

УДК 620.626

Г.И. Костюк, д-р техн. наук,
В.Н. Степаненко, канд. техн. наук,
Е.Г. Костюк, канд. техн. наук,
А.Н. Костюк,
Ю.Ю. Карамышев

ДЕФОРМАЦИЯ СТРУЖКИ ПОСЛЕ ПОЛУЧИСТОВОГО ТОЧЕНИЯ СТАЛИ 38ХС И СПЛАВА ЭИ702 И ЧИСТОВОГО ТОЧЕНИЯ ЖАРОПРОЧНОЙ СТАЛИ 30Х14А РИ С ПОКРЫТИЯМИ И БЕЗ НИХ

Введение

Теоретическое исследование процесса резания невозможно без исследования коэффициента усадки стружки [1, 2], в тоже время необходимы зависимости показателя политропы сжатия (частично есть в [3]) от условий резания, что совместно даст возможность ставить и решать теоретические задачи о резании материала. Величина упроченного слоя и величины твердости поверхности детали зачастую определяют дальнейшую судьбу детали – требования к термической или упрочняющей обработки.

Получистовое точение стали 38ХС и сплава ЭИ702 и чистовое точение нержавеющей стали 30Х14А практически не изучены. Между тем эти процессы успешно заменяют во многих случаях шлифование. Широкое применение нержавеющей жаропрочных сталей и сплавов в машиностроении требует исследования влияния покрытия на режущем инструменте (РИ) на шероховатость обрабатываемой поверхности, износ резца с покрытием на РИ и без него, на деформирование стружки.

Работа выполнялась в рамках программы Министерства образования и науки "Новые и ресурсосберегающие и технологии в энергетике, промышленности и агропромышленном комплексе" (подсекция 13 – "Аэрокосмическая техника и транспорт") и по темам "Создание физико-технических основ повышения качества материала аэрокосмических конструкций" и "Разработка технологических основ интегрированных технологий плазменно-ионной обработки деталей аэрокосмической техники", а также в рамках хозяйственных работ и договоров о сотрудничестве.

1. Условия проведения эксперимента

В качестве обрабатываемых материалов были сталь 38ХС, сплав ЭИ702, жаропрочная, нержавеющая сталь 30Х14А (химический состав стали 30Х14А: С – 0,25...0,35 %, Cr – 12...14 %, Mn ≤ 0,5 %, Si ≤ 0,7 %, Ni ≤ 0,6 %, S ≤ 0,03 %, P ≤ 0,035 %. Предел прочности $\sigma_{вр} = 850$ МПа, предел текучести – 650 МПа, твердость HB = 241, критическая точка AC1 – 1100 К, коэффициент обрабатываемости резанием – 0,8). Исследование проводилось на токарном станке модели IA62, у которого в целях получения более высокой скорости резания число оборотов было увеличено до 1850 об/мин.

Режущим инструментом являлись прямые резцы сечением 16×25 мм², оснащенные твердым сплавом ВК6, Т5К10 и Т15К6. Резцы тщательно затачивались, а затем притирались на чугунном притире карбидом бора зернистостью 180-220. Качество доводки резцов проверялось на инструментальном микроскопе. Радиус скругления вершины резца проверялся там же, на РИ наносились покрытия Mo_2N , $0,8\text{ZrN} + 0,2\text{HfN}$.

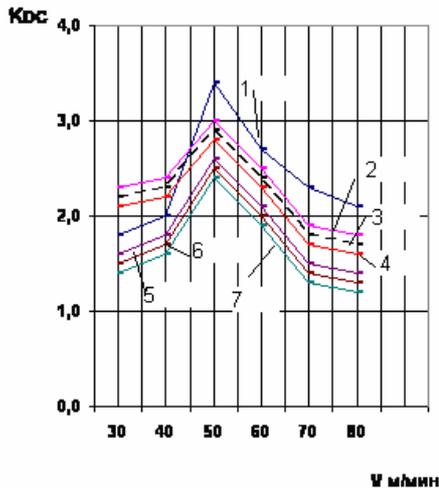


Рисунок 1 – Влияние скорости резания на коэффициент деформации при обработке стали 38ХС.

Инструментальный материал: 1. ВК6 с покрытием: 2. Mo_2N . 3. $0,5\text{TiN}+0,5\text{AlN}$. 4. TiN . 5. $0,2 \text{HfN}+0,8\text{ZrN}$. 6. HfN . 7. Al_2O_3

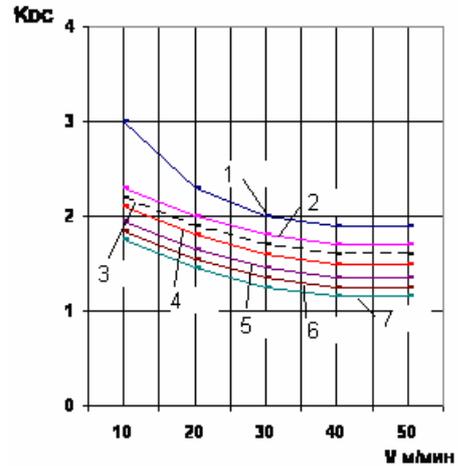


Рисунок 2 – Влияние скорости резания на коэффициент деформации при обработке сплава ЭИ702.

Инструментальный материал: 1. ВК6 с покрытием: 2. Mo_2N . 3. $0,5\text{TiN}+0,5\text{AlN}$. 4. TiN . 5. $0,2 \text{HfN}+0,8\text{ZrN}$. 6. HfN . 7. Al_2O_3

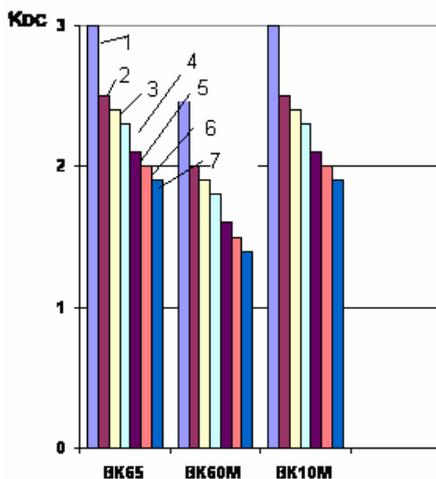


Рисунок 3 – Сравнительные диаграммы коэффициента деформации для мелкозернистых твердых сплав ВК.

Обрабатываемый материал-сплав 38ХС. 1.Твердый сплав с покрытием: 2. Mo_2N . 3. $0,5\text{TiN}+0,5\text{AlN}$. 4. TiN . 5. $0,2 \text{HfN}+0,8\text{ZrN}$. 6. HfN . 7. Al_2O_3

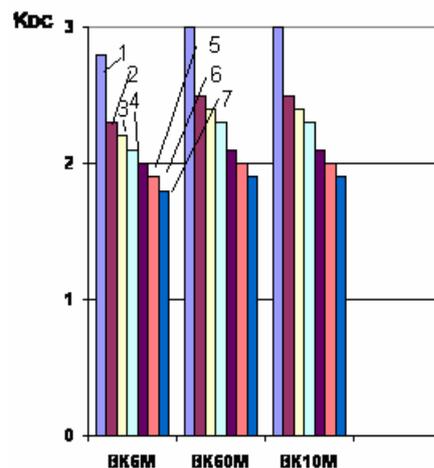


Рисунок 4 – Сравнительные диаграммы коэффициента деформации для мелкозернистых твердых сплавов группы ВК.

Обрабатываемый материал-сплав ЭИ702: 1 Твердый сплав с покрытием: 2. Mo_2N . 3. $0,5\text{TiN}+0,5\text{AlN}$. 4. TiN . 5. $0,2 \text{HfN}+0,8\text{ZrN}$. 6. HfN . 7. Al_2O_3

Результаты экспериментов и их обсуждения

На рис. 1-4 показаны зависимости коэффициента деформации (усадка) стружки от скорости резания, содержания кобальта и зернистости сплава ВК при точении 38ХС. Можно отметить некоторое снижение коэффициента деформации для пластинок ВК6 с покрытиями КИБ. Это, по-видимому, связано с общим уменьшением коэффициента трения и адгезии в застойной зоне с образованием нароста даже для таких покрытий как Mo_2N , $0,5\text{TiN} + 0,5\text{Al}$ и TiN . Но в то же время наличие покрытий $0,2\text{HfN} + 0,8\text{ZrN}$, HfN и Al_2O_3 обеспечивает снижение вероятности образования наростов при малых скоростях резания 30-50 м/мин (сталь 38ХС, РИ ВК6 с покрытиями). При повышении скорости резания коэффициент усадки (деформации) стружки резко снижается для РИ без покрытия и особенно существенен для покрытий $0,2\text{HfN} + 0,8\text{ZrN}$, HfN и Al_2O_3 (рис. 1).

В то же время при точении сплава ЭИ702 наблюдается снижение коэффициента усадки стружки с ростом скорости резания в диапазоне 10-50 м/мин. Причем его величина снижается за счет применения покрытий, особенно $0,2\text{HfN} + 0,8\text{ZrN}$, HfN и Al_2O_3 .

Очевидно, что применение покрытий существенно снижает коэффициент деформации стружки за счет снижения коэффициента трения и адгезионного взаимодействия покрытия и обрабатываемого материала.

Проведены эксперименты по определению усадки стружки при обработке стали 38ХС и сплава ЭИ702 мелкозернистыми твердыми сплавами ВК6М, ВК60М, ВК10М, результаты которых представлены на рис. 3 и 4.

Видно, что для стали 38ХС влияние содержания кобальта не обнаружено (сравним диаграммы для ВК6М и ВК10М), тогда как размер зерна влияет существенно (сравним ВК6М и ВК60М), для ВК60М коэффициент усадки существенно ниже - на 20%. Причем влияние покрытий в порядке большого убывания коэффициента усадки стружки сохранился для ВК6: Mo_2N , $0,8\text{ZrN} + 0,2\text{HfN}$, HfN и Al_2O_3 , что связано с убыванием коэффициента трения и снижением адгезионного воздействия обрабатываемого материала и покрытия (таблица).

В случае обработки сплава ЭИ702 пластинами из ВК6М, ВК60М и ВК10М, представленными на рис. 4, наблюдается увеличение влияние содержания кобальта (сравним диаграммы для ВК6М и ВК10М) примерно на 7% по сравнению с коэффициентом усадки для ВК10М. В этом случае влияние зернистости менее существенно и для более мелкого зерна ВК60М коэффициент усадки стружки больше на 6-7%, что отличается от результатов для стали 38ХС, что, очевидно, связано с химическим составом и физико-механическими характеристиками сплава ЭИ702.

Таблица

Значение разности электроотрицательности обрабатываемых материалов и ряда покрытий на РИ

Обрабатываемый материал Покрытие	38ХС 1,812		ЭИ702 1,72 1,77		ЭИ598 1,81 1,8		ВТ14 1,53		30Х14А 1,801		35ХГСА 1,81		7Х2ВМФ 1,83		6Х3МВФМБШ 1,83		БрО10С 1,918	
	Δ ЭОС	рей- тинг	Δ ЭОС	рей- тинг	Δ ЭОС	рей- тинг	Δ ЭОС	рей- тинг	Δ ЭОС	рей- тинг	Δ ЭОС	рей- тинг	Δ ЭОС	рей- тинг	Δ ЭОС	рей- тинг	Δ ЭОС	рей- тинг
Mo ₂ N 0,98	0,83 2	10	0,74 0,79	9	0,83 082	10	0,55	9	0,82 1	10	0,83	10	0,85	10	0,85	10	0,938	9
TiC 1,01	0,80 2	9	0,71 0,76	8	0,8 0,79	9	0,52	8	0,79 1	9	0,8	9	0,82	9	0,82	9	0,908	8
Ce ₃ C ₂ 0,89	0,92 2	11	0,83 0,88	10	0,92 0,91	11	0,64	10	0,91 1	12	0,92	11	0,94	11	0,94	11	1,128	10
TiN 1,5	0,31 2	5	0,2 0,27	4	0,31 0,35	5	0,03	2	0,30 1	5	0,31	5	0,33	6	0,33	6	0,518	6
ZrN 1,71	0,10 2	3	0,01 0,06	2	0,1 0,09	3	-0,18	6	0,09 1	3	0,1	3	0,12	4	0,12	4	0,308	4
HfN 1,74	0,07 2	1	-0,02 0,03	1	0,07 0,06	1	-0,21	7	0,06 1	1	0,07	1	0,09	2	0,09	2	0,278	2
TaN 1,54	0,27 2	4	0,18 0,23	3	0,27 0,26	4	-0,01	1	0,26 1	4	0,27	4	0,29	5	0,29	5	0,478	5
Cr ₃ N ₂ 1,38	0,43 2	8	0,34 0,39	7	0,43 0,42	8	0,15	5	0,42 1	8	0,43	8	0,45	8	0,45	8	0,638	7
AlN 1,43	0,38 2	7	0,29 0,34	6	0,38 0,37	7	0,1	4	0,37 1	7	0,38	7	0,4	7	0,4	7	0,588	7
0,5 AlN + 0,5 TiN 1,465	0,34 7	6	0,255 5 0,305	5	0,34 5 0,33 5	6	0,06 5	3	0,33 6	6	0,34 5	6	0,36 5	7	0,365	7	0,553	6
0,2HfN+0,8ZrN 1,716	0,09 6	2	0,004 0,054	2	0,09 4 0,08 4	2	-0,186	5	0,08 5	2	0,09 4	2	0,11 4	3	0,114	3	0,302	3
Al ₂ O ₃ 1,83	-0,018	1	-0,11 -0,06	1	-0,102 -0,103	1	-0,13	8	-0,029	1	-0,03	1	0	1	0	1	0	1

Характер влияния покрытий на коэффициент усадки стружки сохранился, что, очевидно, связано с близкими по величине разностями электроориентальностей стали 38ХС и сплава ЭИ702 с покрытиями, наиболее низкий коэффициент деформации стружки реализуется для покрытий $0,8\text{ZrN} + 0,2\text{HfN}$, HfN и Al_2O_3 .

Изучалась продольная и поперечная усадка стружки. Исследовалась продольная усадка стружки при $t = 0,5$ мм, при изменении подач ($s = 0,08 \dots 0,5$ мм/об) и изменение скоростей резания ($V = 6 \dots 350$ м/мин) при точении РИ с покрытием $0,8\text{ZrN} + 0,2\text{HfN}$ и без него.

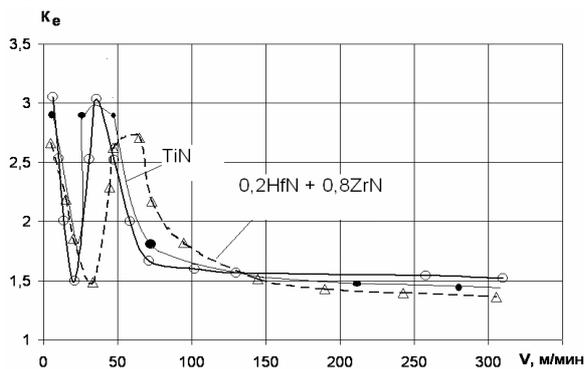


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента продольной усадки стружки от скоростей резания для РИ с покрытием $0,2\text{HfN} + 0,8\text{ZrN}$ и TiN (Δ) и без него (\circ) при $t = 0,5$ мм, $s = 0,2$ мм/об

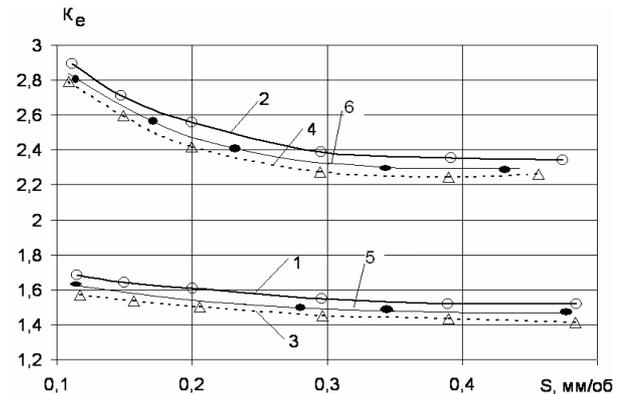


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента продольной усадки стружки от подачи: $t = 0,5$ мм, $l = 60$ мм/мин и $V = 168$ м/мин для РИ с покрытием $0,2\text{HfN} + 0,8\text{ZrN}$ (кривые 1 и 2 Δ) и покрытием TiN (5 \bullet), и без него (1 и 4 \circ) при точении острым (1, 3 и 5) и среднезатупленным резцом (2, 4 и 6)

На рис. 5 представлен график зависимости продольной усадки K_e от скорости резания.

Видно, что кривая для РИ без покрытия имеет четыре участка. На первом участке усадка резко падает, принимая наименьшее значение при $V = 20$ м/мин; на втором – она быстро возрастает, достигая максимального значения при $V = 40$ м/мин. На четвертом участке при $V > 100$ м/мин она очень медленно уменьшается, принимая при $V = 300$ м/мин практически постоянное значение. Максимум усадки стружки имеет примерно одно и то же значение при $V = 5$ и 50 м/мин. Однако, чем усадка меньше, тем при больших скоростях резания она реализуется. В то же время применение покрытия $0,2\text{HfN} + 0,8\text{ZrN}$ (Δ) приводит к снижению коэффициента усадки стружки и смещения максимума в сторону больших скоростей резания (максимум реализуется при $V = 70$ м/мин) (рис. 5), что подтверждает тезис о снижении деформации стружки при использовании покрытий и материалов режущих инструментов с низкой адгезией к

обрабатываемому материалу. Для этих покрытий из TiN усадка стружки имеет значения несколько меньшие, чем для $0,2\text{HfN} + 0,8\text{ZrN}$, но характер кривых сохраняется, что говорит о снижении материала РИ к обрабатываемому материалу.

Характер изменения поперечной усадки стружки имеет такой же характер, как и продольной усадки.

На рис. 6 представлено влияние подачи на продольную усадку стружки при различных скоростях резания, то есть в различных фазах кривой усадки. В областях быстроснижающейся ветви с увеличением подачи усадка быстро уменьшается; в областях медленноснижающейся ветви – медленно.

Применение покрытий из TiN и $0,2\text{HfN} + 0,8\text{ZrN}$ и TiN при изучения влияния продольной подачи на коэффициент продольной усадки стружки показало, что характер зависимостей сохранился, как и для РИ без покрытия, но абсолютные значения снизились, что говорит о более высоком снижении деформации стружки при использовании покрытия $0,8\text{ZrN}+0,2\text{HfN}$.

Выводы

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Показано, что применение покрытий при обработке РИ из ВК6, стали 38ХС снижает вероятность появления наростов при скоростях резания до 50 м/мин, особенно для покрытий $0,2\text{HfN} + 0,8\text{ZrN}$, HfN и Al_2O_3 .

Для скоростей резания в диапазоне от 50 до 80 м/мин применение покрытий приводит к снижению усадки, причем последовательность покрытий по убыванию усадки следующая: Mo_2N ; $0,5\text{TiN} + 0,5\text{AlN}$; TiN; $0,2\text{HfN} + 0,8\text{ZrN}$; HfN и Al_2O_3 , причем для трех последних коэффициент усадки минимален. Этот ряд согласуется с минимумом разности электроотрицательности.

2. Для сплава ЭИ702 при обработке РИ из ВК6 с покрытиями в диапазоне скоростей резания 10...50 м/мин с ростом скорости резания реализуется снижение коэффициента усадки стружки как при обработке РИ из ВК6 с покрытием, так и без него, причем последовательность покрытий в порядке снижения усадки сохранилась, наибольшая усадка реализуется при покрытиях $0,2\text{HfN} + 0,8\text{ZrN}$; HfN и Al_2O_3 . Видно, что максимальное снижение коэффициента усадки стружки реализуется при минимуме разности электроотрицательности обрабатываемого материала и материала покрытия, которое связано с адгезионным взаимодействием.

3. Показано, что для стали 38ХС влияние содержания кобальта на коэффициент усадки стружки не обнаружено (ВК6 и ВК10), а для сплава ЭИ702 оно существенно.

4. Обнаружено влияние зернистости для стали 38ХС (ВК6М и ВК60М), тогда как для сплава ЭИ702 оно не обнаружено. Для обоих материалов характер убывания коэффициента усадки сохранился как и для ВК6: Mo_2N ; $0,5\text{TiN} + 0,5\text{AlN}$; TiN ; $0,2\text{HfN} + 0,8\text{ZrN}$; HfN и Al_2O_3 , что говорит о минимуме разности электроотрицательностей обрабатываемого материала и материала покрытия.

5. Возможность снижения продольной усадки стружки за счет нанесения покрытия TiN и $0,8\text{ZrN}+0,2\text{HfN}$.

6. Основным фактором, влияющим на рост продольной усадки стружки, является степень изношенности режущего инструмента как с покрытием, так и без него.

7. Принимая во внимание, что величина усадки стружки влияет на энергопотребление, можно утверждать, что для снижения энергопотребления необходимо использовать и режимы резания с низким коэффициентом усадки стружки, т.е. с минимальным адгезионным взаимодействием.

Список использованных источников

1. Kostyuk G. The effective cutting tools having the coating and hardened layers: monograph-reference book / G. Kostyuk. – Kharkov, «KhAI», 2007. – 633 p.
2. Костюк Г.И. Физические процессы плазменно-ионных, ионно-лучевых, плазменных, светолучевых и комбинированных технологий. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий: моногр. / Г.И. Костюк. – К.: Изд-во АИНУ, 2002. – Кн. 1. – 1587 с.
3. Костюк Г.И. Физико-технические основы напыления покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированной технологии. Справочник для расчета основных физических и технологических параметров, оценки возможностей, выбора типа технологий и оборудования. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий: моногр. / Г.И. Костюк. – К.: Изд-во АИНУ, 2002. – Кн. 2. – 441 с.
4. Костюк Г.И. Физико-технические основы роботизированного производства: учеб. пособие / Г.И. Костюк. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 2006. – 614 с.
5. Костюк Г.И. Научные основы создания современных технологий: учеб. пособие / Г.И. Костюк. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т, 2008. – 551 с.
6. Костюк Г.И. Наноструктуры и нанопокрyтия: перспективы и реальность: учеб. пособие / Г.И. Костюк. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т, 2009. – 406 с.