

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИ НАКЛЕПЕ СТАЛИ НА УСИЛИЯ РЕЗАНИЯ

А. К. БАЕВ

Доминирующую роль в процессе резания оказывают физико-механические свойства обрабатываемого материала. Всестороннее исследование влияния механических свойств обрабатываемого материала на процесс стружкообразования и характеристики резания представляет интерес, так как позволяет установить рациональные характеристики резания и выбрать механические показатели, наиболее эффективно характеризующие поведение материала при резании. Такие данные необходимы при разработке теоретических основ процесса резания.

Как полагает проф. В. Д. Кузнецов [1], для успешного решения указанной задачи весьма важно проведение исследований на одной марке стали при различных ее состояниях. Физико-механические свойства материала можно в широких пределах изменять предварительным наклепом, предварительным подогревом и отжигом после наклепа.

В настоящей работе принято изменение свойств стали путем ее предварительного обжата до различной степени наклепа.

Исследование влияния предварительного наклепа на процесс резания имеет не только теоретическое, но и практическое значение. На практике встречается много случаев обработки поверхностей, предварительно наклепанных резанием, прокаткой, волочением и другими способами, например, чистовая обработка, следующая после предварительной грубой обработки, обработка многочисленных марок холодно-тянутых прутков, обработка различных деталей (бандажи вагонных колес, различные валы и цапфы), поверхности которых наклепываются в условиях эксплуатации.

Подобные вопросы почти совсем не исследованы, и по ним в литературе и в нормативах по режимам резания имеются весьма скудные данные. Данные же о влиянии степени предварительного наклепа на обрабатываемость материала вовсе отсутствуют.

Для правильного выбора геометрических параметров режущей части инструмента и режимов резания в указанных случаях обработки необходимо знать, какое влияние оказывает предварительный наклеп на усилия резания.

§ 1. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве подопытного материала была использована малоуглеродистая горячекатанная листовая сталь обыкновенного качества с начальной толщиной 5 мм.

В таблицах 1 и 2 приведены химический состав и механические свойства испытуемой стали.

Таблица 1

Химический состав стали

C	S	Mn	Si	P
0,17	0,055	0,5	0,03	0,015

Таблица 2

Механические показатели

σ_B кг/мм ²	σ_s кг/мм ²	δ_{10} %	ψ %	S_B кг/мм ²
40	25,6	38,7	66,5	88

Предварительный наклеп создавался прокаткой образцов до различной степени обжатия, начиная от 10 до 70%, через каждые 10% обжатия. Начальная толщина образцов в зависимости от процента обжатия выбиралась разной и прокаткой доводилась до 2 мм.

Толщина образцов при прокатке выдерживалась с точностью $\pm 0,01 + 0,02$ мм.

Влияние наклепа на механические свойства изучалось испытанием на растяжение и сжатие. Испытания на растяжение проводились на машине ИМ-4Р, а на сжатие — на прессе Гагарина и непосредственно на станке [2].

Влияние наклепа на усилия резания изучалось при различной геометрии инструмента и подаче методом свободного резания на строгальном станке.

§ 2. АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УСИЛИЙ РЕЗАНИЯ, ПРИНЯТАЯ В ИССЛЕДОВАНИИ

На рисунке 1 приведен общий вид установки. Для измерения усилий резания был использован однокомпонентный электроиндукционный динамометр конструкции автора. На рисунке 2 показан общий вид динамометра с индуктивным датчиком. В корпусе 1 на пальце 11 сидит люлька 2 с откидным резцедержателем 3. Палец 11 каленый и с плотной посадкой сидит в корпусе прибора. Усилия от резца с помощью люльки передаются на упругий элемент — мембрану 5, которая жестко зажата в корпусе прибора фланцем. С упругим элементом связан индуктивный датчик с двойной катушкой и общим якорем¹.

Прибором можно пользоваться для изменения усилий резания при чистовом и обдирочном строгании, так как чувствительность его может в широких пределах регулироваться подбором толщины мембраны и изменением чувствительности самого датчика. Если учесть, что применение усилительной электроаппаратуры и шлейфового осциллографа значительно повышает общую чувствительность измерительной установки, то станет ясно, что на приборе можно использовать довольно мощные упругие элементы, обеспечивающие жесткое и стабильное положение резца в процессе работы.

Для получения равномерной шкалы на измерительном приборе необходимо отрегулировать положение якоря относительно катушек. Для

¹ В статье [3] приведено описание датчика, использованного на данном приборе.

этого с обратной стороны датчика, как показано на рисунке 3, устанавливались индикаторные часы, указывающие на зазор между якорем и первой катушкой от мембраны. Зная суммарный зазор между якорем и

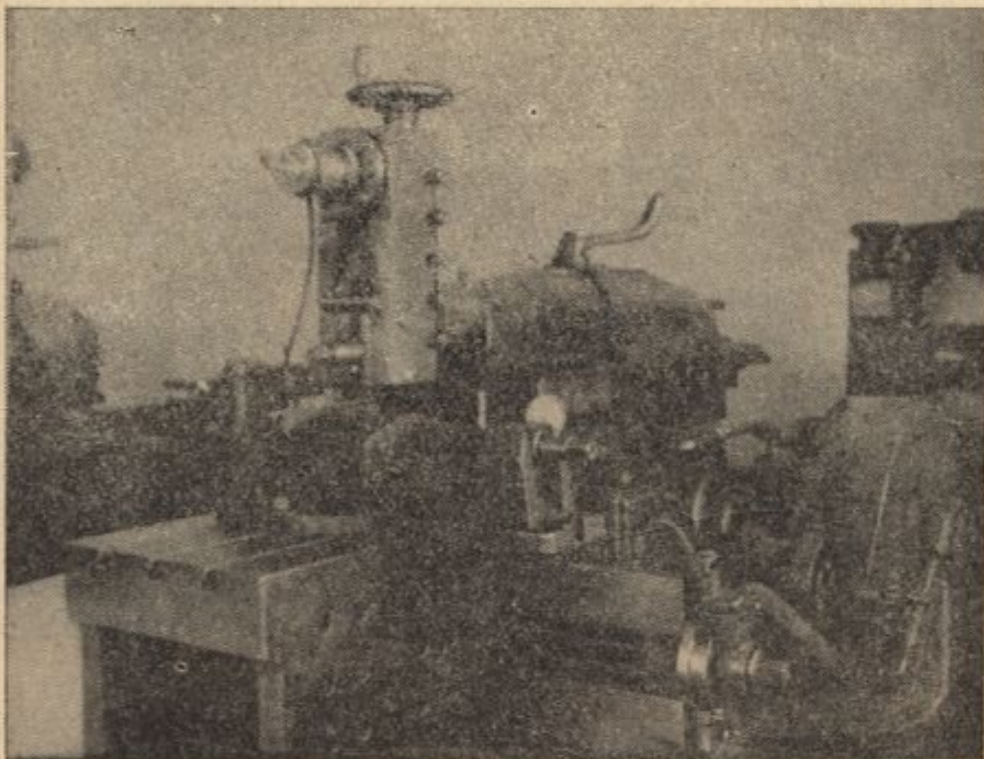


Рис. 1.

катушками, можно датчик установить на приборе с любым положением якоря относительно катушек.

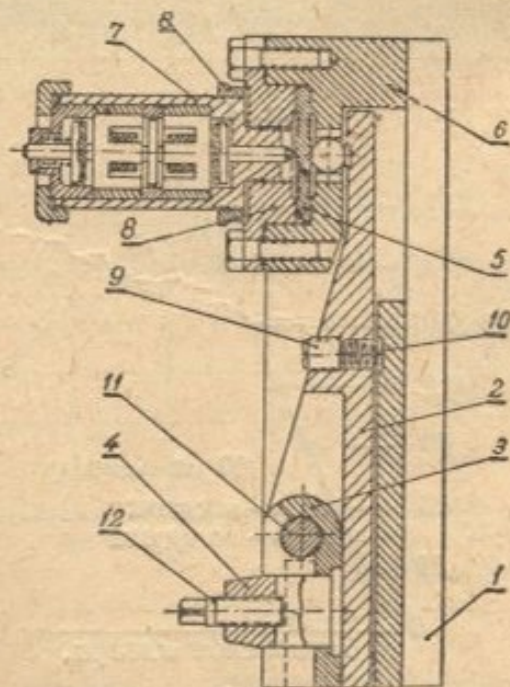


Рис. 2.

Для каждого дистанционного кольца датчика, определяющего суммарный зазор между якорем и катушками, следует проверять характе-

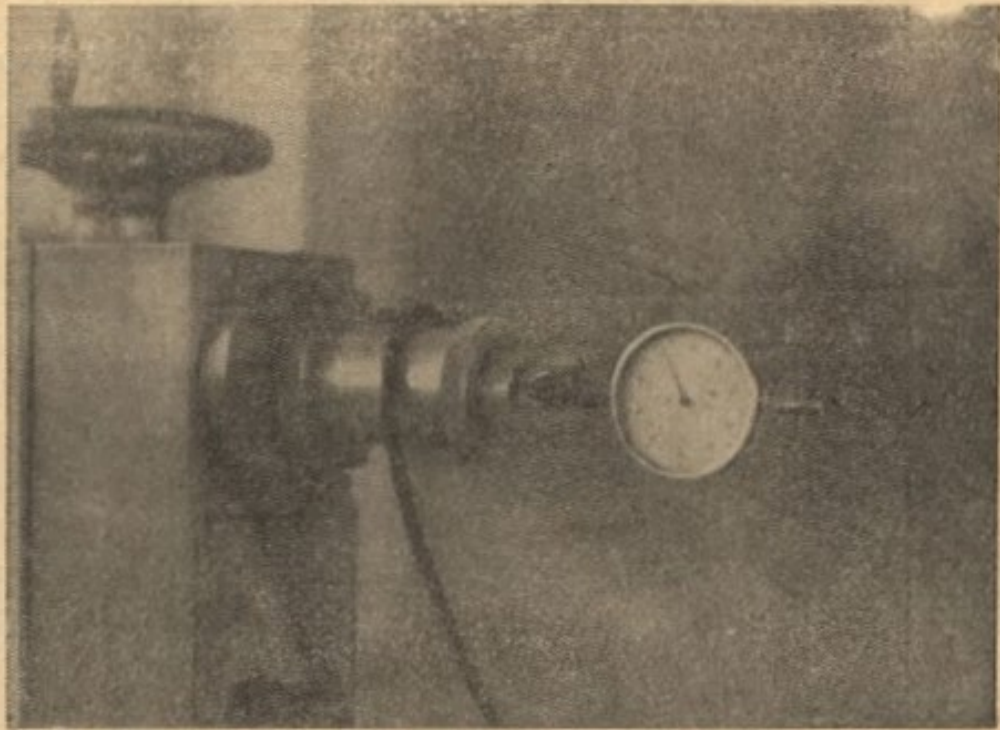


Рис. 3.

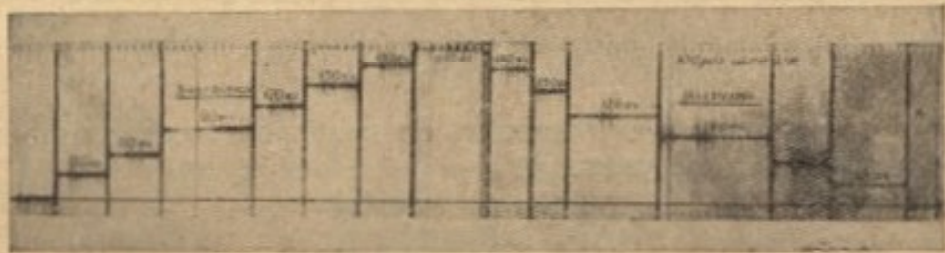


Рис. 4.

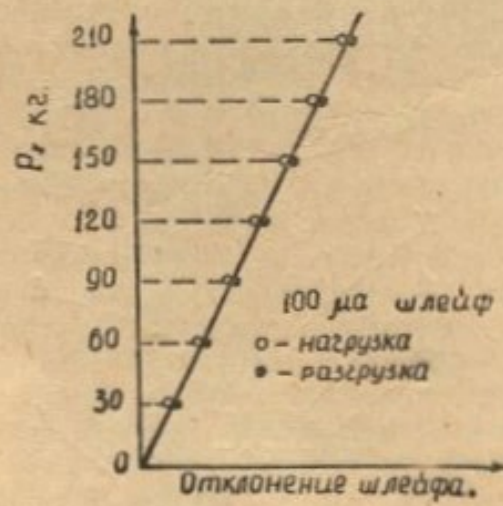


Рис. 5.

ристку датчика при различных положениях якоря, чтобы выбрать положение, соответствующее пропорциональному изменению силы тока от прогиба упругого элемента. Но это еще не может служить гарантией тому, что шкала электроизмерительного прибора получится равномерной, так как прогиб мембраны может изменяться не пропорционально нагрузке. Последнее связано с явлением гистерезиса, зависящим от жесткости крепления мембраны и от степени ее приработки. Наблюдения показали, что может оказывать влияние также и форма самой мембраны.

Для получения равномерной шкалы на электроизмерительном приборе мембрана должна снабжаться выточкой, жестко закрепляться в корпусе прибора и перед работой прирабатываться. Первые два фактора обеспечивают стабильную работу мембраны в местах ее задела, а приработкой исключается гистерезис, обусловленный природой поведения металла при нагрузке и разгрузке.

Тарировка прибора производилась до и после опытов.

На рисунке 4 приведена осциллограмма тарировки, а на рисунке 5—тарировочный график.

§ 3. ВЛИЯНИЕ НАКЛЕПА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ

а) Испытание на растяжение

В таблице 3 приведены результаты механических испытаний на растяжение.

Наклеп оказывает значительное влияние на характеристики прочности и пластичности.

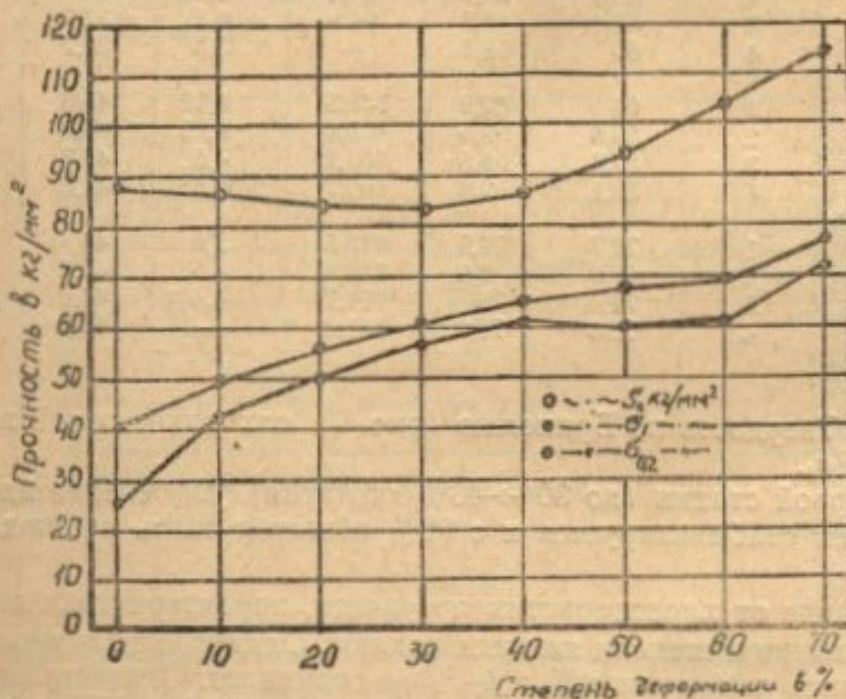


Рис. 6.

Как видно из рисунка 6, характер изменения отдельных характеристик прочности с изменением степени наклепа неодинаков: предел текучести σ_s и предел прочности σ_b повышаются, сопротивление разрушению S_k до обжатия 30% незначительно снижается и затем резко по-

Таблица 3

Влияние предварительной холодной деформации на механические свойства стали

% обжатия	№ образца	Характеристики			Характеристики пластичности		Твердость Н _в
		σ_s	σ_b	S_k	δ_{10} %	ψ %	
0	1	25,6	41,0	91,4	66,5	38,7	
	2	24,6	36,3	80,0	67,5	36,4	
	3	25,7	40,3	94	67	36,4	
	4	44,7	49,3	87,6	17,5	54,2	
10	2	42,5	49,5	90,2	14,75	54,8	131
	3	42,6	48,4	87,5	17,5	56,5	
	4	44,7	49,8	86,8	14	52	
20	1	50	56,1	78,7	8,5	40,2	149
	2	49,8	56,5	89	8,5	46,9	
	3	48,5	55,7	79,6	7,0	42,7	
	4	51,9	55,9	84	8,4	45,3	
30	1	56,7	60,3	83,7	7,62	39,8	
	2	57,3	60,2	81,1	8	37,9	
	3	57,4	60,8	85,7	7,5	38,3	
	4	54,6	60,5	80,7	8,62	39	
40	1	60	63,6	83	6,74	34,3	169
	2	61,3	64,8	87	7,12	37,1	
	3	61,7	64,9	88,5	7,5	39,4	
	4	61,5	64,8	85,8	7,62	38,2	
50	1	65,3	67,8	95	5,5	40,6	179
	2	59,6	67,8	94,4	6,74	37,5	
	3	57,4	68,3	94,4	4,8	37,7	
	4	60	68,5	—	5,8	37,7	
60	1	64	69,6	106,5	6,12	45,6	193
	2	59,8	69,5	105,4	6,25	45,8	
	3	57,3	68,5	107,2	4,5	43,3	
	4	58,1	69,4	102,7	5,5	41,8	
70	1	72,7	77,9	113,5	5,0	46	206
	2	67,9	78,9	110,5	4,5	41,8	
	3	72,4	78	111,7	4,4	44,2	
	4	75,3	78,9	131,2	—	48,7	

вышается. Твердость по Бринеллю (рис. 7) сохраняет такой же характер как и σ_b .

На первой стадии (до 30 ÷ 40% обжатия) упрочнение идет интенсивно, затем стабилизируется и с 60% обжатия опять наблюдается повышение.

В отличие от характеристик прочности, характеристики пластичности с повышением степени наклепа падают. Однако, как видно из рисунка 8, характер изменения ψ % и δ_{10} % не совпадает. Относительное сужение, как и истинное сопротивление разрыву, при 30 ÷ 40% обжатия переходит через минимум, а относительное удлинение до 20% обжатия снижается интенсивно, затем падение замедляется.

Многими исследователями отмечается, что сужение шейки дает разброс значений от различных факторов, влияющих на сопротивление разрушению, в то время как удлинение остается неизменным. Это положение подтверждают и наши исследования, так как характер изменения

S_k и ψ % совпадает. Нужно полагать, что это вызывается тем, что равномерное удлинение у материалов, образующих шейку при разрыве, характеризует неполную пластичность. Из характеристик удлинения полную пластичность лучше характеризует истинное удлинение в шейке.

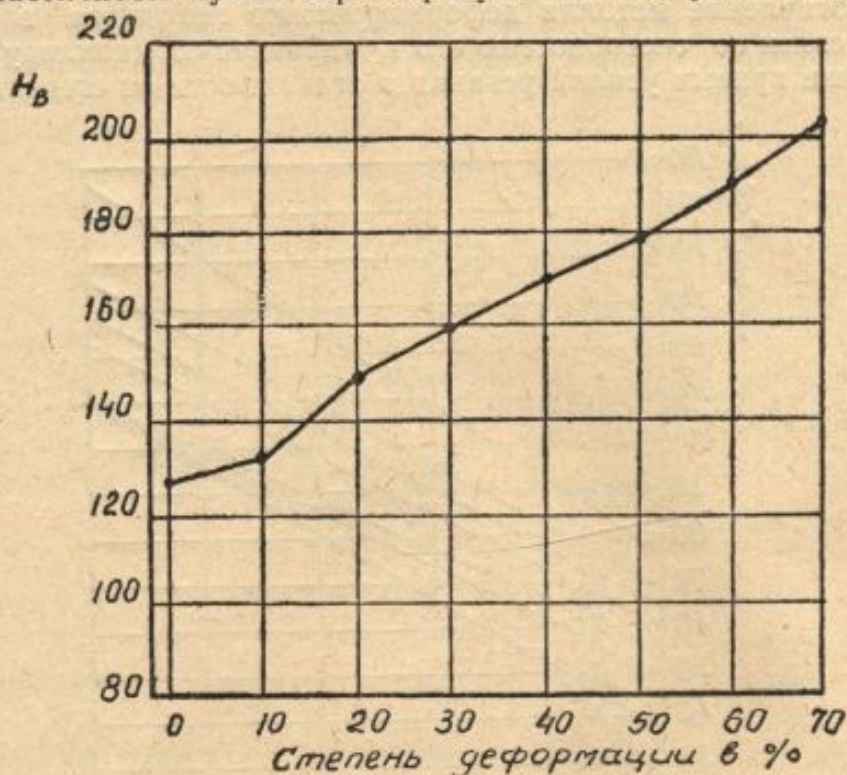


Рис. 7.

Последнее определялось расчетным путем по формуле И. Н. Одингга и С. П. Шихобалова [5].

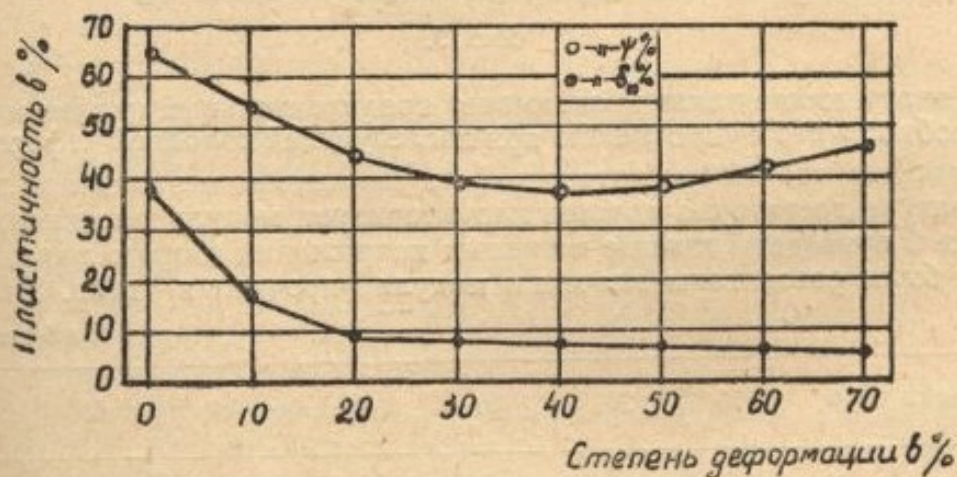


Рис. 8.

В таблице 4 приведены средние значения истинных относительных удлинений для различных степеней обжатия.

Таблица 4

% обжатия	0	10	20	30	40	50	60	70
$\epsilon_{ш}$ %	192	117	78,5	63,8	58,8	61,25	73,25	85

Истинные удлинения в шейке намного превышают равномерное удлинение образца и лучше характеризуют максимальную пластичность материала. Характер изменения истинного относительного удлинения с наклепом полностью совпадают с изменением сужения шейки.

Сопротивление металла деформированию находится в непосредственной связи со способностью его к упрочнению (наклепу), поэтому при анализе кривых усилий резания в зависимости от степени обжатия

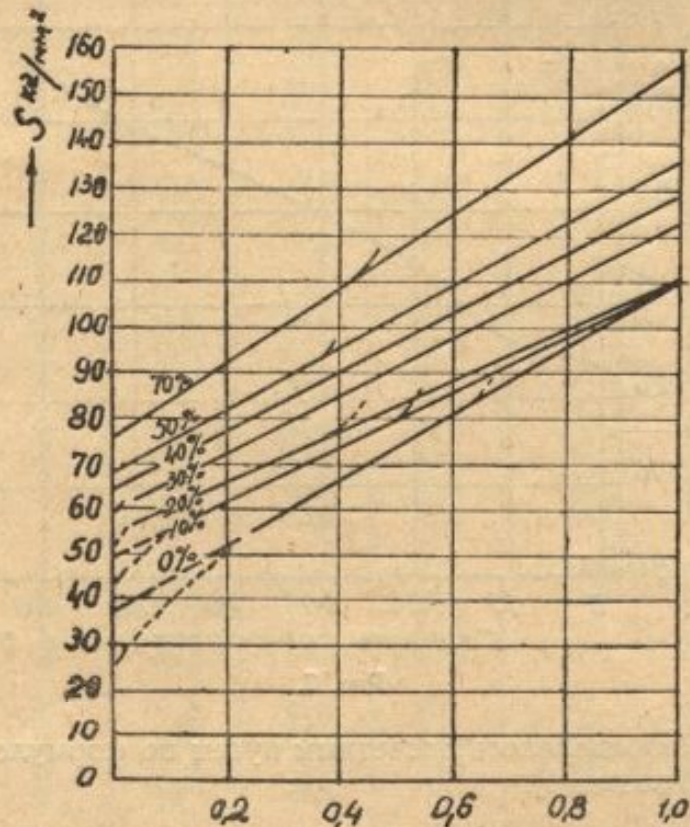


Рис. 9.

важно знать, какое влияние оказывает предварительный наклеп металла на способность его к упрочнению при последующей холодной деформации.

Известно, что общую интенсивность упрочнения металла при данной температуре достаточно хорошо характеризует модуль упрочнения. На рисунке 9 приведены кривые истинных напряжений второго вида, по которым были рассчитаны значения модуля упрочнения (табл. 5).

Таблица 5

% обжатия	0	10	20	30	40	50	60	70
Модуль упрочнения	74	60	58	63	66	—	69,5	80

Из данных, представленных в таблице 5, видно, что модуль упрочнения при 20—30% имеет минимальное значение, т. е. материал при этом имеет меньшую способность к упрочнению.

Изменения модуля упрочнения и сопротивления разрушению со степенью деформации имеют одинаковый характер. Это вполне логично, так как сопротивление разрушению характеризует степень упрочнения металла в процессе деформации, которая в свою очередь характеризуется модулем упрочнения.

б) Испытание на сжатие

Процесс резания сопровождается значительными пластическими деформациями. Схема напряженного состояния при резании неоднородна, и в большей степени преобладают сжимающие напряжения. Изучая поведение материала при резании, очень важно иметь данные по изменению механических характеристик обрабатываемого материала при значительных пластических деформациях. Такие данные могут быть получены на основе изучения механических характеристик материала при сжатии, так как растяжением невозможно получить кривую упрочнения при деформациях, превышающих относительное сужение шейки.

Весьма важно проведение испытаний на сжатие при условиях, близких к тем, которые имеют место при деформации объема металла впереди резца. Существующие методы испытания на сжатие не позволяют проводить испытания в подобных условиях.

Автором предложен способ испытания на сжатие непосредственно на станке [2], который позволяет наиболее полно воспроизводить условия деформирования при резании.

В таблице 6 представлены результаты испытания.

Таблица 6

° обжатия	0	20	40	60
σ , кг/мм ²	60	58	57	75
m	1,26	1,22	1,16	1,13

На основании опытов с предварительно наклепанными материалами удалось выяснить, во-первых, что для наклепанных образцов также справедливо уравнение политропы, во-вторых, с увеличением наклепа показатель политропы сжатия m уменьшается, а условный предел текучести δ_0 увеличивается. С увеличением степени предварительного наклепа начало политропы смещается к меньшим деформациям и, начиная с обжатия 40%, дополитропическая часть кривой почти исчезает.

Из данных, приведенных в таблице 6, видно, что с увеличением степени предварительного обжатия, т. е. наклепа, способность металла к дальнейшему упрочнению падает. Однако m , даже при обжатии 60%, отлично от единицы, т. е. материал в процессе деформации подвергается наклепу.

Были попытки интерпретировать m с трением по торцам, т. е. влиянием трения объяснять уменьшение m с наклепом. С этой целью А. И. Костылева под руководством Н. Ф. Кунина определяла коэффициент трения непосредственно на отожженном и наклепанном железе, меди и алюминии [1]. В случае отожженного и наклепанного материала коэффициенты трения оказались одинаковыми. Падение показателя m с наклепом отражает физико-механические свойства материала, его способность к наклепу, которая сохраняется и при большой степени предварительной холодной деформации. Конечно, при этом нельзя полностью отрицать, что между m и коэффициентом трения связи нет. Несомненно, связь имеется, но не прямая, а косвенная, через ряд явлений, обусловленных наличием трения на торцах.

Материалы с такими механическими свойствами были в последующем исследованы резанием.

§ 4. ВЛИЯНИЕ НАКЛЕПА НА УСИЛИЯ РЕЗАНИЯ

На рисунке 10 представлена зависимость силы резания от степени наклепа для подачи от 0,05 до 0,5 мм при $\delta = 80^\circ$ и $V = 5$ м/мин. Из

графиков видно, что влияние наклепа на усилие зависит от подачи. При тонких стружках (подача $0,05 \div 0,1$ мм) усилия с наклепом снижаются плавно, испытывая при обжатиях $30 \div 40\%$ незначительный перегиб. С увеличением подачи эта закономерность выявляется более резко. Например, с подачи $0,3$ мм усилия до обжатия 40% уменьшаются, а дальше повышаются и достигают значения усилий на исходном материале. Такая закономерность изменения усилия резания с наклепом подтверждается результатами исследований и при других углах резания.

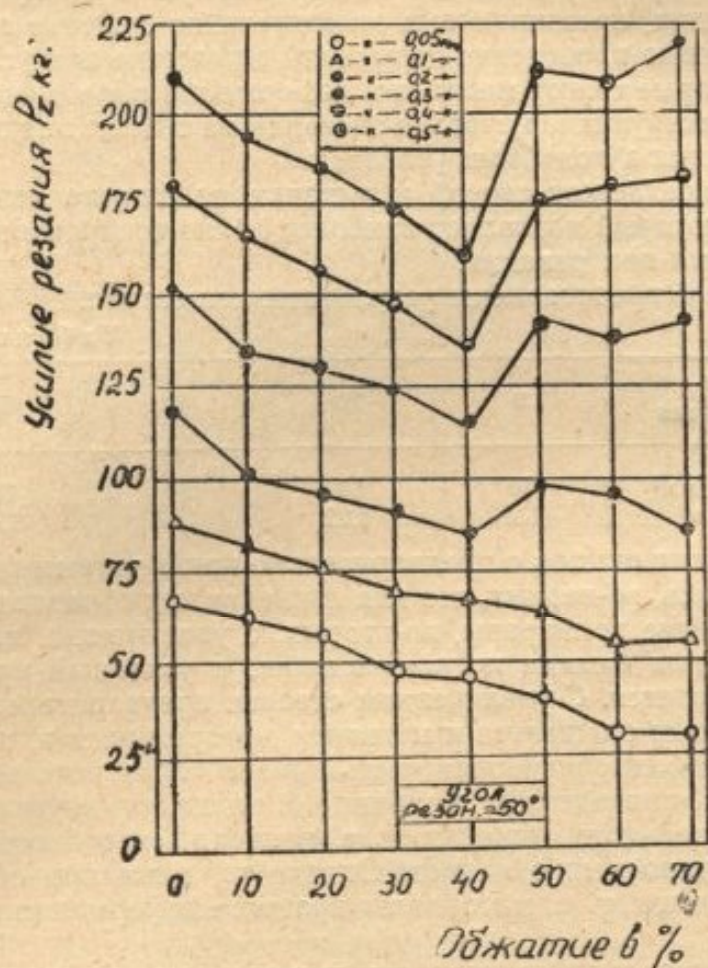


Рис. 10.

На рисунке 11 приведена зависимость усилия резания при $\delta = 70^\circ$ и $V = 5$ м/мин. В основном характер кривых такой же, как и при $\delta = 80^\circ$. Однако выявляются некоторые особенности, связанные с геометрией инструмента. Кривые на всем протяжении имеют более плавный характер, особенно на участке после 40% обжатия. Хотя усилия после 40% обжатия повышаются, но, в отличие от $\delta = 80^\circ$, значения их на максимальной степени обжатия меньше, чем на исходном материале.

При $\delta = 55^\circ$ (рис. 12) влияние наклепа на усилия еще более уменьшаются. Например, при подачах $0,05-0,1$ мм усилия на максимальной степени обжатия по сравнению с ненаклепанным материалом уменьшаются всего лишь на 20% , в то время как при $\delta = 80^\circ$ и $\delta = 70^\circ$ снижение доходило до 60% .

Обработка опытных данных в логарифмической системе координат подтверждает справедливость закономерности $P = kva^*$ и для наклепанных материалов.

Согласно экспериментальным данным можно сделать следующие выводы:

1. Влияние наклепа на усилие резания зависит от подачи и угла резания.
2. На малой глубине среза (до 0,3 мм) с повышением степени наклепа усилия резания уменьшаются.
3. С подачи 0,3 мм и выше до обжатия (30 ÷ 40)% усилия снижаются, а затем повышаются.
4. С уменьшением угла резания степень влияния наклепа уменьшается.

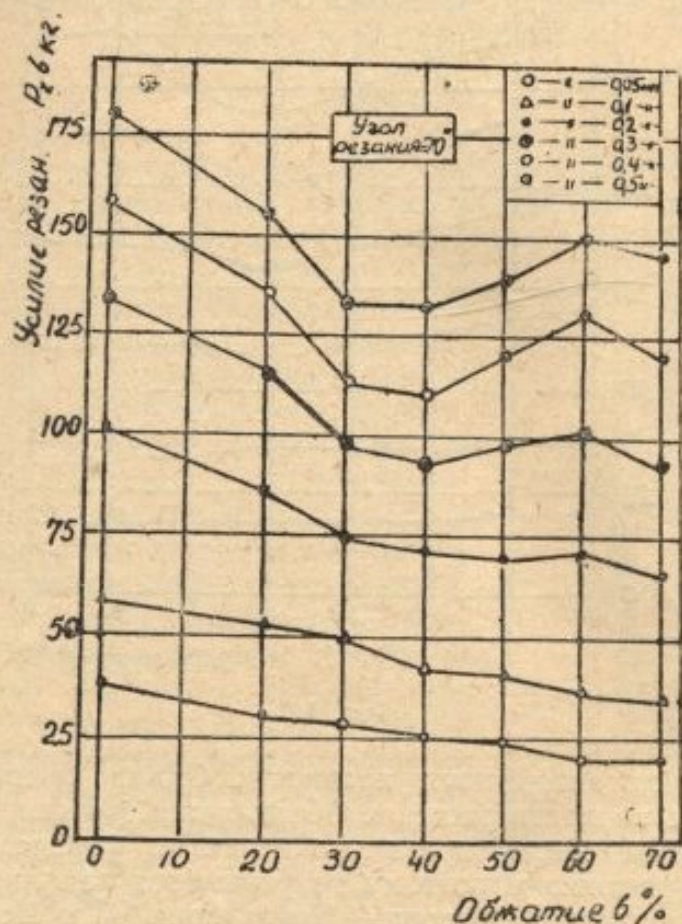


Рис. 11.

Эти выводы позволяют сделать заключение не только о влиянии наклепа, но и о природе сопротивления резанию.

Различие в закономерности изменения усилия резания от степени предварительного наклепа при толстых и тонких стружках указывает на то, что природа силы резания при этом неодинакова. При малой подаче значительное влияние на усилие оказывают явления, сопровождающие процесс резания (трение, пластическая деформация ниже поверхности среза). С увеличением подачи выявляется непосредственное влияние механических свойств — характеристик пластичности и прочности. Действительно, до 40% обжатия сопротивление резанию, как и пластичность материала (рис. 8), падает. Выше этого обжатия сопротивление резанию возрастает благодаря значительному повышению прочности обрабатываемого материала.

Снижение усилия с наклепом при подачах до 0,3 мм следует объяснять только уменьшением влияния трения, т. к. прочность при этом повышается. Влияние трения уменьшается вследствие снижения пластич-

ности и падения способности материала к дальнейшему упрочнению. Иначе говоря, сопротивление резанию при малых подачах в первую очередь определяется пластичностью материала и его способностью к упрочнению.

Если исходить из многих существующих формул для расчета усилий резания, полученных теоретически или экспериментально, следовало бы ожидать повышения усилия с увеличением наклепа, так как при этом

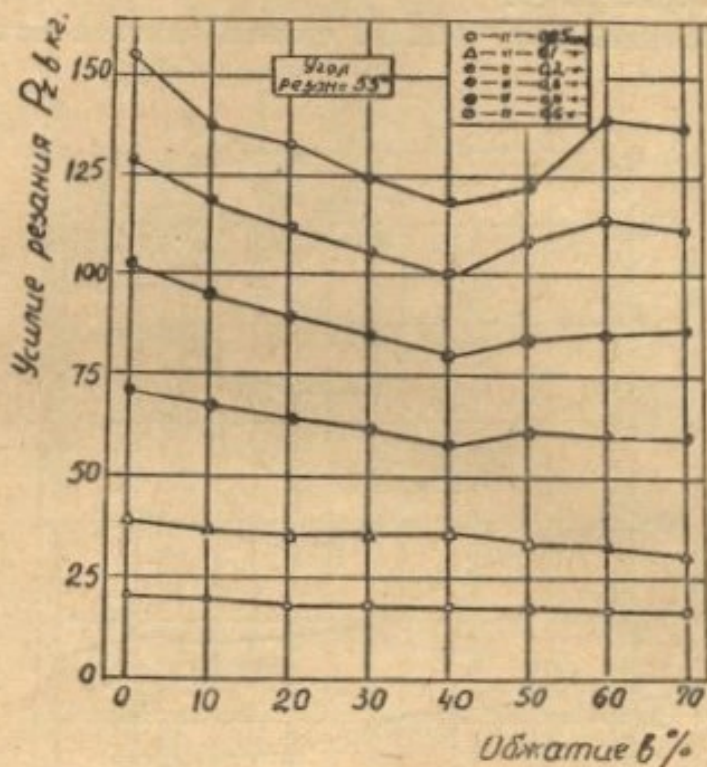


Рис. 12.

возрастают все характеристики прочности. Однако эксперименты, как мы видим, этого не подтверждают. Объясняется это тем, что структура многих формул не совсем правильно отражает физическую сущность сопротивления резанию и поэтому не учитывает влияния ряда факторов. Только формулы Кузнецова — Кривоухова [1] и Лоладзе [4] учитывают через усадку стружки влияние пластических свойств материала, оказывающих значительное влияние на сопротивление резанию.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Д. Кузнецов. Физика твердого тела. Т. III, изд-во «Красное Знамя», Томск, 1944.
2. А. К. Баев. Испытание на сжатие на строгальном станке. Труды Харьковского авиационного ин-та, вып. 15, 1954.
3. А. К. Баев. Прибор для измерения сил резания на токарном и строгальном станках. Труды Харьковского авиационного ин-та, вып. 15, 1954.
4. Т. Н. Лоладзе. Стружкообразование при резании металлов. Машгиз, 1952.
5. И. Н. Одиг. Прочность металлов. Изд. 2-е, ОНТИ, 1935.