической обработки на напряженное состояние и свойства изделий из спеченных твёрдых сплавов WC–Co // Основы технологии пайки и термообработки твердосплавного инструмента: Сб. науч. трудов. – М.: Металлургия, 1981.– С. 56–60.
3. Чеховой А.Н. Эволюция структуры металлокерамического материала при термоциклировании // 4 Собр. металловедов России. Пенза, 23–25 сент., 1998 г. Сб. матер. 4.1. – Пенза, 1998. – С. 50–52.
4. Ярьсько С. И. Повышение эксплуатационных характеристик твердосплавного инструмента при лазерной обработке // Физика и химия обработки материалов. – 2003. № 5. – С. 18 – 22.
5. Петренко П. В., Грабовский Ю. Е., Грицкевич А. Л., и др. Структурно-фазовые превращения в твердых сплавах WC–Co при облучении низкопоточным электронным пучком // Физика и химия обработки материалов. – 2003. – № 3. – С. 29 – 39.
6. Тарбоков В. А., Ремнев Г. Е., Кузнецов П. В. Модифицирование твердосплавных пластин на основе карбида вольфрама мощным импульсным пучком // Физика и химия обработки материалов. – 2004. – № 3. – С. 11 – 17.
7. Бондаренко В. П., Прокопив Н. М., Харченко О. В. Термокомпрессионная обработка твердых сплавов // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2004. – Вып. 7. – С. 252–256.
8. Прокопив Н. М., Харченко О. В., Романюха Н. А., Моючий А. Ф. Перспективы разработки в Украине тангенциальных пластин для обработки колесных пар // Инструментальный світ. – 2004. – № 2. – С. 9–12.
9. Каталог фирмы «KORLOY». – 2001 г.

Поступила 13.07.07.