

Значения k_c и K_{Σ} принимались в соответствии с рекомендациями [4, 5].

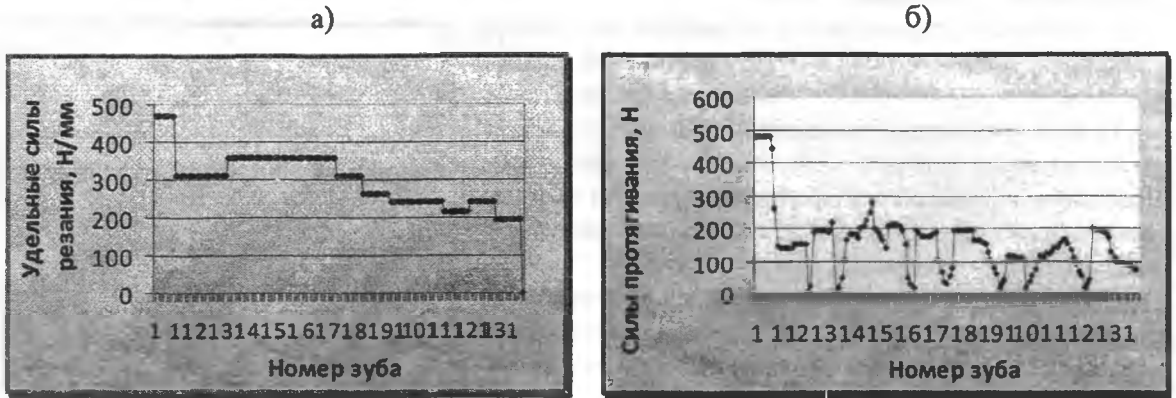


Рис. 5. Изменения уровней удельных k_c и главных P_z сил резания на отдельных зубьях протяжки

Спроектированная протяжка имеет 140 зубьев разной ширины и с разными подъемами на зуб. На рис. 5 показаны уровни удельных k_c и главных P_z сил резания для всех зубьев протяжки. Отмечается достаточно равномерные значений сил с тенденцией снижения по мере уменьшения подъемов на зуб. Существенные изменения сил вызывают появление колебаний, отрицательно сказывающихся на работе всей технологической системы.

Таким образом, правильный выбор формы режущих кромок, подъемов на зуб и распределения припуска между секциями протяжек для протягивания фасонных пазов обеспечивает благоприятные условия работы инструмента, его высокую стойкость и надежность работы.

ЛИТЕРАТУРА

- Щеголев В.А. Конструирование протяжек. М.: Машгиз, 1960.
- Шатин В.П., Шатин Ю.В. Режущий и накатный инструмент. Справочник конструктора-инструментальщика. М.: Машиностроение, 1975.
- Балюра П.Г. Геометрические параметры протяжек при обработке пазов по генераторно-ступенчатой схеме резания// Станки и инструмент.—1957.—№ 11.—С. 32–34.
- ГОСТ 20365-74. Протяжки круглые переменного резания диаметром от 14 до 90 мм. Конструкция и размеры.
- ГОСТ 18217-90. Протяжки шпоночные. Конструкция.

УДК 621.95.01

Фельдштейн Е.Э.

СВЕРЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ В ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ Ti6Al4V-ELI СВЕРЛАМИ С ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ

Зеленогурский университет
Зелена Гура, Польша

Титановые сплавы широко применяются в современной промышленности, поскольку обладают высокими механическими характеристиками, малой плотностью и являются материалов инертным к большинству агрессивных сред. Поскольку данная группа матери Алов имеет весьма низкую теплопроводность и сложную микроструктуру, их обрабатываемость резанием весьма низкая, что весьма отрицательно сказывается на производительности обработки.

Одним из путей повышения эффективности обработки резанием является применение износостойких покрытий на режущих инструментах. Согласно литературным данным, применение покрытий позволяет:

- значительно повысить период стойкости и надежность инструментов;
- увеличить производительность процессов обработки резанием;
- сократить расход дорогостоящих инструментальных материалов;

- повысить качество поверхностного слоя и точность размеров обработанных деталей.

Ниже излагаются результаты исследований процесса сверления отверстий в титановом сплаве сверлами с различными покрытиями.

Обрабатываемый материал – титановый сплав Ti6Al4V-ELI, широко используемый в про-

изводстве эндопротезов и других изделий медицинского назначения. Это двухфазный ($\alpha + \beta$) сплав (рис. 1), содержащий ~ 90 % Ti, 6 % Al, 4 % V с возможными добавками до 0,1 % Fe, 0,15 % O и микродобавками C, H, N. Основные свойства сплава приведены в табл. 1.

Сверление осуществлялось на проход на вертикально фрезерном станке F251, толщина заготовки 13 мм. Охлаж-

Параметр	Величина
Плотность, г/см ³	4,43
Твердость	HB 326 (HRC 35)
Временное сопротивление, МПа	970...1030
Модуль упругости, ГПа	120
Относительное удлинение, %	12...16
Усталостная прочность, МПа	600
Удельная теплопроводность, Вт/м·К	6,7

дающая жидкость – 5%-ая эмульсия EMULGOL ES – 12 на водной основе. Исследования выполнялись согласно факторному плану 2² в диапазоне скоростей резания 3 – 10 м/мин и подачи 0,04 – 0,08 мм/об. Данный диапазон соответствует рекомендациям по сверлению титановых сплавов сверлами из быстрорежущей стали [1].

Использовались сверла из быстрорежущей стали (HSS) ГОСТ 886-77 со шлифованным профилем диаметром 5 мм с углом при вершине $2\phi = 118^\circ$, углом наклона стружечной канавки $\omega = 23^\circ$ и задним углом $\alpha = 6^\circ$. Сравнивались параметры сверления для непокрытых сверл и сверл с покрытиями BALINIT® FUTURA NANO и BALINIT® HARDLUBE. Покрытия наносились методом PVD по технологии фирмы «Oerlikon Balzers Coating». Состав и некоторые свойства покрытий приведены в табл. 2.



Рис. 1. Микроструктура сплава Ti6Al4V ELI

Таблица 2. Состав и свойства исследуемых покрытий

Параметр	FUTURA NANO	HARDLUBE	X-TREME
Материал	TiAlN	TiAlN + WC/C	TiAlN
Микротвердость HV 0,05	3300	3000	3500
Коэффициент трения	0,30...0,35	0,15...0,20	-
Максимальная рабочая температура, °C	900	800...1000	800
Структура	Наноструктура	Многослойная	Однослойная
Внутренние напряжения, ГПа	-(1,7...2,0)	-(1,7...2,0)	-

На первом этапе исследований рассматривался характер заусенцев, образующихся на выходе сверла из отверстия. Данный вопрос весьма важен при сверлении на проход, особенно при обработке прочных и пластичных материалов. Выявлено следующие формы заусенцев, образующихся при сверлении отверстий в сплаве Ti6Al4V ELI:

- «надорванный колпачок» (рис. 2, а);
- удлиненные фрагменты колпачка, перекрывающие отверстие или направленные параллельно его оси (рис. 2, б, в);
- тонкое кольцо вдоль периметра отверстия (рис. 2, г).

При этом задиры в форме колпачков и тонких колец зафиксированы преимущественно при использовании сверл в исходном состоянии (для более 50% отверстий). При использовании сверл с покрытиями встречаются только заусенцы, вытянутые вдоль направления подачи сверла (рис. 2, в). Вероятно, подобное обстоятельство обусловлено изменениями в условиях нагрева срезаемого слоя стружки при выходе сверла из отверстия.

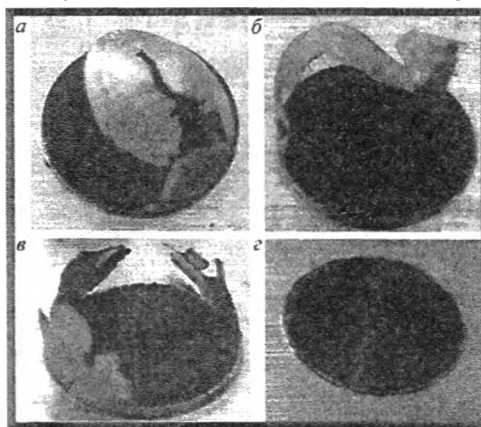


Рис. 2. Типовые формы заусенцев при сверлении сплава Ti6Al4V ELI

Анализ форм стружки проводился на базе нормы ИСО 3685:1993. Зарегистрированы стружки в виде запутанных гофрированных спиралей (1), коротких (2) и длинных (5) открытых винтовых спиралей, конических винтовых спиралей (3, 4), отдельных витков и полувитков (6). Однако при использовании сверл с покрытиями, особенно однослойными, стружка в виде отдельных витков и полувитков встречается значительно реже, преимущественно при малых скоростях и подачах. Преобладают стружки в виде спиралей различных типов. Возможно, здесь сказывается влияние более низких коэффициентов трения, облегчающих сход стружки и ее транспортировку по стружечным канавкам.

Оценивалось также влияние условий обработки на точность просверленных отверстий.

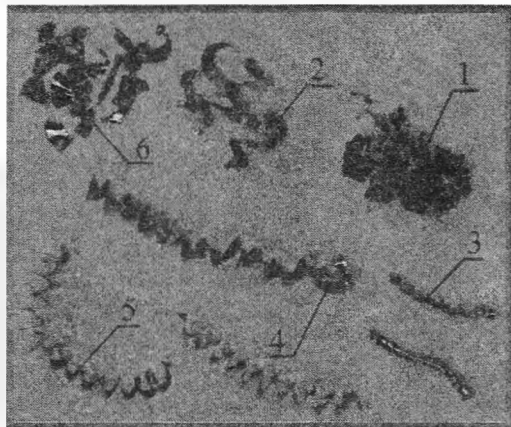


Рис. 3. Формы стружки при сверлении сплава Ti6Al4V-ELI

Точность отверстий оценивалась по изменениям их номинального диаметра (разбивке). Поскольку использовались сверла длинной серии, имело место пониженная жесткость технологической системы, и подавляющее большинство отверстий имело форму неправильного трехгранника (в соответствии с известной зависимостью $n = z + 1$, где n – число граней в отверстии, z – число зубьев инструмента). При такой форме отверстий для измерения разбивки невозможно использование нутромера. Поэтому диаметры просверленных отверстий определялись на микроскопе БМИ на основе измерения координат трех точек, наиболее отдаленных от центра отверстия $(x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3)$, и последующих расчетов координат центра отверстия x_0, y_0 и радиуса описанной окружности R :

$$x_0 = \frac{D \cdot E - B \cdot F}{G}; y_0 = \frac{A \cdot F - C \cdot E}{G};$$

$$D_0 = 2\sqrt{(x_0 - x_1)^2 + (y_0 - y_1)^2}.$$

Здесь

$$A = x_2 - x_1; B = y_2 - y_1; C = x_3 - x_1; D = y_3 - y_1;$$

$$E = A \cdot (x_1 + x_2) + B \cdot (y_1 + y_2); F = C \cdot (x_1 + x_3) + D \cdot (y_1 + y_3);$$

$$G = 2 \cdot (A \cdot (y_3 - y_2) - B \cdot (x_3 - x_2)).$$

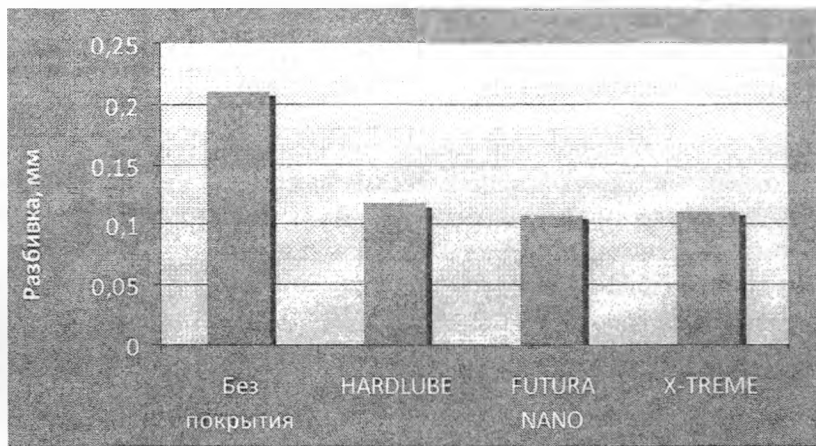


Рис. 4. Влияние покрытия на разбивку просверленного отверстия

Анализ результатов расчетов показывает, что режимы обработки не влияют на разбивку просверленных отверстий, тогда как наличие покрытия на сверле оказывает существенное влияние (рис. 4), снижая разбивку в 2 раза. Вероятно, это связано со снижением сил резания, действующих на контактных площадках сверл с покрытиями.

Таким образом, использование сверл с покрытиями улучшает условия стружкообразования и повышает точность просверленных отверстий

ЛИТЕРАТУРА

Режимы резания труднообрабатываемых материалов. Справочник / Я.Л. Гуревич [и др.]. – М.: Машиностроение, 1976.

УДК 621.963

Мрочек Ж.А., Шадуя В.Л., Кожуро Л.М., Кожуро С.Л.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ АЛМАЗНЫМ КРУГОМ С ОРИЕНТИРОВАННЫМИ РЕЖУЩИМИ ЗЕРНАМИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Известно [1...3], что различные способы обработки металлов оказывают непосредственное, присущее только данному способу воздействие на геометрические параметры и физические свойства поверхностного слоя деталей машин. Так, например, установлено [4...6], что при алмазном шлифовании в сравнении с обычным абразивным создаются более благоприятные условия резания: снижаются усилия резания и температура в зоне обработки. Это обеспечивает получение поверхностного слоя обработанных деталей с определенными физико-механическими свойствами.

В работе представлены результаты исследований влияния алмазного шлифования на содержание остаточного аустенита, величину и знак напряжений 1 рода, а также характеристики тонкой кристаллической структуры и микротвердость поверхностного слоя, определение которых проводилось методами рентгеноструктурного анализа по методикам, изложенным в работах [7,8]. Исследования проводили на образцах из легированных инструментальных сталей ШХ15, ХВГ, 40Х, Р18, У10А. Выбор этих марок стали обусловлен тем, что они используются для изготовления инструмента и деталей, работающих в условиях высоких контактных и изгибающих напряжений.

Образцами для исследований служили плоские заготовки размером 100 × 50 × 30 мм, полученные с одной плавки для каждой стали. Заготовки в состоянии поставки были обработаны фрезерованием (шероховатость поверхности $R_a = 2,5$ мкм) и подвергнуты термообработке по режимам (табл. 1). Алмазное шлифование образцов осуществляли на плоскошлифовальном станке модели ЗБ64 с применением СОЖ (3 %-й водный раствор кальцинированной соды).

Использовали алмазный шлифовальный круг на пористой металлической связке с ориентированными алмазными зёрнами, который имел форму круга АПП 125 × 32 × 10 × 3 АСВ 125/100МП1 100 и обычный алмазный круг на металлической связке - АПП 125 × 32 × 10 × 3 АСВ 125/100 М58 100. Обработку образцов осуществляли кругами при следующем режиме шлифования: скорость круга $V = 25$ м/с, подача $S = 1,5$ м/мин, глубина резания $t = 0,01$ мм, припуск $h = 0,2$ мм.

Таблица 1

Режимы термообработки материала образцов

Марка стали	Температура закалки, °С	Температура отпуска, °С	Твердость, HRC	Исходная структура
ШХ15	840...860	180...200	62...64	Мартенсит
ХВГ	840...860	180	62...64	Мартенсит
Р18	Предварительный подогрев 650...700	3 кратный отпуск		Мартенсит
	Второй подогрев 900...950	540...550	63...65	
	Окончательный подогрев 1250...1280	540...560		
40Х	840...860		52...57	Тростит

Физико-механические параметры поверхностного слоя образцов, полученного после алмазного шлифования различными кругами, представлены в табл. 2. Анализ их показывает, что после алмазного шлифования кругом на пористой металлической связке с ориентированными зёрнами и подачей СОЖ через поры круга поверхностный слой всех исследуемых сталей имеет меньше содержания остаточного аустенита, чем после алмазного шлифования обычным кругом. Это можно объяснить тем, что шлифование первым кругом сопровождается значительно меньшим