

ВЛИЯНИЕ ТОНКОЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СТАЛЕЙ НА ИХ ОБРАБАТЫВАЕМОСТЬ РЕЗАНИЕМ

*Белорусская государственная политехническая академия
Минск, Беларусь*

Проведенными ранее исследованиями была установлена достаточно тесная взаимосвязь между показателями обрабатываемости и основными физико-механическими свойствами материалов. Вместе с тем, известно, что для состояния высокой прочности сталей характерно наличие больших искажений кристаллической решетки и дисперсности кристаллитов составляющих фаз, а разупрочнение сопровождается уменьшением кристаллической решетки и укрупнением блоков основного твердого раствора (матрицы) и выделяющейся фазы. Поскольку от тонкой кристаллической структуры (плотности дислокаций, величины блоков мозаики, степени искажения кристаллической решетки и т.п.) зависит большинство технически важных свойств металлов и сплавов, авторами была поставлена задача выявить ее влияние на основные показатели обрабатываемости. Опыты проводились на образцах из сталей 20ХНЗА, ШХ15, 38ХМЮА, прошедших различную термическую обработку по специальному плану. Ниже в табл. 1 приводятся режимы термообработки этих сталей.

Таблица 1

Режимы термической обработки исследуемых сталей

Марка стали	Температура нагрева, Т, °С	Время выдержки, т, мин	Способ охлаждения
20ХНЗА	840; 860; 880	6, 8 и 10 часов	В струе воздуха; на спокойном воздухе; вместе с печью до Т=500°С, а затем на спокойном воздухе
ШХ15	Закалка: 840°С в соляной ванне (BaCl ₂ + NaCl);	60 мин	В масле при Т=30–60°С
	отпуск: 150; 200; 250°С	2; 2,5; 3 часа	
38ХМЮА	Нормализация: 900; 950; 1000°С	40; 50; 60 мин	На спокойном воздухе

Тонкая кристаллическая структура сталей оценивалась по изменению суммарной ширины рентгеновских линий. Съемка образцов проводилась в кобальтовом монохроматическом излучении на дифрактометре ДРОН-2,0. Были сняты отражения от кристаллографических плоскостей $(110)\alpha$, $(220)\alpha$, $(111)\gamma$. Под суммарной шириной рентгеновских линий принималась общая ширина, вызванная как геометрическими условиями съемки (расстоянием от образца до детектора, скоростью вращения образца, скоростью перемещения диаграммной ленты, шириной щелей и т. п.), так и физическими факторами исследуемых образцов. Скорость вращения составляла 1 градус в минуту, скорость перемещения бумаги – 2400 мм/час, ширина щелей: №1 – 0,5 мм, №2 – 8 мм, №3 – 0,25 мм.

Интенсивность излучения каждый раз перед началом работы проверялась по монокристаллу кварца.

Поскольку геометрические условия съемки сохранялись постоянными для всех материалов, то можно считать, что зафиксированные значения ширины рентгеновских линий обусловлены только физическими факторами.

Площадь рентгенограммы определялась планиметрированием, а ширина рентгеновских максимумов – как частное от деления измеренной площади, ограниченной кривой распределения интенсивности и фоном, на высоту максимума. Износ резцов из быстрорежущей стали Р6М5 с геометрическими параметрами $\gamma=10^\circ$, $\alpha=12^\circ$, $\varphi=60^\circ$, $\varphi_1=15^\circ$, $\lambda=0^\circ$, $r=0,3$ мм изучался при поперечном точении образцов из стали 20ХН3А от центра к периферии без применения смазывающе-охлаждающей жидкости на токарно-винторезном станке 16К20 на двух режимах: глубина резания $t=0,25$ мм, подача $s=0,08$ мм/об, скорости резания $V_1=30$ м/мин и $V_2=60$ м/мин. Ширина фаски износа по задней грани измерялась на инструментальном микроскопе после каждого из пяти проходов (рис. 1). При этом одним резцом обрабатывалась только одна деталь, затем резцы независимо от степени их износа перетачивались на универсально-заточном станке.

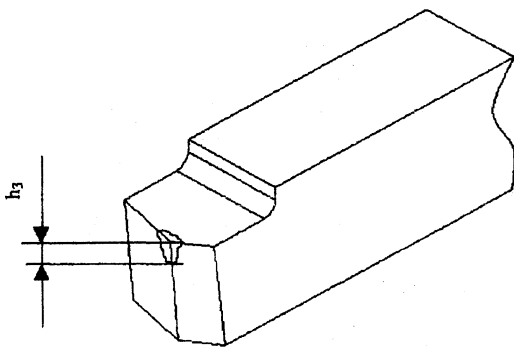


Рис. 1. Ширина фаски износа по задней грани.

Эксперименты по определению сил резания и средней температуры резания выполнялись одновременно на том же станке при продольном точении образцов из всех указанных выше сталей резцами с механическим креплением трехгранных пластин из твердого сплава Т15К6 ($\varphi=92^\circ$, $\gamma=19^\circ30'$, $\alpha=5^\circ30'$) без применения смазывающе-охлаждающей жидкости. Измерялись силы резания с помощью универсального динамометра УДМ-600. Возникающая при точении температура определялась по методу естественной термопары. Величина электродвижущей силы регистрировалась милливольтметром. Для большей достоверности опыты повторялись три раза. Режимы резания при определении влияния тонкой кристаллической структуры на P_z , P_y , P_x и Θ приведены в табл. 2.

Таблица 2

Режимы резания при определении влияния тонкой кристаллической структуры на силы P_z , P_y , P_x и температуру резания Θ

Марка стали	Глубина резания, t , мм	Подача, s , мм/об	Скорость резания, V , м/мин
20ХН3А	0,3	$s_1=0,08$; $s_2=0,47$	$V_1=30$; $V_2=60$
38ХМЮА	1,0	$s_1=0,07$; $s_2=0,47$;	97
ШХ15	0,3	$s_1=0,07$; $s_2=0,14$;	19,5

Влияние тонкой кристаллической структуры на шероховатость поверхности оценивалось при точении образцов из стали 20ХН3А на токарно-винторезном станке мод. 1616 резцами из быстрорежущей стали Р6М5 с геометрическими параметрами $\gamma=10^\circ$, $\alpha=12^\circ$, $\varphi=60^\circ$, $\varphi_1=15^\circ$, $\lambda=0^\circ$ на режимах $t=0,25$ мм, $s=0,08$ мм/об, $V=60$ м/мин, а из стали 38ХМЮА – после продольного точения резцами с механическим креплением пластин Т15К6 (Р20) на режимах: $t=1$ мм, $s_1=0,07$ мм/об, $s_2=0,47$ мм/об, $V=60$ м/мин. В обоих случаях смазывающе-охлаждающая жидкость не применялась.

С целью уменьшения влияния износа резцов на шероховатость поверхности среднее арифметическое отклонение профиля R_a и относительная опорная длина профиля на уровне сечения 20% измерялись на профилографе-профилометре мод. 252 во всех случаях только после первого прохода.

Из теории известно, что ширина линии $(110)\alpha$ характеризует изменение плотности дислокаций и величину блоков мозаики, а ширина линии $(220)\alpha$ – уровень искаженности кристаллической решетки материала.

При повышении температуры нагрева T и времени выдержки t ширина линии $(110)\alpha$ должна уменьшаться, т.к. блоки мозаики растут. При изменении одного из параметров, T или t , и неизменности второго в принципе должна наблюдаться

одинаковая тенденция: ширина передней линии уменьшается, что свидетельствует об уменьшении плотности дислокаций и увеличении блоков мозаики. Уменьшение ширины линии $(220)\alpha$ с увеличением либо температуры нагрева, либо времени выдержки при неизменности второго параметра свидетельствует об уменьшении искажений в кристаллической решетке.

При охлаждении образцов вместе с печью до 500°C , а затем на спокойном воздухе (1 режим) структурные превращения успевают произойти полностью, поэтому остаточный аустенит (ОА) отсутствует, превращение γ -железа в α -железо происходит полностью. Хотя утверждать о полном отсутствии ОА нельзя, т.к. данный способ фиксирует наличие ОА в том случае, если его содержание в структуре более 3–5%.

В случае охлаждения образцов на спокойном воздухе (3 режим) получается структура с присутствием бейнита (о чем свидетельствует более высокая твердость по сравнению с первым режимом охлаждения), что непременно сказывается на полноте превращения $\gamma \rightarrow \alpha$. При этом был обнаружен ОА.

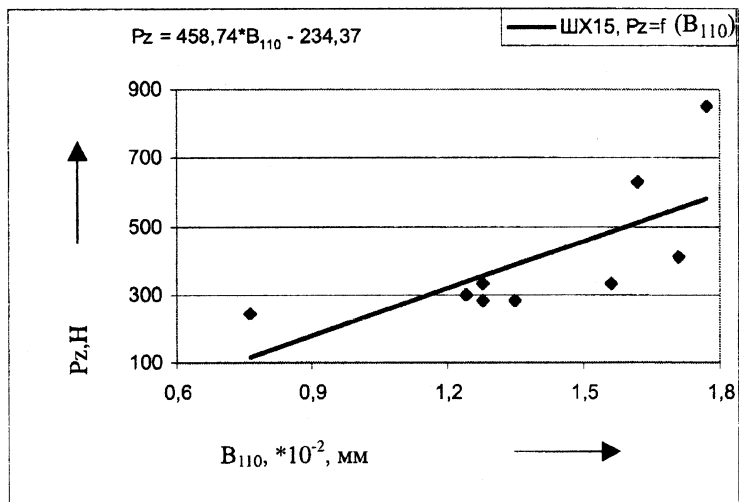


Рис. 2. Зависимость силы резания P_z от ширины линии B_{110} .

О том, что кристаллическая решетка более напряжена по сравнению с первым режимом охлаждения, свидетельствует возрастание ширины задней линии $(220)\alpha$. Ширина линии $(110)\alpha$ тоже больше, что косвенно подтверждает то, что конечная величина блоков мозаики при тех же термических параметрах выше (не хватает времени, чтобы они выросли).

Наконец, более жесткие условия охлаждения в струе воздуха (2 режим) приводят к тому, что количество ОА еще выше (8,5–16%), т.е., полнота превращения

$\gamma \rightarrow \alpha$ еще меньше, т.к. время на превращение значительно сократилось. Это говорит о том, что происходит частичная закалка.

Исследования, проведенные на стали ШХ15, показали, что силы резания P_z , P_y , P_x и температура Θ , возникающая в зоне резания, имеют определенную корреляционную связь с шириной рентгеновских линий B_{110} и B_{220} . Коэффициент корреляции составляет для зависимостей $P_z=f(B_{110})$, $P_y=f(B_{110})$, $P_x=f(B_{110})$ и $\Theta=f(B_{110})$ соответственно 0,71; 0,65; 0,5 и 0,72. Это значит, что между плотностью дислокаций и величиной блоков мозаики, с одной стороны и P_z , P_y , P_x и Θ — с другой существует достаточно четкая связь (рис. 2, 3). При этом с увеличением ширины линии B_{110} названные силы резания увеличиваются, а температура имеет тенденцию к снижению.

Коэффициент корреляции для зависимостей $P_z=f(B_{220})$, $P_y=f(B_{220})$, $P_x=f(B_{220})$ и $\Theta=f(B_{220})$ колеблется в пределах от 0,45 до 0,61, что указывает на то, что искажения кристаллической решетки влияют на указанные показатели обрабатываемости в меньшей степени, чем в первом случае.

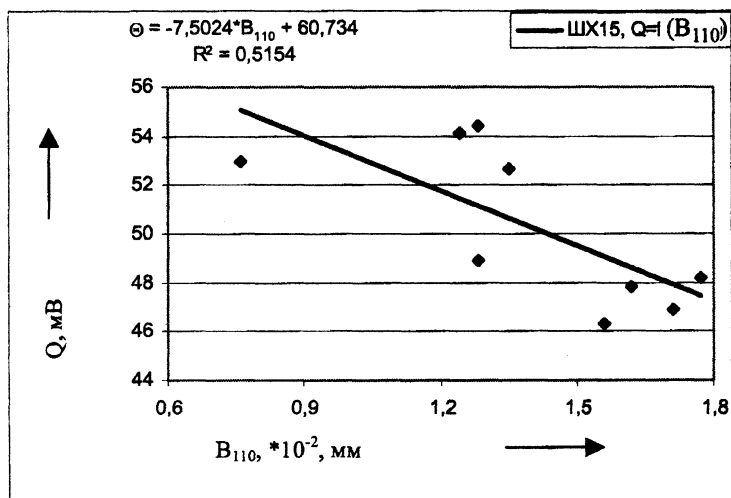


Рис. 3. Зависимость температуры резания от ширины линии B_{110}

Одновременно с этим при точении стали ШХ15 исследовалось влияние величины подачи на зависимости сил резания и температуры от параметров тонкой кристаллической решетки. Установлено, что изменение подачи с $s=0,07$ мм/об до $s=0,14$ мм/об незначительно повлияло на характер этих зависимостей.

Практически так же ведет себя сталь 20ХНЗА (рис. 4). Достаточно высокие для обработки металлов резанием коэффициенты корреляции свидетельствуют о наличии корреля-

ционных связей между силами резания при точении и температурой в зоне резания, с одной стороны и величиной блоков мозаики и плотностью дислокаций – с другой. Влияние искажений кристаллической решетки на силы резания и температуру более слабое.

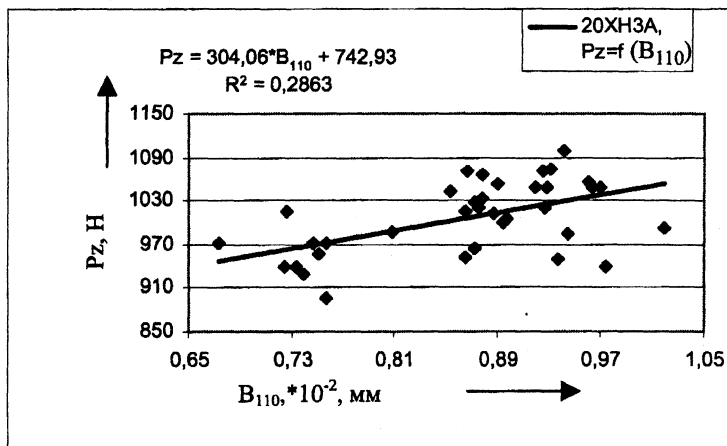


Рис. 4. Зависимость силы резания P_z от ширины линии B_{110} при точении стали 20ХН3А.

При увеличении ширины рентгеновской линии B_{110} силы резания и температура возрастают, т.е. находятся в прямой пропорциональной зависимости от плотности дислокаций и величины блоков мозаики.

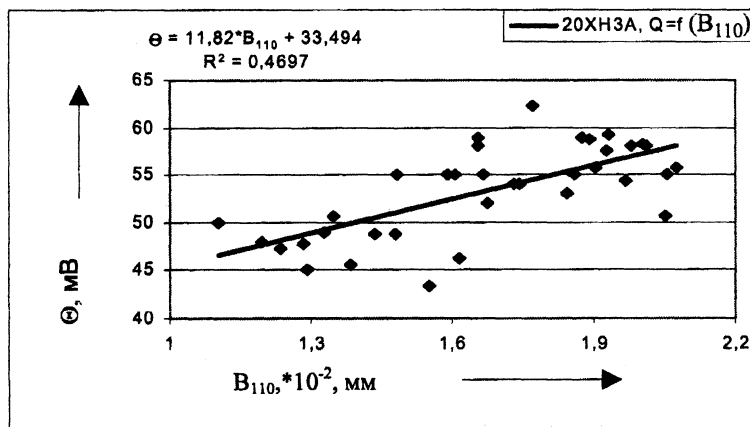


Рис. 5. Зависимость температуры, возникающей в зоне резания, от ширины линии B_{110} при точении стали 20ХН3А.

Исследования, проведенные на стали 38ХМЮА, позволили установить слабое влияние как плотности дислокаций и блоков мозаики, так и искажений кристаллической решетки на силы резания (коэффициенты корреляции малы). Вместе с тем, влияние плотности дислокаций и величины блоков мозаики на температуру в зоне резания существенное (рис.6).

Здесь же оценивалась связь между шероховатостью поверхности и параметрами тонкой кристаллической структуры. Изменение ширины линии V_{110} в указанных пределах не оказывает заметного влияния на среднее арифметическое отклонение профиля R_a (коэффициент корреляции 0,1–0,2).

Как и во всех предыдущих случаях, влияние искажений кристаллической решетки (линия V_{220}) на указанные показатели обрабатываемости значительно слабее. Так, для зависимости $\Theta=f(V_{220})$ коэффициент корреляции 0,603, а для $\Theta=f(V_{110})$ – 0,647. Исключение в данном случае составляет зависимость шероховатости от ширины линии V_{220} , где прослеживается четкая взаимосвязь между R_a и V_{220} , коэффициент корреляции 0,65.

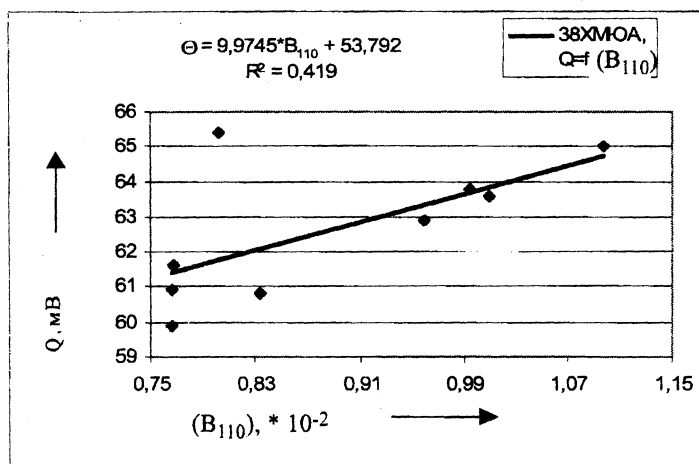


Рис. 6. Влияние ширины линии V_{110} на температуру, возникающую в зоне резания, при точении стали 38ХМЮА

Исследованиями установлено, что с увеличением ширины линий V_{110} и V_{220} износ резцов при обработке образцов из стали 20ХНЗА также увеличивается. Это связано с тем, что с увеличением плотности дислокаций, блоков мозаики и искажений кристаллической решетки прочность материала повышается.

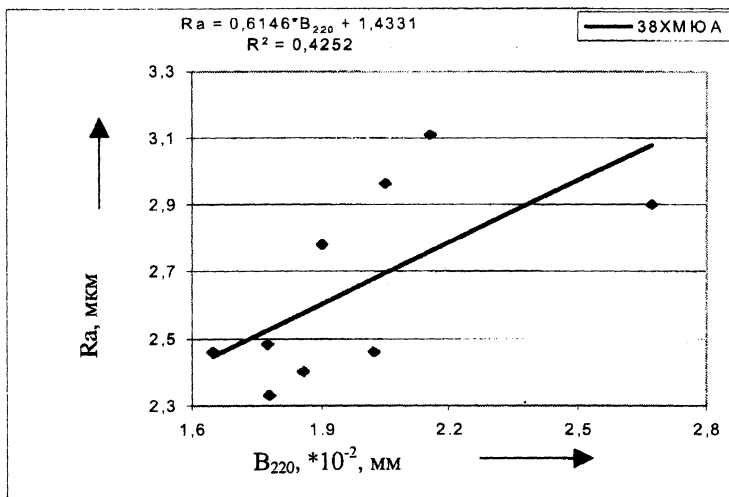


Рис. 7. Влияние ширины линии B_{220} на шероховатость поверхности при точении стали 38ХМЮА

Выводы

1. На основании многочисленных опытов авторами установлено, что параметры тонкой кристаллической структуры решетки оказывают определенное влияние на такие показатели обрабатываемости материала, как силы резания P_z , P_y , P_x , температуру в зоне резания Θ , среднее арифметическое отклонение профиля Ra .

При этом плотность дислокаций и величина блоков мозаики оказывают более существенное влияние на силы и температуру резания, чем искажения кристаллической решетки. В то же время, искажения кристаллической решетки оказывают большее влияние на шероховатость поверхности.

2. В целом параметры кристаллической решетки металла могут быть использованы в будущем в качестве косвенных показателей обрабатываемости при оценке обрабатываемости резанием металлических материалов.