

*А.А. СИМОНОВА*, аспирант, НТУ «ХПИ»;  
*Дж. КАПТАЙ*, д-р техн. наук, профессор,  
Мишкольцкий университет, Мишкольц, Венгрия;  
*Н.В. ВЕРЕЗУБ*, д-р техн. наук, профессор, НТУ «ХПИ»

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ РАЦИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МЕТАЛЛОВ**

Запропоновано методику визначення раціональних параметрів лезової обробки субмікросталічних чистих металів. Пошук раціональних умов обробки представлено на прикладі субмікросталічного титану.

Предложена методика определения рациональных параметров лезвийной обработки субмикросталлических чистых металлов. Поиск рациональных условий обработки представлен на примере субмикросталлического титана.

The method of determining the rational parameters of cutting sub microcrystalline pure metals is offered. Search for rational cutting conditions show in the example sub microcrystalline titanium.

**Введение.** В настоящее время особое внимание уделяется вопросам разработки новых материалов. Одним из наиболее перспективных научных направлений в области создания новых материалов с уникальными свойствами является разработка специальных технологий получения ультрамелкозернистых материалов, имеющих субмикросталлическую (СМК) и нанокристаллическую (НК) структуру. Для формирования в материалах нано-и субмикросталлической структуры используются различные методы: кристаллизация из расплава, газовая конденсация с последующим компактированием, шаровой размол с последующей консолидацией, электроосаждение и интенсивная пластическая деформация (ИПД) [1]. В данной работе в качестве объекта исследования были выбраны чистые металлы в субмикросталлическом состоянии, полученном методом ИПД, в частности, всесторонней ковкой.

Структурный аспект различия традиционного (исходного) и после ИПД состояния материалов заключается в мелкодисперсной структуре материалов, подвергнутых интенсивной деформации. Структура, полученная методом ИПД, имеет большую объемную долю границ зерен по сравнению с крупнокристаллической структурой, а также нано- и субмикросталлические металлы обладают специфической структурой, характеризующейся высокой концентрацией дефектов (точечных и линейных) в границах зерен и вблизи них, при этом количество дислокаций внутри зерен уменьшается. Неравновесные границы зерен в нано- и

субмикроструктурных металлах вследствие наличия в их структуре дефектов с предельно высокой плотностью обладают избыточной энергией и полями дальнедействующих упругих напряжений. Таким образом, нано- и субмикроструктурные металлы, как термодинамическая система, находятся в неравновесном состоянии по сравнению с традиционными крупнокристаллическими металлами [2-4].

Изделия с нано- и субмикроструктурной структурой получают, как правило, в процессе механической обработки. Поверхностный слой детали в процессе резания испытывает со стороны режущего инструмента силовое и тепловое воздействие.

Экспериментальные исследования, приведенные в работах [5-7], показывают значительное влияние температуры резания, возникающей во время обработки, и времени ее воздействия, не только на структурное и физическое состояние поверхностного слоя детали, но и на параметры обрабатываемости.

**Постановка задачи.** В данной статье представлена методика определения рациональных параметров лезвийной обработки нано- и субмикроструктурных металлов и предложены режимы обработки, позволяющие сохранить исходную структуру металлов и, как следствие, исходные высокие физико-механические и эксплуатационные характеристики.

**Результаты и их обсуждение.** Методика определения рациональных параметров лезвийной обработки представлена на примере субмикроструктурного чистого титана ВТ1-0.

Ранее представленная модель распределения температурных полей в обрабатываемой заготовке [8] и расчет интенсивности роста зерна в металле [9] дают возможность определить область рациональных условий обработки заготовок с НК и СМК структурой.

Для поиска рациональной области решения в системе координат «скорость резания – подача» строим поля ограничений, которые разбивают диаграмму на несколько областей. В нашем случае мы строим две линии ограничений и получаем три участка, которые характеризуют состояние поверхностного слоя металлов после механической обработки.

Для построения кривых необходимо выполнить конечно-элементное моделирование распределения температурных полей в обрабатываемой заготовке с целью определения величин температур и времени их воздействия. При исходных условиях: металл заготовки, диаметр заготовки, глубина резания, материал режущей части инструмента, СОТС, комбинируем возможные варианты скорости резания и подачи, допустимые для пары обрабатываемый материал – режущий инструмент, и выполняем конечно-

элементное моделирование. Величину исходного размера зерна металла, полученные значения температур и времени их воздействия подставляем в уравнения для определения окончательного размера зерна. Из рассматриваемых комбинаций скорость резания – подача нас интересует область, которая вызывает рост исходного размера зерна на 10% и область рекомендуемых условий обработки, которая вызывает рост исходного размера зерна свыше 100%.

Строим кривую, показывающую увеличение размера зерна на 10%. Эта кривая ограничивает область условий обработки, обеспечивающая сохранение исходного размера зерна. Данное увеличение размера не может повлечь за собой значительные изменения физических свойствах металла и качества поверхностного слоя после обработки. Выход из этой области характеризует переход в зону неустойчивого состояния зерна металла.

Вторая кривая строится для значений скорости и подачи, ведущих к росту зерна свыше 100%. В зависимости от исходного размера зерна и необходимых для сохранения эксплуатационных свойств вторая кривая создает область недопустимых режимов обработки и определяет размеры области, в которой рост зерна превышает 100%.

Условия обработки в третьей области являются нежелательными.

Моделирование с использованием конечно-элементного метода показало, что температурные поля с высокой температурой, способной вызвать структурные изменения в поверхностном слое, находятся в зоне резания. Наибольшая температура наблюдается в зоне непосредственного контакта режущего инструмента с обрабатываемой заготовкой. Удаление температурных полей от области контакта в направлении подачи приводит к снижению величины температур. С учетом полученных в результате моделирования температурных полей разобьем длину обработанной поверхности в текущий момент времени на дискретные отрезки. Длина текущего отрезка  $L_i$  со средним значением температуры  $T_i$ . Разделим отрезок на две части - правую и левую:  $L_i = L_{ia} + L_{ib}$ , исключением является центральный отрезок при  $i = 1$ , температура в этой области является максимальной температурой и находится в зоне непосредственного контакта режущего инструмента с заготовкой (см. рис.1, 2). Интервал времени  $t_i$  в течение, которого температурное поле действует на длине  $L_{i}$ , может быть рассчитан по следующей формуле

$$t_i = \frac{0,06 \cdot d_3 \cdot \pi \cdot L_i}{s \cdot v}, \quad (1)$$

где  $d_3$  – диаметр заготовки, (мм);

$L_i$  – дискретная длина отрезка температурного поля, (мм);

$s$  – подача, (мм/об);

$v$  – скорость резания, (м/мин).

Коэффициент 0,06 используется для пересчета минут в секунды и миллиметров в метры.

По результатам моделирования распределения температурных полей в обрабатываемой заготовке (рис.1) рассчитываем значения  $L_i$ ,  $t_i$  и  $T_i$  для различных интервалов, которые характеризуют различные температурные поля (минимум пять наибольших температур).

Находим интенсивность роста зерна для титана, подставляя значение температур (табл.) в формулу [9]

$$k = 10^{-0.4668 - \frac{12380}{T}}, \quad (2)$$

где  $T$  – температура (К).

Окончательный размер зерна, полученный после механической обработки, определяется по формуле [10]

$$D = \sqrt{(D_0)^2 + 2 \cdot k \cdot t}, \quad (3)$$

где  $D_0$  – исходный размер зерна (м);

$k$  – интенсивность роста зерна ( $m^2/c$ );

$t$  – время воздействия теплового источника (с).

Теоретический расчет производился для условий обработки, которые использовались в эксперименте и последующем моделировании распределения температурных полей в обрабатываемой заготовке.

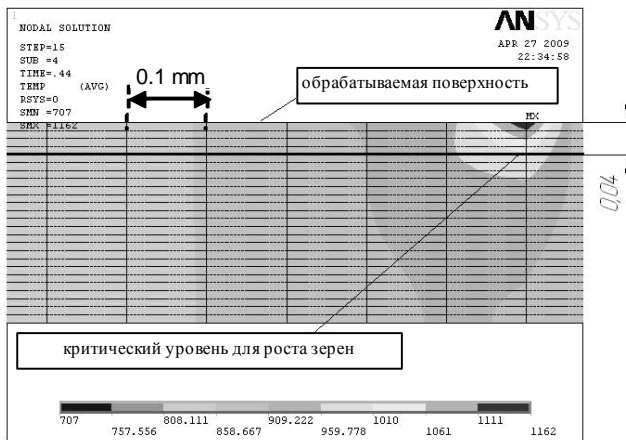


Рисунок 1 – Расчетные температурные поля при обработке титана ( $v = 160$  м/мин,  $s = 0,14$  мм/об,  $t = 0,5$ мм)

Условия обработки I ( $v = 30\text{м/мин}$ ,  $s = 0,09\text{мм/об}$ ,  $t = 0,5\text{мм}$ ) не вызывают структурных изменений в СМК-титане.

Условия обработки II ( $v = 160\text{м/мин}$ ,  $s = 0,14\text{мм/об}$ ,  $t = 0,5\text{мм}$ ) приводят к структурным изменениям и интенсивному росту зерна СМК - титана под воздействием температуры резания [7].

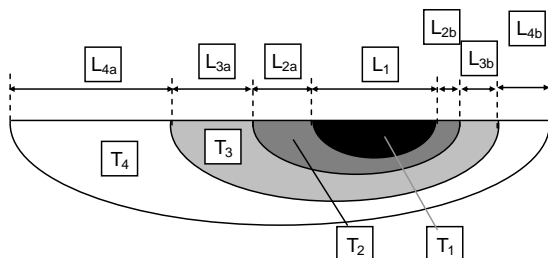


Рисунок 2 – Схема расчёта распределения температур в текущий момент времени

Основные результаты моделирования распределения температурных полей в СМК-титане в пошаговом варианте при квазиустановившемся режиме обработки приведены в таблице.

Таблица – Параметры, полученные моделированием температурных полей  
Условия обработки I

Шаг, $i$	$L_i$ , мм	$t_i$ , с	$T_i$ , К
1	0.068	0.0 51	825
2	0.075	0.0 57	799
3	0.20	0.1 5	774
4	0.30	0.2 3	748

Условия обработки II

Шаг, $i$	$L_i$ , мм	$t_i$ , с	$T_i$ , К
1	0.032	0,010	1136
2	0.030	0,0094	1086
3	0.030	0,0094	1036
4	0.034	0,011	985
5	0.142	0,045	934

Пошаговый вариант рассмотрения распределения температурных полей в зоне резания при квазиустановившемся режиме обработки представляет собой определение средней температуры, длины, времени воздействия температурного поля на обрабатываемую заготовку в текущий момент времени для температурных полей с наибольшими температурами. Для удобства расчетов рекомендуется выбирать не более пяти температурных полей, каждое поле рассматривается как шаг расчета.

Данные моделирования температурных полей и уравнение (3) используется для построения диаграммы роста размера зерна СМК-титана при механической обработке (рис.3).

В координатах «скорость резания – подача» для определения области рациональных условий обработки СМК-титана строим кривые ограничения, которые разбивают область решения на три участка. Крупно заштрихованный участок представляет собой область, в которой исходный размер зерна сохраняет исходные размеры. Данная область ограничена кривой, характеризующей 10% рост зерна СМК-титана. Из диаграммы на рис.3 видно, что в этой области находится экспериментальная точка т.1, полученная при обработке СМК – титана с режимами обработки  $v = 30$  м/мин,  $s = 0,09$  мм/об,  $t = 0,5$  мм. В работе [7] приведены данные демонстрирующие сохранение исходной структуры зерна СМК титана при обработке с указанными режимами.

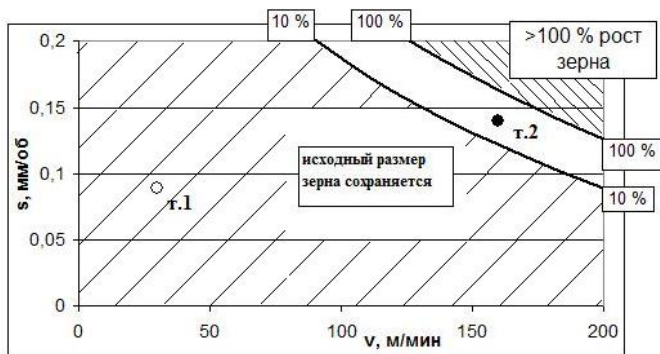


Рисунок 3 – Диаграмма поиска рациональных условий обработки СМК титана

Не закрашенная область представляет собой интервал значений скорости и подачи, которые приводят к росту исходного размера зерна в интервале от 10 до 100%. В эту область входит экспериментальная точка т.2, полученная при обработке СМК – титана с  $v = 160$  м/мин,  $s = 0,14$  мм/об,  $t = 0,5$  мм. При данных условиях обработки происходит увеличение исходного размера зерна 250 нм на 60% до 400 нм.

Мелко заштрихованная область включает в себя интервал скоростей и подач, которые приводят к росту зерна превышающему 100%.

По представленной диаграмме (рис.3) могут быть выбраны рациональные условия обработки (скорость и подача) СМК-титана, которые будут обеспечивать незначительный рост зерна по обрабатываемой поверхности заготовки.

Данная диаграмма справедлива для заданных начальных условий обработки (чистый титан, исходный размер зерна – 250нм, материал режущей части инструмента – ВК8).

Аналогичные диаграммы могут быть построены для различных металлов и условий обработки.

Исходя из данных полученных в результате экспериментов и теоретических расчетов, для СМК меди рекомендуемые области условий обработки целесообразно искать лишь при условии использования технологических сред [11].

В координатах «скорость резания – подача» для определения области рациональных условий обработки СМК меди (рис.4) и никеля (рис.5) строим кривые ограничения, которые разбивают область построения на три участка.

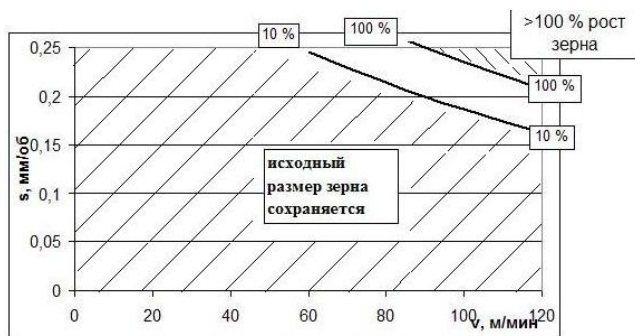


Рисунок 4 – Диаграмма поиска рациональных условий обработки СМК меди

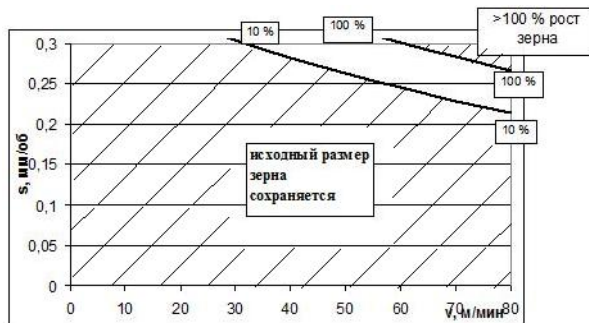


Рисунок 5 – Диаграмма поиска рациональных условий обработки СМК никеля

Расчет проводился для СМК меди с исходным размером зерна 250нм, в диапазоне скоростей от 20 до 80м/мин, которые варьировались с подачей от 0,1 до 0,3мм/об при постоянной глубине резания 0,5мм. Материал режущей части инструмента – Р6М5. Токарная обработка с охлаждением.

По представленной диаграмме (рис.5) могут быть выбраны рациональные условия обработки (скорость и подача) СМК никеля без использования технологических сред, которые будут обеспечивать незначительный рост зерна по обрабатываемой поверхности заготовки.

**Выводы.** Предложена научно-обоснованная методика, позволяющая установить область рациональных технологических параметров обработки (инструментальный материал, режимы резания, технологические среды) металлов с нано- и субмикроструктурной структурой, обеспечивающих сохранение в обрабатываемой заготовке исходных физико-механических свойств. Алгоритм построен на физических характеристиках заготовки (исходный размер зерна и теплофизические характеристики), модели определения интенсивности роста зерна под действием температурных и временных факторов, характеризующих процесс резания металла заготовки.

**Список литературы:** 1. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев.– М.: Физматлит, 2005.– 416с. 2. Валиев Р.З. Наноструктурные материалы, полученные методом интенсивной пластической деформации / Р.З. Валиев, И.В. Александров. – М.: Логос, 2000. – 272с. 3. Дестярев М.В. О термической нестабильности микроструктурной структуры в однофазных металлических материалах / М.В. Дестярев, А.В. Воронова, В.В. Губернаторов, Г.И. Чащухина // ДАН. – 2002. – Т.386. – №2. – С. 180-183. 4. Олемской О возбужденном состоянии границы зерна в нано- и субмикроструктурах / А.И. Олемской, Р.З. Валиев, А.В. Хоменко // Металлофизика и новейшие технологии.– 1999– Т.21.– №4.– С.43-58. 5. Чертовских С.В. Обрабатываемость резанием ультрамелкозернистого титана ВТ1-0, полученного методом равноканального углового прессования / С.В. Чертовских // Вестник машиностроения. – 2007. – №5. – С. 43-46. 6. Чертовских С.В. Триботехнические характеристики ультрамелкозернистого титана и его сплавов / С.В. Чертовских. – автореферат канд. дис., Уфа: Уфа-центр, 2008. – 22с. 7. Симонова А.А. Особенности механической обработки титана с субмикроструктурной структурой / А.А. Симонова, А.Я. Мовшиович, Н.В. Верезуб, Л.И. Пувань, В.А. Залого, Д.В. Криворучко, А.В. Локтик // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2009. – вип.6(59), Частина1. – С. 70-75. 8. Симонова А.А.



Моделирование распределения температурных полей в обрабатываемой заготовке из субмикроструктурного титана / *А.А. Симонова, В.А. Фадеев, Н.В. Верезуб, Д.Н. Головки* // Високі технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХП», 2009. – вип.2(19). – С. 154-156. **9.** *Verzub N.V.* The Management of Surface Quality of Metal with Nano and Submicrocrystalline Structure during Machining / *N.V. Verzub, G. Kaplay, A.A. Symonova* // Сучасні технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХП», 2010. – вип.5. – С. 244-249. **10.** *Geiger J.* Simulation of grain coarsening in two dimensions by cellular-automation / *J. Geiger, A. Roosz, P. Barkoczy* // Acta Mater. – 2001. – 49. – P. 623-629. **11.** *Симонова А.А.* Обеспечение необходимого качества поверхностного слоя объемных нанокристаллических металлов после механической обработки / *А.А. Симонова* // Наукові нотатки. – Луцьк: Луцький державний технічний університет, 2009. – вип.24. – С. 500-506.

*Надійшла до редколегії 15.09.2010*

УДК 621.9

**В.Б. СТРУТИНСЬКИЙ**, д-р техн. наук, професор, НТУУ „КПІ”, Київ;  
**В.М. ДРОЗДЕНКО**, інженер, НТУУ „КПІ”, Київ;  
**О.Я. ЮРЧИШИН**, канд. техн. наук, доцент, НТУУ „КПІ”, Київ

### **ДИНАМІЧНІ РЕЖИМИ РОБОТИ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА, ОБУМОВЛЕНІ ДІЄЮ ПОЛЯ ГІРОСКОПІЧНИХ МОМЕНТІВ У ПРИВОДІ ГОЛОВНОГО РУХУ**

Проведено математичне моделювання впливу поля гіроскопічних моментів на показники динамічної точності токарного обладнання, яке має рухому шпindelну бабку. Розроблено спеціальну методіку для визначення впливу поля динамічних силових факторів на поперечно-кутові коливання шпindelної бабки та деталі, встановленої в патроні.

Проведено математическое моделирование влияния поля гироскопических моментов на показатели динамической точности токарного оборудования, которое имеет подвижную шпindelную бабку. Разработана специальная методика для определения влияния поля динамических силовых факторов на поперечно-угловые колебания шпindelной бабки и детали, установленной в патроне.

The mathematical design of influence of the field of gyroscopic moments is conducted on the indexes of dynamic exactness of lathe equipment which has a mobile spindle holder. The special method is developed for determination of influence of the field of dynamic power factors on the transversal-angular vibrations of spindle holder and detail, set in a cartridge.

#### **Актуальність**

Токарне металообробне обладнання з рухомою шпindelною бабкою широко використовується в сучасному виробництві. Воно має широкі функціональні можливості, відзначається продуктивністю та гнучкістю технологічного процесу.

Токарні верстати з рухомою шпindelною бабкою потребують вивчення складних задач динаміки верстатів. Дослідження динамічних режимів роботи