

ДЕЛИТЕЛЬНЫЕ СЕТКИ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ БОЛЬШИХ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Г. Л. КУФАРЕВ, М. Г. ГОЛЬДШМИДТ, В. А. ГОВОРУХИН

(Представлена научным семинаром кафедр
станков и резания металлов и технологии машиностроения)

Исследование деформированного состояния методом делительных сеток позволяет получить наиболее полную информацию о процессе. В настоящее время широко известны методы нанесения делительных сеток для изучения сравнительно небольших деформаций [1]. Применение же делительных сеток для изучения больших пластических деформаций, особенно протекающих в небольших объемах (например, изучение процесса резания), сопряжено с рядом трудностей, обусловленных недостаточной разработкой методов нанесения необходимых для этих условий делительных сеток. В статье изложены результаты работ, проведенных в лаборатории резания металлов по совершенствованию методов нанесения сеток на образец для исследования процесса резания.

Специфичные условия деформации металла в зоне стружкообразования определяют серьезные требования к делительным сеткам: сравнительно малая база, прочность, контрастность и в случае исследования процесса резания на больших скоростях — термостойкость.

Размеры базы сетки, во многом определяющие технологию ее получения, лимитированы требованием однородности деформации в пределах одной ячейки, так как в противном случае элементы сетки — окружности и квадраты — после деформации имеют вид соответственно неправильных эллипсов и четырехугольников с криволинейными сторонами — фигур, по которым определение деформации не представляется возможным. В силу того, что добиться идеальной однородности деформации в элементарном объеме практически невозможно, чтобы уменьшить связанную с этим погрешность в расчетах (все расчетные формулы получены в предположении об однородности деформации в пределах одной ячейки), следует всемерно стремиться к уменьшению базы сетки.

С другой стороны, уменьшение базы сетки ограничено следующим. Во-первых, все реальные металлы в известной степени анизотропны, причем степень анизотропии зависит (до определенного предела) от рассматриваемого объема: чем больше размеры рассматриваемой пластической области, тем с большим основанием можно принимать деформируемый материал изотропным. Кристаллическая структура металла, как показали эксперименты, проявляется даже у таких однородных металлов, как медь, уже при размерах стороны элементар-

ной ячейки порядка 0,03 мм. Во-вторых, при больших степенях деформации полированная до деформации поверхность тела становится шероховатой. Это явление имеет место и в том случае, если интересующую нас поверхность поместить внутрь наборного образца. Высота неровностей оказывается настолько значительной, что зафиксировать отметки размером меньше 0,03-0,05 мм оказывается чрезвычайно трудно.

При выборе базы сетки приходится учитывать и размеры пластической области, которые при данных скорости резания и переднем угле инструмента зависят в основном от толщины срезаемого слоя. Если изменять толщину среза в пределах 0,3—1 мм, то для получения надежных результатов необходимо располагать сеткой с базой порядка 0,05-0,1 мм. Образцы для исследования набирались из двух пластин, а нанесенная делительная сетка помещалась в среднем сечении. Анализ искажений сетки осуществлялся при изучении корней стружек, которые фиксировались с помощью специальных приспособлений, либо при резании на микроскорости — остановом стола станка.

Материал для исследования должен иметь по возможности мелкозернистую структуру. Хорошие результаты получены при использовании метода делительных сеток с базой 0,05 мм для исследования процесса резания стали ШХ15, стали 15 (катанная), 2Х13. Применение же сеток с такой базой для работы по стали 40 и стали Х17Н13М2Г оказалось практически невозможным. Это хорошо объясняется характером и размером зерен структуры указанных материалов. Фотографии микроструктур этих материалов на рис. 1, а, б, в, г, выполненные с увеличением в 500 раз, на которых нарисованы с тем же увеличением ячейки делительной сетки с базой 0,05 мм, позволяют заранее предсказать, что деформация внутри ячейки может быть принята однородной для мелкозернистых сталей ШХ15 и ст. 15 и будет заведомо неоднородной при деформировании сталей 40 и Х17Н13М2Г. Таким образом, микроструктурный анализ должен быть обязательным условием при выборе материала для исследования больших деформаций с помощью метода делительных сеток.

Вид делительной сетки в значительной степени предопределяет метод и технологию ее получения. Для исследования процесса резания при строгании используются либо сетки из системы окружностей, либо сетки с квадратной ячейкой [2, 3, 4]. С точки зрения трудоемкости их последующей обработки (обмера) и точности расчета деформации они практически равноценны. Однако технология получения квадратной сетки проще, так что именно ей следует отдать предпочтение при работе на микроскоростях.

Исследование процесса резания при точении наиболее целесообразно выполнять с помощью делительной сетки, ячейки которой образованы наложением на спираль Архимеда с шагом 0,05 мм системы радиальных лучей, центральный угол между которыми равен 5' [5].

Методы нанесения делительных сеток в значительной мере предопределяются задачей исследования. Так, для изучения процесса стружкообразования при строгании возможно применение любого из пяти анализируемых ниже методов нанесения сеток; при точении возможно применение только метода царапания и практически лишь в том случае, когда с помощью соответствующих приспособлений возможно фиксирование корня стружки в заранее намеченном участке образца.

Одним из самых простых способов можно считать получение сеток вдавливанием в поверхность образца конического индентора, напри-

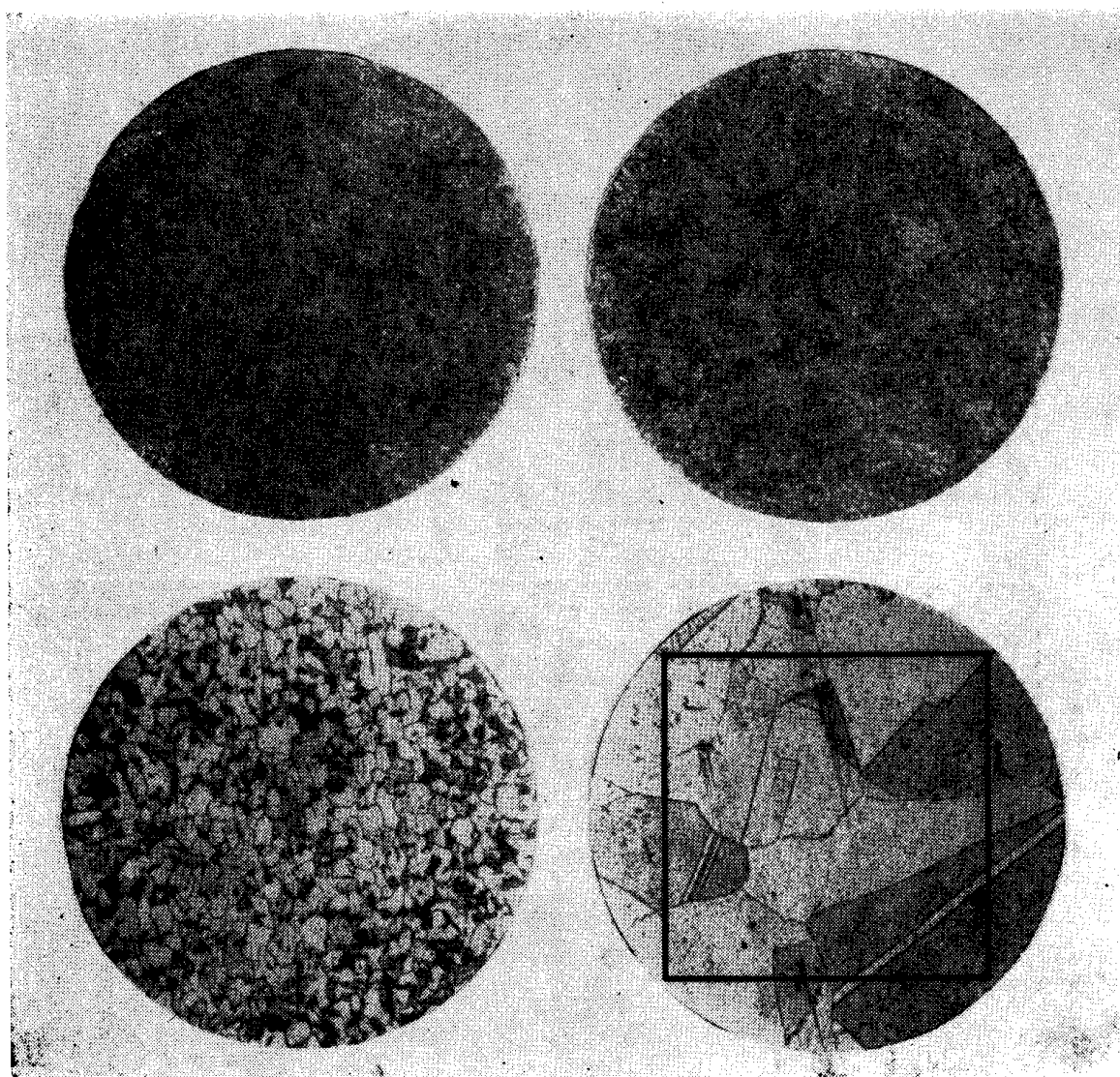


Рис. 1. Микроструктура материалов, X500 а) ШХ15,
б) ст. 15, в) 2Х13, г) Х17Н13М2Т

мер, корундовой иглы [2]. Нанесение такой сетки осуществляется на приборе для измерения микротвердости; игла при этом подбирается такой, чтобы на поверхности образца отпечатки имели вид окружностей. Как база сетки, так и диаметр отпечатков могут быть практически сколь угодно малыми (рис. 2, а). К недостаткам метода вдавливания можно отнести его трудоемкость, необходимость подбора материала с однородной структурой (с тем, чтобы отпечатки получались одинаковыми), а также возможные погрешности, связанные с нарушением сплошности и изменением в результате вдавливания физико-механических свойств в зоне отпечатка.

Нанесение сеток фотохимическим методом с последующим травлением, т.е. по технологии получения типографских растровых клише позволяет избежать изложенных выше недостатков метода вдавливания индентора. Здесь возможно либо применение изготовленных в ти-

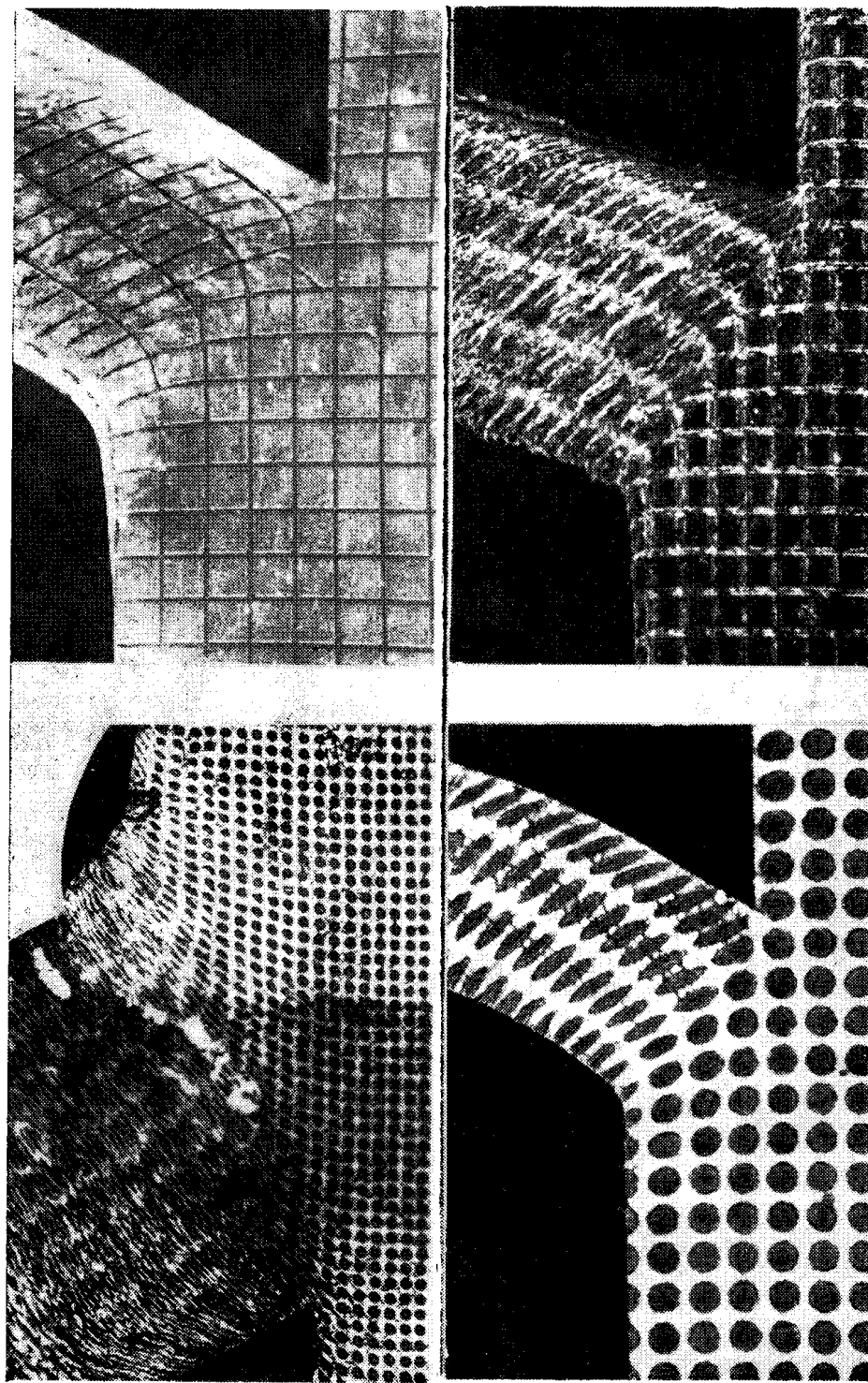


Рис. 2. Искражение делительных сеток на корнях стружек, зафиксированных при резании: а) меди М1 ($v=27^\circ$, $a=2$ мм, $V=23,5$ м/мин); база сетки 0,02 мм, диаметр окружности 0,01 мм; б) стали 15 ($v=30^\circ$, $a=1,5$ мм, $V=1$ м/мин); база сетки 0,3 мм, диаметр окружностей 0,2 мм; в) стали 20Х ($v=30^\circ$, $a=0,55$ мм, $V=57$ м/мин); база сетки: шаг спирали Архимеда 0,05 мм, центральный угол между радиальными лучами 5° .

пографии клише, либо нанесение сетки по технологии получения клише на материалы, предварительно покрытые гальваническим путем тонким (5—15 *микрон*) слоем цинка [3]. Вторую методику следует считать более универсальной и корректной: травленные точки в этом случае имеют глубину, равную толщине гальванопокрытия, т.е. представляют собой систему «плоских окружностей». Такая сетка получается весьма контрастной, удобной для анализа и фотографирования (рис. 2, б).

Метод напыления сеток в вакууме привлекателен прежде всего тем, что позволяет получить контрастную сетку, отличающуюся по цвету от материала образца и поэтому хорошо заметную в тех условиях, когда рельефная сетка (например, нацарапанная) может затеряться в микронеровностях поверхности.

Напыление сеток производилось на установке, аналогичной описанной в работе [6]. В качестве маски применялась металлическая сетка с базой 0,15 *мм*. Перед напылением и в процессе его образец подогревался до температуры 300°, что обеспечивало вследствие лучшей адгезии большую прочность сеток. Напыление производилось в течение 10 минут при вакууме 10^{-5} — 10^{-6} *мм* H_g . Толщина напыленной сетки оказывалась равной приблизительно 1 *микрону*.

В условиях процесса резания была испытана прочность сеток, полученных напылением алюминия на медь и латунь, меди на латунь и сталь 20Х. Лучшей оказалась напыленная на стальной образец медная сетка. Фотография корня стружки с такой сеткой представлена на рис. 2, в.

В зависимости от применяемой сетки-маски методом напыления можно получить различные сетки; в том числе и систему окружностей. Однако в этом случае возникают трудности в получении масок с достаточно мелкими (0,05—0,1 *мм*) отверстиями. Нуждаются в дальнейшей разработке также вопросы адгезии напыленного материала с материалом образца. Несмотря на это, проведенные опыты показали, что получаемые напылением в вакууме делительные сетки могут с успехом применяться при исследовании больших пластических деформаций.

Вполне удовлетворительные сетки, как показали исследования, могут быть получены гальваническим путем. Принцип нанесения сеток аналогичен напылению в вакууме: на образец с сеткой-маской наносится методом гальванопластики тонкий слой металла. Подбирая соответствующим образом цвет покрытия, можно получать достаточно контрастные сетки. Основным недостатком этого метода можно считать сложность получения необходимых масок, так как контрастность линий сетки зависит от плотности прилегания маски к образцу.

Нацарапанные сетки (рис. 2, г) получались с помощью несложного приспособления на инструментальном микроскопе — при нанесении сеток для исследования деформаций при строгании, или путем нанесения архимедовой спирали с шагом 0,05 *мм* на токарном станке, и радиальных лучей на инструментальном микроскопе — при получении образцов для точения.

В качестве режущего инструмента могут быть использованы ножи быстрорежущей стали или твердого сплава. Наилучшие результаты дает применение алмаза. Исследования показали, что инструмент должен иметь угол заострения не более 30° и возможно меньший радиус при вершине.

Значительно повышает контрастность сеток предварительное гальванопокрытие (чаще всего в исследованиях применялось меднение) поверхности образца.

Нанесенные таким методом сетки позволили исследовать деформированное состояние при резании различных металлов (латуни Л62, стали 2Х13) при скоростях от 23 мм/мин. до 250 м/мин. и изменении переднего угла в пределах $+45^\circ \div +5^\circ$. Степень деформации в этих экспериментах достигала $\epsilon_t = 1,5 \div 2$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Я. Б. Фридман, Т. К. Зилова, Н. И. Демина. Изучение пластической деформации и разрушения методом накатанных сеток. «Оборонгиз», М., 1962.
 2. А. М. Розенберг, Г. Л. Куфарев. Определение степени пластической деформации при резании. «Вестник машиностроения», № 6, М., 1958.
 3. Г. Д. Дель, М. Г. Гольдшmidt. Изучение пластической деформации на моделях из типографских растровых клише. Заводская лаборатория. № 4, М., 1966.
 4. В. А. Кривоухов, П. Д. Беспхотный. Исследование работы деформации при резании металлов. Известия вузов. «Машиностроение», № 1, Изд. МВТУ им. Баумана, 1958.
 5. Г. Л. Куфарев, В. А. Говорухин. Исследование деформированного состояния зоны стружкообразования на высоких скоростях резания. Известия вузов. «Машиностроение», № 1, изд. МВТУ им. Баумана, 1969.
 6. Л. М. Рыбакова. Новый метод нанесения делительных сеток на образцы. Заводская лаборатория, № 11, М., 1958.
-