

М. В. КАСЬЯН, Г. С. МИНАСЯН, А. Г. САРКИСЯН

ХАРАКТЕР ПРОТЕКАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ В ГЛУБЬ ПОВЕРХНОСТИ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Резание пластичных материалов сопровождается деформацией, распространяющейся вокруг резца в виде пластических зон, в которых механические свойства существенно отличаются от исходных. Реологическим состоянием этих зон и предопределяется фактическое сопротивление упрочняющихся металлов в процессе резания. Принятая методика [7] определения поля микротвердостей дает возможность всесторонне проследить за теми изменениями, которые происходят в зоне резания по мере движения инструмента.

Здесь рассматриваются влияния отдельных факторов на характер и степень распространения пластической зоны в глубину поверхности резания при точении железа Армко и стали У8А.

Поскольку значения микротвердости в пластической области под резцом в большой степени зависят от места участка, где измеряется микротвердость, мы считаем возможным привести средние значения микротвердостей срезаемого слоя H_{cp} ограниченного поверхностью резания (уровень H_s) и той плоскостью, которая через оборот детали выступает как поверхность резания, т. е. удалена от поверхности резания на величину подачи s (рис. 1). Микротвердость на этом уровне обозначена через H_s . Среднее значение микротвердости срезаемого слоя определялось согласно

$$H_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k H_{ij}}{n \cdot k},$$

где n — число отпечатков на каждом уровне,

k — число уровней по толщине среза.

Кроме того, подверглись исследованию изменения микротвердости на поверхности резания H'_0 и глубины наклепа h . Условия экспериментов: режущий инструмент — резец Т15К6 с постоянной геометрией $\gamma = 90^\circ$, $\tau = 0^\circ$, $\alpha = \alpha_1 = 8^\circ$, $\varphi_1 = 10^\circ$, скорость резания $v = 20-200$ м/мин, подача $s = 0,07-0,47$ мм/об, глубина резания $t = 1$ мм.

В исследуемой зоне каждого микрошлифа наносились от 200 до 400 отпечатков (в зависимости от подачи), а измерение микротвердостей

проводилось трехкратно (с помощью переполлировки микрошлифа). Влияние скорости резания на исследуемые параметры (средние из трех измерений) при $s=0,39$ мм/об приведено в табл. 1, а подачи при скоростях резания $v=20, 80, 125$ м/мин — в табл. 2.

Таблица 1

Исследуемые параметры	Скорость резания м/мин						
	20	30	50	80	125	160	200
H'_0 кг/мм ²	223	212	206	197	175	180	175
H_s кг/мм ²	155	148	155	146	138	140	138
H_{cp} кг/мм ²	175	170	170	156	155	154	152
$(H'_0 - H_s)$ кг/мм ²	68	64	51	51	37	40	37
мм	1,0	0,85	0,8	0,6	0,4	0,4	0,4

Таблица 2

Характер зоны	Скорость резания м/мин	Значения подачи S мм/об.				
		0,07	0,11	0,21	0,34	0,47
Микротверд. поверхности	20	185	200	208	220	229
	80	190	196	198	194	190
H'_0 кг/мм ²	125	159	158	165	176	171
Микротверд. поверхности	20	153	148	151	152	150
	80	150	153	151	149	148
H_s кг/мм ²	125	149	140	146	144	140
Средняя микротверд. снимаемого слоя	20	173	166	171	175	180
	80	170	171	171	170	162
H_{cp} кг/мм ²	125	155	150	150	155	156
Разность микротверд. по толщине снимаемого слоя	20	32	52	57	68	79
	80	40	43	47	45	42
$(H'_0 - H_s)$ кг/мм ²	125	10	18	15	32	31
Глубина наклепа	20	0,25	0,3	0,4	0,8	1,2
	80	0,2	0,3	0,4	0,55	0,8
мм	125	0,2	0,25	0,35	0,4	0,4

Сравнивая данные табл. 1 и 2 можно сказать, что влияние скорости резания на исследуемые параметры более существенно, чем влияние подачи.

Средняя твердость срезаемого слоя, с которой материал участвует в процессе резания, хотя изменяется не столь существенно, однако во всех случаях значительно превышает исходную твердость данного металла ($\sim 1,5$ раза).

Ценной информацией о величине работы, затрачиваемой на пласти-

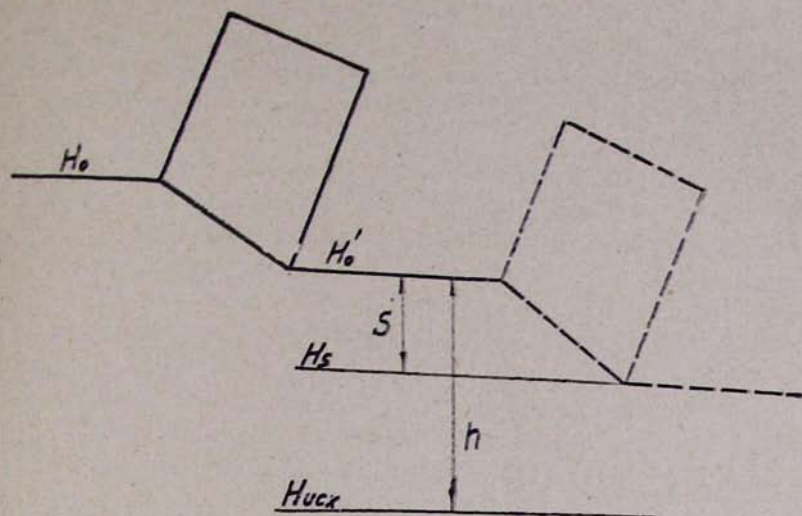


Рис. 1. Схема по определению основных характеристик в глубь поверхности резания.

ческую деформацию обрабатываемого металла под резцом, может служить величина разности микротвердости по толщине снимаемого слоя. Экспериментальные данные показывают, что трансформация уровня H_s в поверхность резания сопровождается упрочнением, величина которого при малых скоростях резания намного больше, чем при высоких скоростях.

Некоторое снижение микротвердости H_s в зависимости от подачи объясняется тем, что, с одной стороны, увеличение подачи приводит к увеличению степени деформации поверхности резания, а с другой — уровень поверхности H_s все больше удаляется от поверхности резания. И так как пластическая деформация по глубине наклепа простирается очень интенсивно, то микротвердость H_s изменяется непропорционально увеличению подачи. Вследствие этого наблюдается незначительное снижение микротвердостей H_s при увеличении подачи. С увеличением подачи разность микротвердостей по толщине снимаемого слоя $H'_0 - H_s$ сильно возрастает, так как увеличивается величина H'_0 .

Одновременно, известно [4, 7], что значения твердостей на верхней границе зоны стружкообразования становятся почти постоянными. Исходя из этого факта и вышеуказанного характера распределения микротвердостей по толщине среза, нетрудно заключить, что деформация в зоне резания на разных уровнях срезаемого слоя протекает таким образом, что частицы, имеющие разную микротвердость до деформации, приобретают одинаковые значения после деформации. Следовательно, чем больше значение подачи при обработке упрочняющихся материалов,

тем выше степень неоднородности деформации по толщине среза в зоне стружкообразования.

Установление этого факта дает возможность объяснять причину перехода сливной стружки в стружку скалывания при увеличении подачи, наблюдаемого при обработке пластичных материалов. Основная причина этого явления согласно [5, 6], является снижение пластичности металла, вызванное изменением напряженного состояния зоны стружкообразования. С нашей точки зрения к такому качественному объяснению данного вопроса необходимо добавить следующее. Превращение сливной стружки в стружку скалывания при увеличении подачи происходит по причине резкого увеличения разностей микротвердости (напряжений) $H'_0 - H_s$ по толщине снимаемого слоя. Верхние слои среза, имеющие высокую твердость H'_0 (при обработке большими подачами), пройдя зону стружкообразования и получив дополнительную деформацию, начинают разрушаться, так как при больших степенях деформации пластичность материалов снижается [3]. А нижние слои, получившие дополнительную деформацию в зоне резания (причем более высокую), не разрушаются, так как они находятся под высоким давлением, которое, как известно, [3] увеличивает способность материалов выдерживать значительные деформации без разрушения.

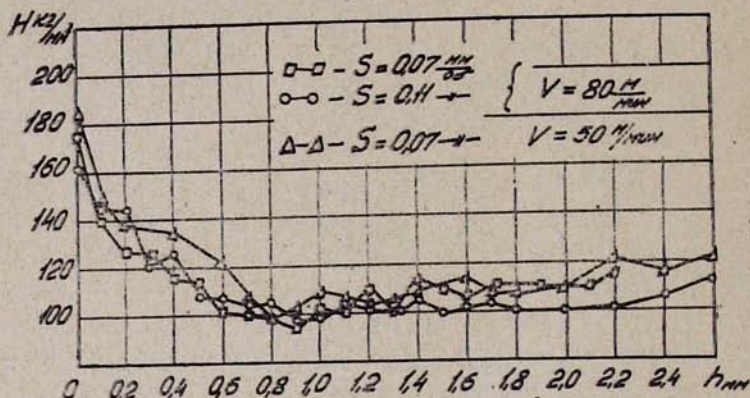


Рис. 2. Зависимость «микротвердость — расстояние от поверхности» для железа Армо.

Вышеуказанный характер изменения вида стружки при увеличении подачи, естественно, надо ожидать при малых скоростях резания, так как разность $H'_0 - H_s$ по толщине среза увеличивается с уменьшением скорости резания (табл. 2). Действительно, при режимах резания $v = 10$ м/мин, $s = 0,39$ мм/об, $t = 1,0$ мм уже образуется стружка скалывания при обработке железа Армо. Разность микротвердостей была при этом $H'_0 - H_s = 85$ единиц. С увеличением скорости резания поверхность резания подвергается малому упрочнению, вследствие чего твердость по толщине срезаемого слоя получается более однородной, чем и предотвращается возможность получения стружки скалывания.

Наряду с этим проведенные эксперименты позволяют утверждать, что изменение микротвердости по глубине наклепа не всегда является систематически снижающейся функцией. Ранее [7] было обнаружено, что при определенных режимах резания наблюдается некоторое отклонение зависимости «микротвердость — расстояние от поверхности резаний» от общепринятых закономерностей. Микротвердость по мере перехода от поверхности резания в глубь снижается, а в определенной зоне значения микротвердостей оказываются ниже даже исходной микротвердости. Правда, затем микротвердость увеличивается до исходной. Неоднократные попытки (в виде экспериментов) объяснить наличие такой зоны как результат естественного отклонения микротвердостей в дальнейшем были отвергнуты, так как повторные измерения полей микротвердостей со всей очевидностью показывали существование этих зон.

Наиболее отчетливо это явление наблюдается при меньших значениях подач и средних значениях скорости резания. Экспериментальные данные, подтверждающие сказанное, приведены на рис. 2, откуда видно, что ослабленная зона имеет малую ширину, но перепад микротвердостей достигает 15 единиц, в зависимости от режимов резания при обработке железа Армко.

При малых скоростях резания также наблюдается перепад микротвердостей в отдельных точках этой зоны, однако он имеет случайный характер. Важно отметить, что указанное распределение микротвердостей в глубь поверхности резания было выявлено и при обработке стали У8А. Интересно, что скорость резания, при которой параметры этой зоны максимальны, одинакова для этих двух, резко отличающихся железоуглеродистых металлов и равна $v = 50 \div 80$ м/мин.

Большой разброс в значениях микротвердостей в материале сталь 45 не позволяет с уверенностью говорить о наличии или отсутствии этих зон в обрабатываемом материале.

С нашей точки зрения, проявление этого явления на границе пластической области при определенных режимах резания объясняется тем обстоятельством, что при деформации поликристаллических металлов переход от упругой к пластической деформации происходит в некотором интервале, размеры которого тем значительнее, чем менее однороден материал [1]. После удаления внешней нагрузки часть кристаллов этой зоны, в которых напряжения были максимальны, разгружается не полностью и, взаимодействуя с соседними зернами, подвергает их местным деформациям. Согласно Я. Б. Фридману [1], местный характер деформации зерен способствует выявлению некоторых явлений, которые не наблюдаются при однородных деформациях, таких, как упругий гистерезис, эффект Баушингера и т. д.

В данном случае при измерении твердости происходит наложение данной деформации с предварительной местной деформацией кристаллов. В тех случаях, когда напряжение, создаваемое нагрузкой индентора, складывается с местными остаточными сжимающими напряжениями в сжатых зернах (напряжения второго рода), проявляется эффект

Баушингера, сущность которого заключается в том, что материалы имеют пониженное сопротивление начальным пластическим деформациям при повторном нагружении противоположного знака. Отметим, что на возможную анизотропию твердости при механических испытаниях указывается в работах [3, 4]. Так, Б. Н. Ровинский [2] рентгеноструктурным анализом установил наличие остаточных напряжений второго рода в поликристаллических телах при пластическом деформировании. При этом было обнаружено, что при снятии нагрузки эти напряжения остаются в поликристалле. Если учитывать, что с увеличением неоднородности напряженно-деформированного состояния (разумеется, при весьма малых степенях деформации) микроскопический характер наступления пластической деформации протекает более интенсивно [1], то возможность проявления эффекта Баушингера при измерении твердости следует считать вполне закономерной. Предлагаемое объяснение обнаруженного явления, естественно, является первым приближением и не претендует на окончательное решение данного вопроса. Очевидно другое: приведенные эксперименты с количественной стороны полностью подтверждают точку зрения Я. Б. Фридмана, согласно которой представление об однородной деформации поликристаллических металлов является приближением, оправдывавшим себя только при больших деформациях. В действительности, как уже отмечалось при учете малых деформаций, возможны некоторые отклонения от принятых поведений идеализированных материалов.

Выводы

1. При обработке упрочняющихся материалов резанием с увеличением подачи, повышается степень неоднородности деформации по толщине среза в зоне резания.
2. Разность напряжений (микротвердостей) по толщине снимаемого слоя сильно возрастает с увеличением подачи и с уменьшением скорости резания, чем и обуславливается переход сливной стружки в стружку скалывания при увеличении подачи.
3. Зависимость микротвердость — расстояние от поверхности не всегда является монотонно снижающейся функцией при обработке пластичных металлов. При определенных условиях резания на границе пластической области наблюдается небольшое снижение микротвердости от исходного значения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Я. Б. Фридман. Механические свойства металлов. М., 1952.
2. Б. Н. Ровинский. К теории упрочнения металлов. ЖТФ, вып. 1, 1952.
3. П. Бриджмен. Исследование больших пластических деформаций и разрыва. М., ИЛ, 1955.
4. Г. Д. Дель. Определение напряжений в пластической области по распределению твердости. М., 1971.

5. Н. Н. Зорев. Вопросы механики процесса резания металлов. М., 1956.
6. А. М. Розенберг, А. Н. Еремин. Элементы теории процесса резания металлов. М., 1956.
7. М. В. Касьян, А. Г. Саркисян. Поле микротвердости зоны деформации при несвободном резании. «Воздействие режущего инструмента на физические свойства металлов», вып. III. Ереван, 1973.