

А.А. Симонова, к.т.н., доц.

Кременчугский национальный университет им. Михаила Остроградского

Э. Филиппи, д.т.н., проф., Ф. Дюкобю, к.т.н., ассистент

Университет Монса (Бельгия)

Н.В. Вerezуб, д.т.н., проф., Ю.Н. Корытко, к.т.н., доц.

Национальный технический университет «ХПИ»

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ РЕЗАНИЯ СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Приведены результаты обрабатываемости низкоуглеродистых сталей с объемной субмикроструктурной структурой в процессе механической обработки в сравнении с их крупнокристаллическими аналогами.

Ключевые слова: субмикроструктурные материалы, низкоуглеродистые стали, механическая обработка.

Введение. Низкоуглеродистые конструкционные стали в настоящее время широко применяют в строительстве, при низкой стоимости они обладают хорошей пластичностью, вязкостью и достаточно высоким уровнем прочностных свойств. В тоже время разработка и создание сложных инженерных конструкций требует повышение прочности конструкционных материалов при одновременном сохранении пластичности.

Обзор последних источников исследований и публикаций. Повышение прочностных характеристик низкопрочных материалов может быть достигнуто за счет уменьшения размеров зерна (зернограничное упрочнение) и формирование субструктуры (субструктурное упрочнение). Эффективным способом улучшения прочности являются методы интенсивной пластической деформации (ИПД). Экспериментальные работы по ИПД сталей [1–4] показали реальную возможность создания новых высокопрочных материалов на основе недорогих углеродистых и низколегированных сталей.

Прочность низкоуглеродистых малолегированных сталей с субмикроструктурной структурой (СМК) при комнатной температуре в 2...2,5 раза выше, чем серийно выпускаемых, при сохранении удовлетворительной пластичности и высокой вязкости [3]. Такие стали сочетают высокие прочностные свойства и высокие показатели пластичности и ударной вязкости при отрицательных температурах.

Нано- и субмикроструктурные структуры, формирующиеся при ИПД, обладают значительной дефектностью структуры и при нагреве до 0,3–0,4 $T_{пл}$ обычно переходят в низкопрочное крупнокристаллическое состояние [5].

В работе [6] проанализировано влияние процесса резания, сопровождаемого высокими термическими нагрузками, на интенсивность роста зерна исходной СМК структуры чистых металлов.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Значительную часть изделий из сталей получают методами лезвийной обработки, поэтому изучение влияния СМК структуры на обрабатываемость при резании и в свою очередь условий процесса на структуру исходной заготовки является актуальной проблемой.

Постановка задачи. В данной работе ставится задача изучить влияние параметров лезвийной обработки на изменение механических свойств стали Ст3 и характеристики процесса резания.

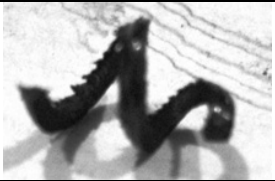





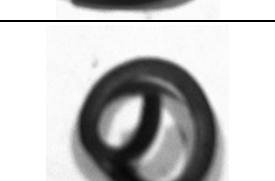

Основной материал и результаты. Сталь Ст3 (Fe – 0,22 C) в исходном крупнокристаллическом состоянии – прокат – диаметр 20,4 мм, длина 100,2 мм. Получение субмикроструктурного состояния осуществлялось методом всесторонней ковки,

включающей в себя этапы осадки и протяжки [5]. Размеры заготовки после ИПД диаметр 14,6 мм, длина 177 мм.

Для исследования влияния механической обработки использовались различные режимы резания: $V = 30\text{--}130$ м/мин, $S = 0,2\div 0,5$ мм/об. Использовалась постоянная глубина резания $t = 0,5$ мм. Процесс резания осуществлялся без охлаждения. Составляющие силы резания измерялись с помощью динамометра Kistler 9257B и усилителя Kistler 5017B. Качество поверхностного слоя после обработки исследовалось с помощью профилометра Diavite DH-6. Микротвердость измерялась на микротвердомере ПМТ-3М при нагрузке на индентор 10 г.

Для качественной оценки деформационных процессов исследовали изменение формы и вида стружки в зависимости от параметров лезвийной обработки. Различие между формой и видом стружки, полученной при токарной обработке КК и СМК стали, представлено в табл. 1. Вид стружки определен по стандарту ISO 3685-1977 [7].

Таблица 1. Форма и вид стружки при обработке точением СМК и КК стали

Скорость, м/мин	30				
	80				
	130				
		КК	СМК	КК	СМК
	0,5		0,2		
	Подача, мм/об				

Анализ стружки, полученной в процессе точения, показал, что при обработке исходной крупнокристаллической стали, при малых скоростях, формируется суставчатая короткая стружка. С увеличением скорости изменение формы стружки практически не происходит. Уменьшение подачи до $S = 0,2$ мм/об приводит к переходу от суставчатой короткой к суставчатой длинной стружке.

При рассмотрении стружки субмикроструктурной стали (после всестороннейковки) при малых скоростях и подачах установлено, что формируется короткая суставчатая стружка, короче, чем для КК стали. Уменьшение длины стружки в сравнении с крупнокристаллической сталью связано, вероятно, с некоторым снижением пластичности стали, полученной методом ИПД.

С увеличением скорости резания стружка меняет форму от короткой суставчатой до суставчатой длинной.

Уменьшение подачи приводит к переходу от суставчатой длинной к сливной стружке.

По мере дальнейшего увеличения скорости теоретически суставчатая длинная стружка должна переходить в сливную, однако наблюдается переход в суставчатую короткую и даже элементную с ярко выраженными зубуринами. Такое явление присуще

жаропрочным сталям и сплавам, а также титановым сплавам. Физическая причина данного явления до настоящего времени полностью не выяснена [8]. Дальнейшее металлографическое исследование корней стружки, возможно, даст объяснение установленному явлению.

Механические свойства обрабатываемого материала весьма сложно и противоречиво влияют на составляющие силы резания. С одной стороны, повышение прочности и твердости обрабатываемого материала увеличивает угол сдвига, что уменьшает коэффициент усадки стружки и величину относительного сдвига. В результате этого уменьшаются работы деформации и стружкообразования и, как следствие, составляющие силы резания. С другой стороны, с повышением прочности и твердости напряжения на условной плоскости сдвига возрастают, что увеличивает работы деформации, стружкообразования и составляющие силы резания. В зависимости оттого, что является преобладающим, силы резания при увеличении прочности и твердости обрабатываемого материала могут и возрастать и уменьшаться.

На рис. 1 представлены результаты измерения составляющих силы резания.

Экспериментальные данные показывают, что главная составляющая силы резания P_z при обработке СМК стали выше, чем при обработке КК стали с низкой скоростью $V = 30$ м/мин. Увеличение значений P_z связано с увеличением твердости и прочности СМК стали. Также мы видим увеличение значений радиальной P_y и осевой P_x составляющих силы резания.

После увеличения скорости резания до 80 м/мин наблюдается резкое снижение значений всех составляющих сил резания как для СМК так и для КК стали.

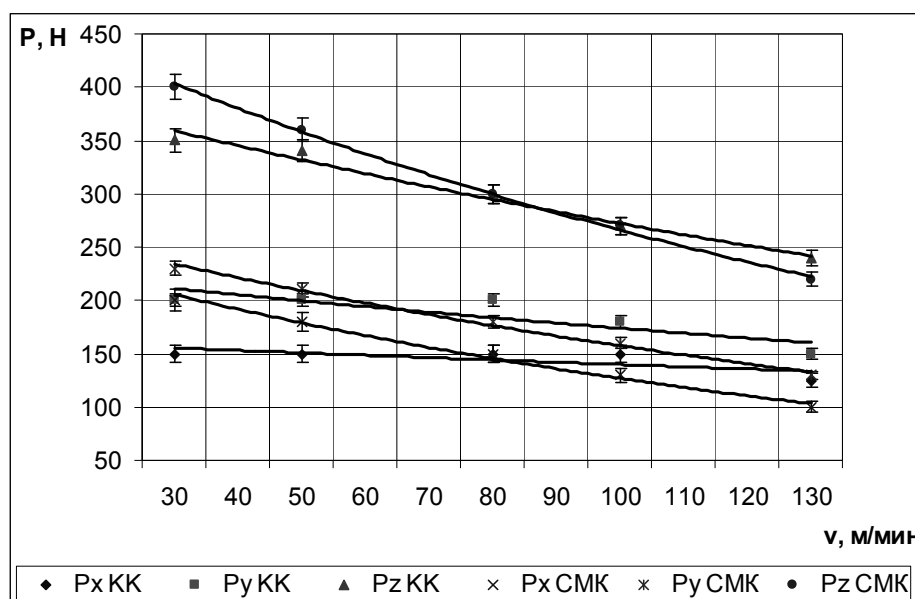
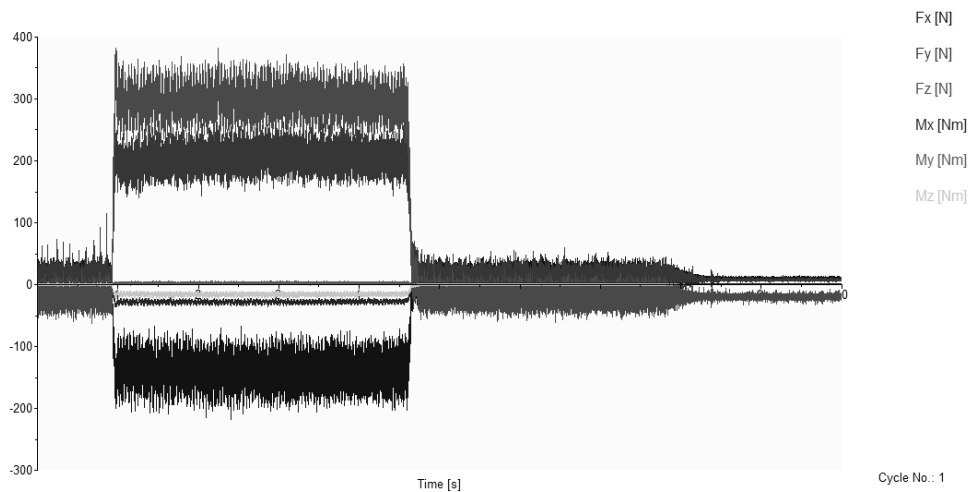


Рис. 1. Зависимость составляющих силы резания от скорости резания ($S = 0,2$ мм/об; $t = 0,5$ мм)

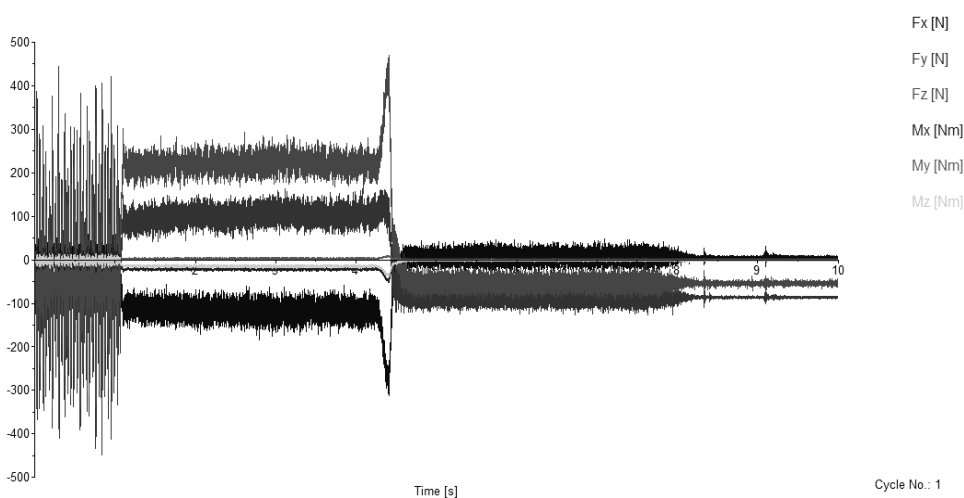
В связи с тем, что скорость 80 м/мин является «переломной» для зависимости изменения составляющих силы резания от скорости резания, то для нее приведены осциллограммы, полученные на динамометрическом стенде (рис. 2).

Изучения влияния подачи на процесс обработки производили, изменяя величину подачи до 0,5 мм/мин. Результаты показано на рис. 3.

Диаграммы показывают, что увеличение подачи увеличиваются значения составляющих сил резания по сравнению с обработкой при подаче $S = 0,2$ мм/об. Однако тенденция уменьшение силовых характеристик при обработке с высокими скоростями резания СМК стали, относительно КК стали сохраняется.



a)



б)

Рис. 2. Осциллограммы составляющих силы резания:
а) СМК сталь, б) КК сталь ($V = 80$ м/мин; $S = 0,2$ мм/об; $t = 0,5$ мм)

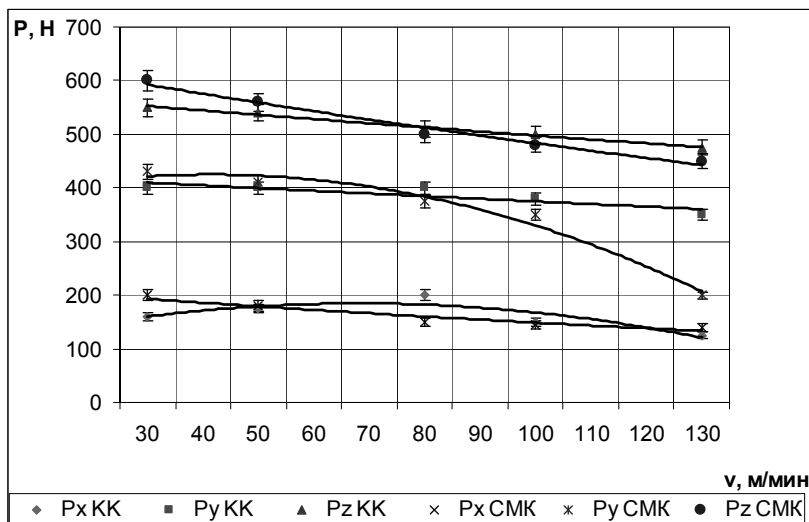
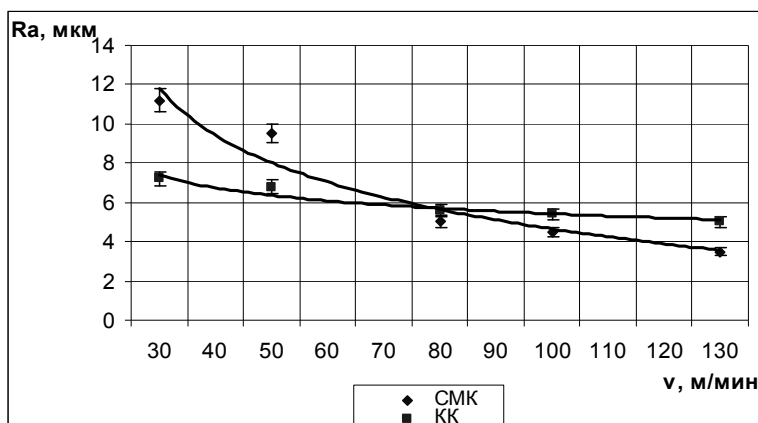


Рис. 3. Зависимость составляющих силы резания от скорости резания
($S = 0,5$ мм/об; $t = 0,5$ мм)

Одной из важнейших и стандартных характеристик качества поверхности детали после механической обработки является шероховатость.

Результаты измерения шероховатости поверхности после обработки приведены на рис. 4.



а)

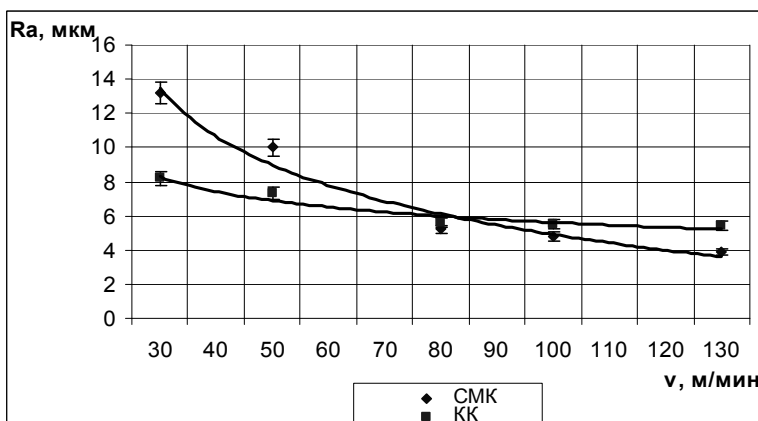


Рис. 4. Зависимость изменения шероховатости поверхности от скорости резания ($t = 0,5$ мм):
а) $S = 0,2$ мм/об; б) $S = 0,5$ мм/об

При обработке СМК стали параметр шероховатости ниже, чем при обработке КК образца. С повышением прочности и твердости и снижением пластичности материала объем пластической деформации уменьшается, и это приводит к уменьшению высоты неровностей. Представленное, на рис. 4, различие в величине параметра Ra указывает на физико-механические изменения, имеющиеся в стали после ИПД.

По мере увеличения скорости резания высота неровностей непрерывно уменьшается. Это связано с уменьшением объема пластической деформации и среднего коэффициента трения.

Микротвердость — это важнейший экспериментальный фактор, позволяющий определить зависимость роста зерна СМК металлов от температуры и времени ее воздействия, так как величина микротвердости зависит от величины размера зерна структуры.

Экспериментально установлено, что микротвердость исходного крупнокристаллического материала составляет 924 МПа; микротвердость стали, полученной методом всестороннейковки, существенно выше и достигает 1120 МПа, что характерно для СМК и НК материалов, полученных ИПД [6].

Процесс механической обработки приводит к изменению микротвердости поверхностного слоя металла.

Анализ полученных результатов показал, что при низких значениях скорости резания ($V = 30$ м/мин) величина микротвердости у образца с СМК структурой снижается

до 1100 МПа; при увеличении скорости до 130 м/мин микротвердость существенно изменяется — ее значение составляет 998 МПа (см. рис. 5).

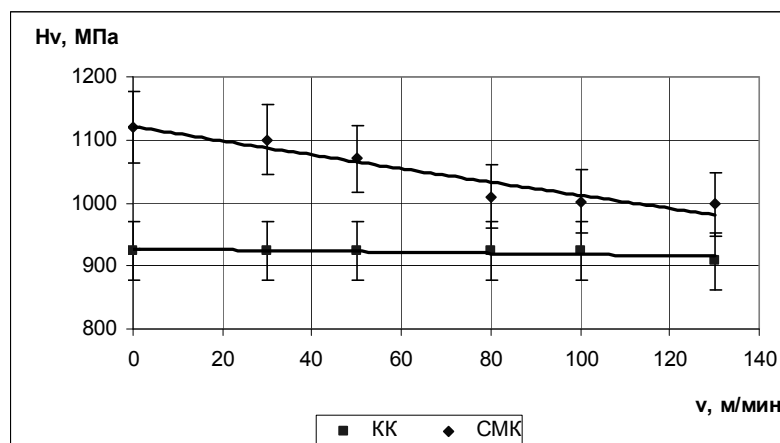


Рис. 5. Зависимость изменения микротвердости от скорости резания ($S = 0,5$ мм/об; $t = 0,5$ мм)

В образце с крупнокристаллической структурой при обработке на указанных режимах величина микротвердости осталась практически постоянной.

Снижение микротвердости может быть объяснено процессом рекристаллизации в субмикрокристаллическом образце, вызванном повышением температуры в зоне резания вследствие увеличения скорости резания в связи с тем, что металл, подвергнутый ИПД, имеет нестабильную зеренную структуру.

Сравнивая полученные результаты с результатами, полученными для чистых металлов [9], наблюдается более низкая динамика изменения в параметрах обрабатываемости СМК стали при увеличении скорости резания при механической обработке, что может быть объяснено наличием элементов, стабилизирующих систему.

Выводы. Представленные экспериментальные результаты косвенно показывают, что тепловые и деформационные процессы сопровождающие процесс резания активизируют начало рекристаллизации и роста исходного зерна в образцах с субмикрокристаллической структурой, полученной ИПД. Кроме того, состояние структуры и физико-механические свойства СМК стали приводят к изменению обрабатываемости и сопровождающих процесс резания тепловых и силовых параметров обработки. Поэтому является необходимым дальнейшее изучение особенностей механики процесса лезвийной обработки СМК металлов, полученных ИПД.

Литература

1. Астафурова, Е.Г. Влияние высокотемпературного отжига на микроструктуру и механические свойства ферритно-перлитной стали 10Г2ФТ, подвергнутой равноканальному угловому прессованию [Текст] / Е.Г. Астафурова, Г.Г. Захарова, Е.В. Найденкин и др. // ФММ. – 2011. – Т. 111, № 1. – С. 64–73.
2. Салищев, Г.А. Структура и механические свойства нержавеющей сталей, подвергнутых интенсивной пластической деформации [Текст] / Г.А. Салищев, Р.Г. Зарипова, А.А. Закирова // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2006. – № 2 (608) – С. 27–34.
3. Воронова, Л.М. Низкотемпературная рекристаллизация субмикрокристаллической структуры армо-железа и стали 30Г2Р [Текст] / Л.М. Воронова, М.В. Дегтярев, Т.И. Чащухина // ФММ. – 2004. – Т. 98, № 1. – С. 93–102.
4. Son, Y.I. Ultrafine grained ferrite-martensite dual phase steels fabricated via equal channel angular pressing: Microstructure and tensile properties [Text] / Y.I. Son, Y.K. Lee, K.T. Park and other // Acta Mater. – 2005. – V. 53. – P. 3125–3134.

5. Валиев, Р.З. Наноструктурные материалы, полученные методом интенсивной пластической деформацией [Текст] / Р.З. Валиев, И.В. Александров. – М.: Логос, 2000. – 272 с.
6. Symonova, A.A. Surface grain coarsening and surface during machining of ultra-grained titanium [Text] / A.A. Symonova, O.N. Verezub, A.A. Sycheva and other // Journal of Mining and Metallurgy. Section B: Metallurgy. – 2012. – V. 48. – P. 378–389.
7. Мазур, М.П. Основи теорії різання матеріалів [Текст]: підруч. / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок та ін. – Львів: Новий Світ, 2000, 2010. – 422 с.
8. Яцерицин, П.И. Теория резания [Текст] / П.И. Яцерицин, Е.Э. Фельдштеин, М.А. Корниевич. – 2-е изд., испр. и доп. – Мн.: Новое знание, 2006. – 512 с.
9. Грабченко, А.И. Резание металлов с объемной нано- и субмикроструктурной структурой [Текст]: моногр. / А.И. Грабченко, Дж. Каптай, А.А. Симонова и др. – Х.: Точка, 2012. – 217 с.

© А.А. Симонова, Э. Филиппи, Ф. Дюкобю, Н.В. Вerezуб, Ю.Н. Корытко

А.А. Симонова, к.т.н., доц.

Кременчуцкий национальный университет им. Михаила Остроградского

Е. Филиппи, д.т.н., проф., Ф. Дюкобю, к.т.н., ассистент

Университет Монсу (Бельгия)

М.В. Вerezуб, д.т.н., проф., Ю.М. Корытко, к.т.н., доц.

Национальный технический университет «ХПИ»

УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ РІЗАННЯ СУБМІКРОКРИСТАЛІЧНИХ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ

Приведено результати оброблюваності низьковуглецевих сталей з об'ємною субмікроструктурною в процесі механічної обробки у порівнянні із їх крупнокристалічними аналогами.

Ключові слова: субмікроструктурні матеріали, низьковуглецеві сталі, механічна обробка.

A.A. Symonova, Ph.D., Associate Professor

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

E. Filippi, Doctor of Technical Sciences, Professor, F. Ducobu, Ph.D., Assistant

University of Mons (Belgium)

N.V. Verezub, Doctor of Technical Sciences, Professor, Y.N. Korytko, Ph.D., Associate Professor

National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute»

CONTROL OF THE CUTTING PROCESS OF ULTRA-FINE-GRAINED LOW-CARBON STEEL

The results of the machinability of low-carbon steel with the volume ultra-fine-grained structure during machining in comparison with their counterparts coarse-grained are adduced.

Keywords: ultra-fine-grained materials, low-carbon steel, machining.