

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

О ПОЛЕ МИКРОТВЕРДОСТИ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ ПЛАСТИЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

О технологической наследственности, влияющей на условия последующей обработки и в определенной степени диктующей характеристику поведения детали в условиях эксплуатации, известно достаточно, но лишь с качественных позиций. Однако количественные показатели в этом вопросе остаются еще затененными и чувствуется настоятельная необходимость в проведении исследований именно в этом направлении.

Наиболее сложными при подходе к решению этой задачи являются именно методические вопросы, связанные с фиксацией прединструментальной зоны при минимуме искажений с тем, чтобы иметь возможность реологической оценки этой зоны, найти критерий определения этого состояния. Для фиксирования предрезцово́й зоны пришлось использовать специальное приспособление, способное с огромной скоростью остановить процесс. С другой стороны, несмотря на все недостатки, свойственные принципу характеристики состояния слоя по микротвердости, пришлось его использовать, имея в виду, что нас интересуют сравнительные данные. Конечно, к более полноценному решению поставленных вопросов вообще нужно было подойти с дислокационных позиций, учитывая, что пластическая деформация кристаллических материалов осуществляется путем генерирования и движения дислокаций под действием приложенного напряжения. Тем более, что только после того как приложенное напряжение достигло критического значения и скольжение началось, скорость движения дислокаций уже определяется характером тепловых колебаний [3, 6]. Проведение экспериментальных исследований в таком направлении сегодня еще представляет трудность, поэтому мы вынуждены были использовать трудоемкий, но наглядный метод, имеющий и много преимуществ.

Исследованию подверглись следующие зоны предрезцового слоя, зафиксированного вышеуказанным способом: слой, перешедший в стружку, зоны линий скольжения, за линией скольжения перед инструментом, под этой зоной и, наконец, под резцом за линией среза. Такое изучение весьма сложно, однако поступающая информация настолько богата, что разрешает после всесторонней обработки поступившей информации получить высокую достоверность, а как раз эта особенность весьма важна в данных условиях.

Для первой серии экспериментов мы решили ограничиться исследованием поведения микротвердости, измеряемой в плоскости ОХ с интервалом между уколами 0,1 мм, при фиксировании явлений в процессе резания со скоростями 5; 20; 31,4; 50; 79; 125 и 201 м в минуту, при постоянной геометрии режущего инструмента, постоянной подаче и стабильной глубине резания. Понсковыми оставлены результаты, полученные при обработке латуни со скоростью резания 15 м/мин, а для выявления влияния конструкции и геометрии режущего инструмента на характеристику поля микротвердости мы зафиксировали процессы при обработке латуни обычным резцом и резцом безвершинным.

Поскольку условия деформации в различных зонах прединструментального объема различны при одинаковых условиях деформирования, представление и обсуждение материалов начато с влияния скорости резания. Основные материалы представлены таблицами, а сравнения — графически.

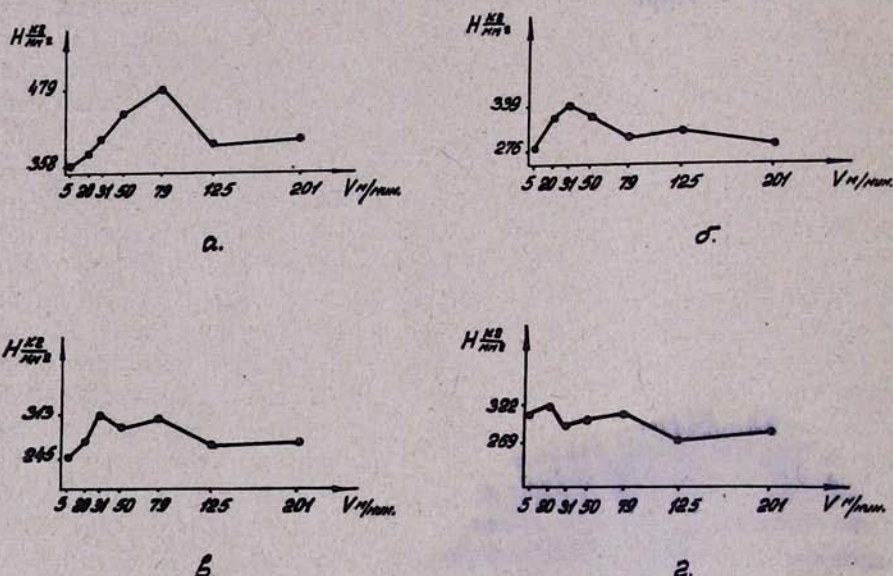


Рис. 1. Изменение максимальной микротвердости в зоне резания.

- а — зона деформированной стружки (табл. 1);
- б — зона за линией скольжения впереди реза (табл. 2);
- в — подпредрезцовая зона (табл. 6);
- г — зона за линией среза (табл. 7).

Рассмотрение данных таблиц показывает, что если максимальная микротвердость стружки определенным образом меняется в зависимости от скорости резания и разрыв в показателях микротвердости доходит до 120 единиц, то колебания среднеквадратичных значений микротвердости сравнительно незначительны и максимальный разрыв составляет только 54, причем максимум максимальной твердости приходится на долю ско-

Таблица 1

Скорость резания в м/мин	Деформированная стружка			
	микротвердость			
	макс.	мин.	средн.	лин. ск.
5	358	241	301	217
20	381	214	301	266
31,4	401	240	306	220
50	439	205	313	237
79	478	229	316	235
125	390	214	355	200
201	401	197	316	220

Таблица 2

Скорость резания в м/мин	За линией скольжения перед резцом		
	микротвердость		
	макс.	миним.	среди.
5	276	170	224
20	321	170	230
31,4	339	170	237
50	321	197	219
79	290	178	223
125	297	175	221
201	276	175	215

рости резания 79 м/мин, а максимум средней — на 125 м/мин. Здесь же бросается в глаза то положение, что границей между оформленной стружкой и остальной частью предрезцовой зоны является линия скольжения, а микротвердость примыкающих к этой линии скольжения площадок принимает почти минимальные значения. Очевидно, частично это можно объяснить тем, что ферритные зерна, вытягиваясь под действием внешних напряжений, создают благоприятные условия для развития линий скольжений.

Переходя к зоне за линией скольжения впереди резца (табл. 2), замечаем, что, во-первых, колебания максимальных твердостей при переходе от одной скорости к другой незначительны (всего 84 единицы), а средних — 22. Максимальные значения соответствуют скоростям резания 20 и 50 м/мин. Минимальные же значения микротвердости приближаются к исходным значениям, колеблясь между 170 и 197.

Принятая методика изучения поля микротвердости дала возможность проследить за теми изменениями упрочнения, которые возникают от общей деформации предрезцовой зоны и вторичной деформации от воздействия задней грани режущего инструмента, в зависимости от скорости резания. Ниже, в табл. 3, приведены эти значения, и, сопоставляя полученные результаты, можно прийти к заключению, что вторичная, дополнительная деформация на поверхности линии среза, приобретает

Таблица 3

Скорость резания в м/мин	Микротвердость зоны		
	до прохода	после прохода	разность
5	217	250	33
20	266	291	25
31,4	220	250	30
50	237	264	27
79	235	254	19
125	220	258	39
201	220	244	24

мая от воздействия задней грани резца, составляет около 50—150% от упрочнения, приобретенного при общей деформации предрезцового слоя, и четкой корреляции между скоростью резания и этим показателем нет. Однако следует отметить, что с увеличением скорости резания наблюдается тенденция роста влияния воздействия задней грани. С некоторыми допущениями это явление можно объяснить тем, что при постоянной скорости распространения поперечных волн, определяемой из выражения

$$V_c = \left[\frac{E}{2\rho(1+\mu)} \right]^{0,5},$$

где E —модуль упругости, ρ —плотность материала, μ —коэффициент Пуассона, степень упругого восстановления разная и поэтому с увеличением скорости резания удельное влияние роли задней грани несколько возрастает.

Не меньший интерес представляют изменения твердости прирезцовой стороны стружки и ее свободной поверхности по мере увеличения скорости резания. Эти данные сведены в табл. 4. Здесь обращают на себя внимание следующие особенности: с увеличением скорости резания

Таблица 4

Скорость резания в м/мин	Микротвердость стружки			
	прирезцовая сторона	свободная сторона	разность	средняя
5	306	221	105	301
20	321	306	15	301
31,4	352	314	38	306
50	363	338	25	313
79	363	314	49	316
125	327	325	2	355
201	340	300	40	316

микротвердость прирезцовой стороны стружки соответственно растет до $V=80$ м/мин, а затем появляется тенденция ее снижения и разность между максимальным значением микротвердости и минимальным дохо-

дит до 57 единиц. Микротвердость свободной стороны стружки также увеличивается с ростом резания до той же зоны скоростей, однако разность между максимальным и минимальным значениями гораздо выше, чем та же разность твердостей прирезцово-й стороны. Действительно, эта разность составляет 117 единиц. Но если исключить из списка скоростей скорость $V=5$ м/мин, то картина резко изменится и указанная разность составит лишь 32 единицы. Конечно, определенные исправления в выявленные зависимости внесут те поправки, которые после ряда уточнений внесут право на исключение из среднеквадратичных показателей те данные, которые могут быть приняты как нарушители (возможные зоны Неймана, зоны скольжения и др.).

Исключительно интересны вопросы, связанные с определением длины распространения деформационного упрочнения в направлении резания. Для этой цели рассмотрим данные табл. 5, которые приведены в зависимости от скорости резания.

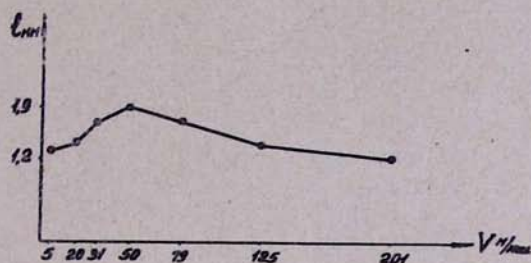


Рис. 2. Зависимость длины упрочненной зоны от скорости резания.

Таблица 5

Скорость резания в м/мин	Длина упрочненной зоны в мм			
5	1,3	при	средней	твердости зоны 224
20	1,4	"	"	" 230
31,4	1,7	"	"	" 203
50	1,9	"	"	" 218
79	1,7	"	"	" 223
125	1,4	"	"	" 221
201	1,2	"	"	" 215

И здесь легко прослеживается, что максимальное распространение упрочнения приходится на случай, когда резание происходит со скоростью $V=50$ м/мин или, несколько обобщая, на зону 30—80 м/мин. С дальнейшим увеличением скорости резания длина деформационного упрочнения, как и следовало ожидать, сокращается. Если принять дислокационную теорию пластической деформации [2, 4] и исходить из того, что длина пробега определяется дислокациями леса, то средняя длина свободного пробега составит

$$l = \frac{4\pi \cdot \tau \cdot c^2}{\alpha \cdot G \cdot b},$$

где α равна приблизительно 0,5 и учитывает геометрию распределения дислокаций, G — модуль сдвига, b — вектор Бюргерса, c — среднее расстояние между дислокациями леса и τ соответствует приблизительно внешеприложенному напряжению по порядку величин.

Изменение скорости приложения напряжения, пропорциональное скорости резания, может отразиться на модуле сдвига и внутренних далекодействующих напряжениях. В частности, увеличение скорости резания может привести вначале к увеличению τ и уменьшению G . Однако дальнейшее увеличение скорости резания приводит, как известно, к обратной картине.

Переходя к характеристике поля микротвердости в двух зонах, лежащих под линией среза, мы замечаем несколько иное распределение.

Таблица 6

Скорость резания в м/мин	Микротвердость		
	макс.	миним.	средняя
5	245	170	202
20	269	170	205
31,4	313	175	216
50	290	178	233
79	305	182	225
125	263	180	197
201	269	170	214

Таблица 7

Скорость резания в м/мин	Микротвердость		
	макс.	миним.	средняя
5	313	180	212
20	322	170	227
31,4	290	175	207
50	297	170	226
79	313	170	248
125	269	160	207
201	283	170	216

В табл. 6 сосредоточены данные по микротвердости под предрезцовой зоной, а в табл. 7 — непосредственно под резцом за линией среза. Обращает на себя внимание то, что минимальные значения твердости в обеих зонах близки к исходному значению, а средние — медленно возрастают до значения скорости резания 50—80 м/мин и затем, при последующем увеличении скорости, снижаются.

Интересно сопоставить микротвердости различных зон, в которых она достигает максимума при той или иной скорости резания: 1) в зоне стружки — 478 при $V = 79$ м/мин; 2) в зоне перед резцом — 339 при

$V = 31,4$ м/мин; 3) в зоне под ним — 313 при $V = 31,4$ м/мин; 4) в зоне под линией среза — 322 при $V = 20$ м/мин. Таким образом, максимальная твердость проявляется в зоне стружки и не в результате вторичной деформации. Максимальные твердости в остальных зонах практически одинаковы.

При обработке латуни со скоростью резания $V = 15$ м/мин максимальный коэффициент деформационного упрочнения составил в зоне стружки 2,14, а при использовании безвершинного резца БРМ — 1,81 в той же зоне.

Представляет определенный интерес соотношение твердостей по зонам при обработке двух различных металлов. У стали при $V = 20$ м/мин: 381 — стружка, 321 — впереди резца за линией скольжения, 269 — под этой зоной и 322 — под резцом. У латуни при резании обычным резцом: 214 — стружка, 193 — впереди резца за линией скольжения, 168 — под этой зоной и 185 — под резцом. При применении безвершинного резца, соответственно: 181, 138, 159 и 125. Для удобства приведем их соотношение: у стали: 1,19; 1,19; 0,84; у латуни при обычном резце: 1,11; 1,15; 0,91; у латуни при использовании безвершинного резца: 1,31, 0,87, 1,27. Как видно из приведенных соотношений, закономерности при обработке различных металлов при постоянных условиях сохраняются, однако при резком изменении конструкции и геометрии инструмента эти показатели подчиняются совершенно другим закономерностям.

Еще один вопрос представляет определенный интерес, который в какой-то степени может решить использованная методика. Вопрос относится к объему предрезцовой зоны, охваченной деформационным упрочнением в зависимости от скорости резания и других показателей. Ниже, в табл. 8, приведены ориентировочные данные об объеме деформируемых зон в зависимости от скорости резания при обработке стали 45, отнесенном к одному миллиметру ширины режущей кромки.

Таблица 8

Скорость резания в м/мин	Приведенный объем в мм ³		
	впереди резца	под резцом	всего
5	0,55	0,72	1,27
20	0,6	0,88	1,48
31,4	0,52	1,12	1,64
50	0,36	1,64	2,0
79	0,3	1,2	1,5
125	0,27	0,88	1,15
201	0,24	0,77	1,01

Как видно из таблицы, общий объем зоны, охваченный деформационным упрочнением, с увеличением скорости резания до 50 м/мин, непрерывно растет, а при дальнейшем увеличении скорости начинает уменьшаться и при скорости $V = 201$ м/мин достигает самого минимального значения из наблюдаемых. А поведение зоны за линией скольже-

ния, находящейся непосредственно впереди резца, с изменением скорости резания совсем иное. В частности, с увеличением скорости резания эта часть объема, пластически деформированного, монотонно уменьшается. Следовательно, можно представить себе картину деформации предрезцовой зоны следующим образом. По мере увеличения скорости резания предрезцовая зона, переходящая в следующий момент в стружку, уменьшается в объеме, но в основном характеризуется тем, что коэффициент деформационного упрочнения достигает значений $2,3 + 2,5$. Та же зона перед резцом, которая в следующий момент перейдет в обрабатываемую поверхность, по мере увеличения скорости вначале увеличивается в объеме (для данных условий примерно до $V = 50$ м/мин), а при дальнейшем увеличении скорости резания объем этой части зоны уменьшается. Коэффициент деформационного упрочнения при этом меньше и составляет 2,0.

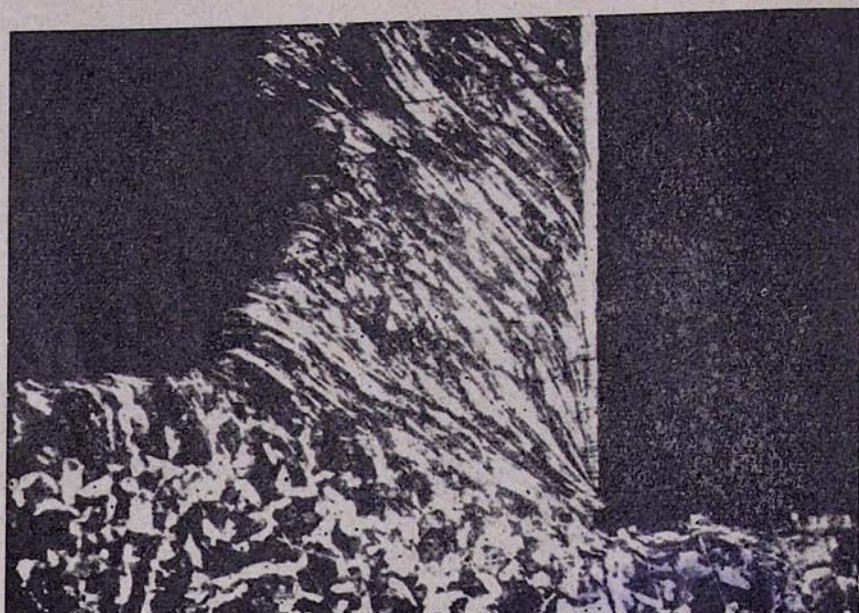


Рис. 3. Поле микротвердости в зоне резания

Анализ этих особенностей, связанных с деформационным упрочнением, говорит о том, что при выборе режимов резания вместе с определением оптимальных, с точки зрения стойкости режущего инструмента, необходимо исходить из условий, вызывающих деформационное упрочнение в различных зонах перед инструментом. Если требуется уменьшить в процессе обработки объем деформации за линией среза, то необходимо работать со скоростями резания более 80 м/мин. Средняя микротвердость предрезцовой зоны, переходящей в стружку, при этом принимает почти минимальное значение, и это предохранит инструмент от абразивного изнашивания.

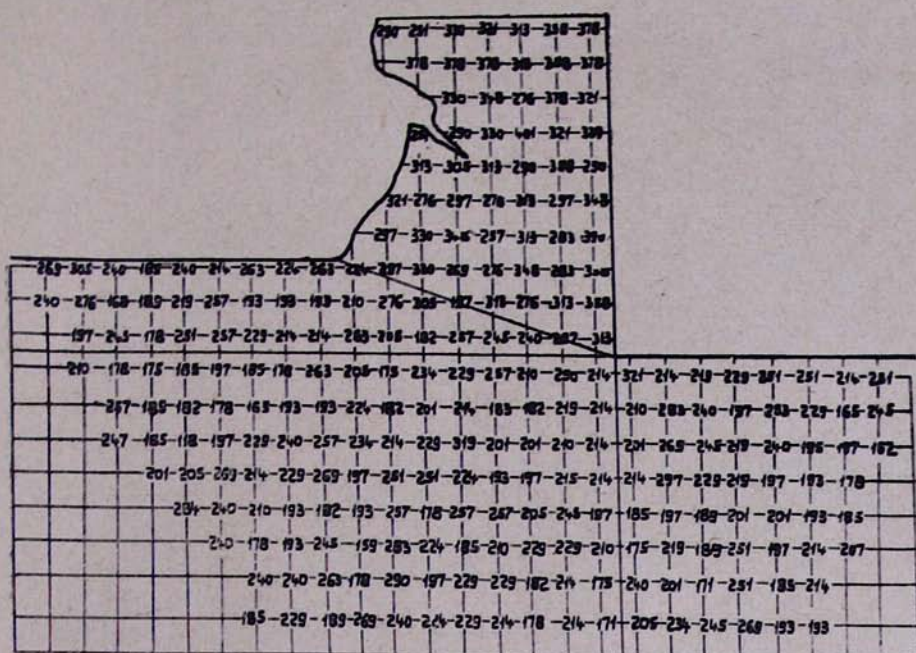


Рис. 4. $V = 201$ м/мин; $S = 0,39$ мм/об; $t = 1,25$ мм.

Если в полях микротвердости, полученных вышеописанным путем при различных скоростях резания, соединить точки минимальной микротвердости по направлениям, примерно параллельным линиям скольжений, то получим «изохарды», т. е. систему кривых, почти параллельных между собой. Касательные к этим кривым составляют углы с направлением движения инструмента, величина которых меняется с изменением скорости резания.

Основные эксперименты проводились при условиях: при обработке стали 45 — подача $S = 0,39$ мм/об, глубина резания $t = 1,25$ мм, передний угол $\gamma = 5^\circ$, задние углы $\alpha_1 = \alpha_2 = 6^\circ$, главный угол в плане $\varphi = 90^\circ$. При обработке латуни Л—62 $S = 0,47$ мм/об, $t = 2$ мм, при этом у обычного резца $\varphi = 90^\circ$, $\gamma = 5^\circ$, $\alpha_1 = 6^\circ$, а у безвершинного резца $\psi = 25^\circ$, $\rho = 8^\circ$ и $\alpha_n = 40^\circ$.

На основании проведенных экспериментов и обработки полученных данных можно прийти к следующим заключениям.

Предложенная и использованная методика разрешает определить микротвердость с минимальным шагом их определения, с оценкой характеристики поля.

Появляется возможность определять коэффициенты деформационного упрочнения в различных зонах (в стружке и перед резцом), определять объемы, на которые распространяются деформации в зависимости от режимов резания и геометрии резца.

Изучение этого поля может оказать существенную помощь в регулировании направления и степени деформации в зависимости от предъявляемых требований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дж. С. Райнхарт, Дж. Пирсон, Поведение металлов при импульсивных нагрузках, М., 1958.
2. Ф. Макклиток, А. Аргон, Деформация и разрушение материалов, М., 1970.
3. Р. Бернер, Г. Кронмюллер, Пластическая деформация монокристаллов, М., 1969.
4. Сборник «Вакансии и другие точечные дефекты в металлах и сплавах», М., 1961.
5. М. Г. Лозинский, Высокотемпературная металлография, М., 1956.
6. Ф. Зейтц, Физика металлов, М.—Л., 1947.