

УДК 674.053

О.И. Бачин

Бачин Олег Иванович родился в 1953 г., окончил в 1979 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры транспортных машин Архангельского государственного технического университета. Имеет около 20 печатных работ в области деревообработки.



ВЯЗКОСТЬ РАЗРУШЕНИЯ СТАЛЕЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРУГЛЫХ ПИЛ

Исследованы характеристики трещиностойкости сталей марок 9ХФ, 12ХН2МФ, 60ХН2МФСР и стали финского производства, используемых для круглых пил большого диаметра ($D = 1500$ мм), которые применяют для поперечной распиловки бревен. Наиболее низкий показатель вязкости разрушения отмечен у стали марок 12ХН2МФ, 60ХН2МФСР.

Ключевые слова: критический коэффициент интенсивности напряжений, трещиностойкость сталей, круглые пилы.

В настоящее время в качестве основных характеристик, определяющих эксплуатационные свойства сталей, применяемых для дереворежущих пил, используют твердость HRC, предел прочности σ_b , предел текучести $\sigma_{0,2}$, предел выносливости при симметричном цикле σ_{-1} , а также стандартные характеристики пластичности: относительное удлинение δ , относительное сужение ψ , удельная работа деформации $a_{уп}$. Считают, что перечисленные характеристики дают полное представление о работоспособности инструмента по износостойкости и прочности.

Основным и наиболее легко определяемым является показатель твердости материала, который входит в браковочные характеристики пил. Установлено, что твердость материала круглых пил должна быть в пределах 39 ... 44 HRC. Твердость материала однозначно связывают с абразивным изнашиванием инструмента. Установлено, что износостойкость лезвия возрастает с повышением твердости. При этом чрезмерно высокая твердость приводит к обратному эффекту – выкрашиванию кромок задолго до появления нормального износа.

Твердость материала используют и как косвенный показатель прочностных свойств сталей, хотя корреляционных зависимостей для материалов дереворежущих инструментов не установлено. Однако всегда указывают твердость, при которой определены прочностные характеристики.

Способы определения прочностных характеристик как при статических, так и при переменных нагрузках легко осуществимы и нормированы соответствующими ГОСТами. Наиболее полно в настоящее время в литературных источниках представлены механические характеристики, полученные при статических растягивающих нагрузках. Менее изучены показатели усталостной прочности. В практических расчетах их вычисляют на основании опытных соотношений по значениям предела прочности.

Перечисленные механические характеристики материала определены рамками соответствующего подхода к оценке прочности инструмента. Однако по ряду причин исследований только в этом направлении недостаточно. Прежде всего, опытные факты не подтверждают существующее мнение о том, что разрушение наступает мгновенно. Практика показывает, что полному разрушению предшествует длительный период образования и развития трещин, отдаляющий момент наступления критического состояния. Период разрушения обусловлен параметрами нагрузки, структурными свойствами материала, размерами начальных дефектов. При отмеченных обстоятельствах наиболее важная оценочная характеристика работоспособности материала пил – способность его сопротивляться распространению трещин. В механике разрушения данный показатель именуется вязкостью разрушения.

Для оценки способности материала тормозить магистральную трещину существует достаточно большой набор характеристик и методов их определения. Основными являются: K_c – критический коэффициент интенсивности напряжений при плоском напряженном состоянии; K_{Ic} – критический коэффициент интенсивности напряжений при объемном напряженном состоянии в случае плоской деформации. Величина K_c зависит от толщины образца и в полном смысле не является характеристикой материала. Однако, учитывая, что дереворежущие пильные инструменты – это тонкие пластины, в которых реализуется плоское напряженное состояние, для практики представляет интерес K_c .

Применяемые на практике экспериментальные методы определения вязкости разрушения можно условно разделить на три группы:

использующие корреляцию вязкости разрушения с другими более легко измеряемыми величинами;

основанные на измерении необратимой работы разрушения;

основанные на решениях конкретных задач механики разрушения.

Методы первой группы являются наиболее простыми. Действительно, наличие надежной корреляции между вязкостью разрушения K_c и твердостью, пределом прочности или текучести позволило бы весьма быстро находить искомую характеристику при помощи стандартной аппаратуры. В настоящее время накоплен значительный экспериментальный материал, позволяющий для некоторых металлов и сплавов устанавливать однозначную связь между вязкостью разрушения и стандартными характеристиками прочности. Хотя обобщение имеющихся результатов для широкого класса инструментальных сталей нуждается в дальнейшем накоплении экспериментальных данных и проведении аналитических исследований, имеющиеся данные свидетельствуют о том, что с повышением твердости материала вязкость его снижается. Снижение вязкости разрушения происходит и при повышении предела текучести материала. Из этого следует, что повышение работоспособности инструмента обычно является компромиссным решением при поиске оптимального соотношения между твердостью, пределом текучести и вязкостью разрушения. При этом следует иметь в виду те резервы материала, которые кроются в его термической модернизации.

Методы второй группы основаны на измерении необратимой работы разрушения. Осуществление на практике этих методов требует точного измерения смещений и поверхности трещины. По существу эти методы эквивалентны энергетическому методу Ирвина [2].

Наиболее распространены в настоящее время методы, основанные на решении конкретных задач линейной механики разрушения для тел с разрезами. Выбор решения определяет и выбор образца. Естественным является стремление к использованию компактных образцов, не требующих большого количества материала и достаточно простых в изготовлении. Однако размеры образца должны обеспечивать предполагаемое поведение материала перед фронтом трещины. Известно, что при квазихрупком разрушении перед фронтом трещины образуется пластическая зона, которая обуславливает нарушение асимптотического закона распределения напряжений. Размер пластической зоны r связан с видом возникающего у острия трещины напряженного состояния. В тонкой пластине поперечные деформации по всей ее толщине не стеснены и обеспечивают условия возникновения плоского напряженного состояния. При этом развитие пластических деформаций облегчается. По мере увеличения толщины образца возникает стеснение деформаций в поперечном направлении, размер пластической зоны уменьшается. При этом доля хрупкого разрушения увеличивается, а критический коэффициент интенсивности снижается. Установлено, что размер пластической зоны r перед концом трещины, определенный как

$$r = \frac{K_c^2}{2\pi\sigma_{0,2}^2},$$

не должен превышать 0,02 от длины трещины [1]. Вместе с тем номинальное растягивающее напряжение в сечении нетто образца не должно превосходить 0,8 от предела текучести материала $[\sigma_{0,2}]$, определенного на гладких образцах.

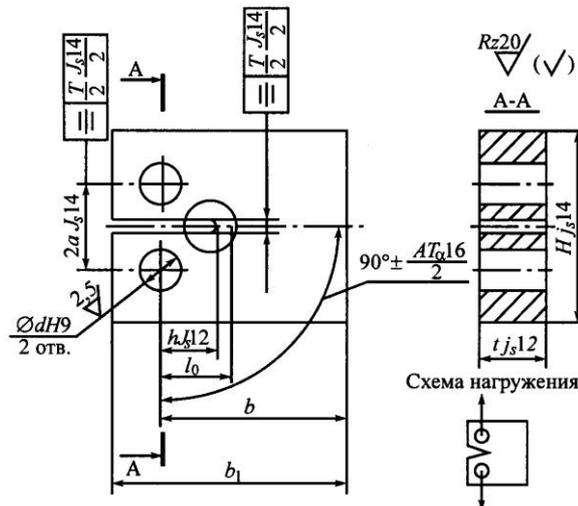
Критическая длина трещины, используемая для подсчета K_c , должна быть увеличена на величину r .

Для проведения испытаний на вязкость разрушения наиболее целесообразными с точки зрения изготовления и расходования материала являются образцы на внецентренное растяжение (см. рисунок [1]).

В качестве исследуемых материалов приняты: сталь отечественного производства базовой марки 9ХФ различной твердости; сталь финского производства; экспериментальные стали 60ХН2МФСР, 7ХН2МФ. Образцы изготавливали механической обработкой без применения термических способов, что исключало изменение структуры и свойств материала. Надрез на образцах получали абразивным кругом с малыми подачами, чтобы избежать возникновения прижогов металла. Для каждого образца измеряли твердость по HRC.

Усталостную трещину от исходного механического надреза создавали на специальной приставке к серийно выпускаемой машине УМЭ-10ТМ.

Образец для испытаний на вязкость разрушения: $b = 40$ мм; $b_1 = 1,25b$; $H = 1,2 \times b$; $2a = 0,55b$; $d = 0,25b$; $l_0 = (0,45 - 0,55)b$; $e \leq 0,08h$ ($e = l_0 - h$); $h \approx (0,35 - 0,50)b$; t – соответствует толщине пилы



В соответствии с требованиями ГОСТ максимальное усилие переменного нагружения выбирали таким, чтобы в начальный момент нагружения выполнялось условие $K_{\max} < 0,75 K_c$, на конечном участке $0,3 l_0$ наведения усталостной трещины – $K_{\max} < 0,60 K_c$ (K_{\max} – наибольший коэффициент интенсивности напряжений; l_0 – длина образца). Коэффициент асимметрии цикла R выдерживали в пределах $0,1 \dots 0,2$. Различие в длинах трещин на обеих сторонах образца не превышало 5 %.

Испытания проводили на испытательной машине марки ЦДМ-5 с точностью измерения нагрузки до 1 %. Геометрические параметры образца измеряли на универсальном микроскопе УИМ-21 с точностью до $\pm 0,001$ мм.

Критический коэффициент интенсивности напряжений вычисляли по формуле [1]:

$$K_c = \frac{P}{t\sqrt{e}} 13,74 \left[1 - 3,380 \left(\frac{l_0}{e} \right) + 5,572 \left(\frac{l_0}{e} \right)^2 \right],$$

где t , e , l_0 – размеры образца;

P – разрушающая нагрузка.

В предварительном эксперименте установлено, что роста трещины в докритическом режиме не происходит, а размер пластической зоны перед концом трещины не превышает установленного значения ($r < 0,02l_0$). Причем доля губ среза мала по сравнению с долей хрупкого излома.

Результаты статистической обработки данных определения вязкости разрушения приведены в таблице.

Имея в виду случайное попадание образцов на испытания из различных партий пил, поставленных заводом-изготовителем, полученный результат можно расценивать как средний показатель вязкости разрушения в целом по пилам из стали 9ХФ с твердостью в пределах $39 \dots 44$ HRC, определенный по ГОСТ 980–80 ($K_{c\text{cp}} = 128,2 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$).

Таблица 1

Статистическая обработка результатов определения вязкости разрушения						
Номер пилы	Марка стали	Вязкость разрушения $K_{c, ср}$, МПа · м ^{1/2}	Среднеквадратическое отклонение S , МПа · м ^{1/2}	Показатель точности опыта P , %	Коэффициент вариации V , %	Твердость HRC
1	9ХФ	102,80	9,91	2,34	9,64	40,85
2	9ХФ	133,80	18,59	4,19	13,89	43,30
3	9ХФ	144,60	8,30	1,44	5,74	44,80
4	9ХФ	131,60	2,18	1,17	0,76	40,23
Среднее значение		128,20	9,75	2,29	7,50	42,30
5	Сталь	136,85	9,94	2,19	7,26	45,60
6	финского производства	142,31	8,54	2,45	6,00	40,50
Среднее значение		139,58	9,24	2,32	6,63	43,05
7	7ХН2МФ	91,92	2,25	1,41	2,44	41,50
8	60ХН2МФСР	106,34	10,25	4,82	9,64	43,50

В результате проведенных исследований определены значения вязкости разрушения сталей 9ХФ, 7ХН2МФ, 60ХН2МФСР и стали финского производства. Среднее значение критического коэффициента интенсивности напряжений для стали 9ХФ составило 128,2 МПа · м^{1/2}.

Следует отметить, что между твердостью материала и характеристикой K_c явной зависимости не установлено.

Сталь финского производства имеет показатель вязкости разрушения на 9 % выше, чем среднее значение вязкости разрушения для партий образцов из стали 9ХФ. Наиболее низкий показатель K_c выявлен у экспериментальных сталей 7ХН2МФ и 60ХН2МФСР.

Полученные результаты трещиностойкости пильной стали необходимы при изучении аварийного расхода пил, предназначенных для поперечной распиловки бревен, так как разрушению пил предшествует образование в межзубовых впадинах трещин и их последующее развитие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 25.506–85. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 3 с.

2. Ирвин, Д.Ж. Основы теории роста трещин и разрушения [Текст] / Д.Ж. Ирвин, П.Парис // Разрушение. Т.3. / под ред. Г. Либовиц. – М.: Мир, 1976. – С. 17–66.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 06.06.05

O.I. Bachin

Crack Resistance of Steel for Circular Saws Manufacture

Characteristics of crack growth resistance for steel of 9ХФ, 12ХН2МФ, 60ХН2МФСР grades and Finnish steel for circular saws of big diameter ($D = 1500$ mm) to be applied for crosscutting of logs are investigated. The lowest factor of crack resistance is registered for steel grades of 12ХН2МФ and 60ХН2МФСР.
