

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

В. К. ГРИГОРОВИЧ, Н. Д. СОБОЛЕВ и Я. Б. ФРИДМАН

**О НАИВЫГОДНЕЙШЕМ НАПРАВЛЕНИИ ВОЛОКОН
В ИЗДЕЛИЯХ ИЗ АНИЗОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

(Представлено академиком И. П. Бардиным 8 VIII 1952)

Со времени классических работ Д. К. Чернова (1) известно, что в реальных материалах при макроскопическом рассмотрении наблюдается не только неоднородность механических свойств, но также и макроскопическая анизотропия этих свойств, являющаяся результатом ориентированного распределения неоднородных составляющих материала (2).

В соответствии с тремя основными стадиями процесса деформации следует различать анизотропию упругих свойств (2, 3), анизотропию пластических свойств и анизотропию сопротивления разрушению (4).

Анизотропия упругих и пластических свойств у поликристаллических металлов обычно невелика (4), тогда как анизотропия сопротивления разрушению у металлов с волокнистым строением довольно значительна и играет большую роль в службе металлоизделий.

Из табл. 1 видно, что характеристики разрушения S_k и ψ для ряда сталей значительно занижены при растяжении поперек волокон, при этом анизотропия механических свойств твердых материалов, обладающих гетерогенной структурой, обычно выше, чем у мягких.

Таблица 1

Механические характеристики сталей при растяжении*

№ п. п.	Марка стали	Предел текучести σ_T , кг/мм ²		Предел прочности σ_B , кг/мм ²		Истинное сопр. разрыву S_R , кг/мм ²		Относительное сужение ψ , %		Разность между S_k и ψ поперечн., %
		вдоль	поперек	вдоль	поперек	вдоль	поперек	вдоль	поперек	
1	Ст. 3 ¹	23,0	24,5	42,5	44,5	91,0	86,0	65,0	58,0	6
2	Ст. 5*	40,0	40,5	66,0	65,5	123,5	101,5	55,0	41,0	22
3	Ст. 4*	26,5	25,0	49,0	48,0	112,0	86,0	62,0	58,0	30
4	20 Г ¹	42,0	44,5	64,0	67,0	159,0	129,0	71,5	55,5	23
5	30 Г ¹	48,5	47,0	72,0	71,5	152,0	120,0	67,5	51,0	27
6	ШХ-15 (закалка 830°, отпуск 150°) . . .	90	92	153	98	153	98	0	0	56

* По сталям №№ 1—5 — данные Е. М. Шевандина и сотрудников. По стали № 6 — данные наших опытов.

Рассмотрение диаграммы механического состояния (5) стали ШХ-15 (рис. 1) показывает, что по сопротивлению отрыву имеет место значительная анизотропия. При этом анизотропия возрастает при переходе от «мяг-

Т а б л и ц а 2

Испытание шайб ($d = 15$ мм, $h = 5$ мм из стали ШХ-15, закалка 830° , отпуск 150°) на вдавливание до разрушения двумя встречными шарами диаметром 23 мм	
Разрушающая нагрузка для образцов, вырезанных вдоль волокон (8 образцов)	$P_{\text{прод}} = 8065$ кг
Разрушающая нагрузка для образцов, вырезанных поперек волокон (10 образцов)	$P_{\text{поп}} = 7917$ кг
Отношение разрушающих нагрузок	$\frac{P_{\text{прод}}}{P_{\text{поп}}} = 1,02$

ких» напряженных состояний к более «жестким» (с меньшей долей касательных напряжений). Так, при растяжении («жесткий» способ) анизотропия по разрушению составляла 56%, при кручении (промежуточный по «жесткости» способ) 7%, а при испытании шайб на вдавливание («мягкий» способ) двумя встречными шарами — всего 2% (см. табл. 2).

Следовательно, чем в менее пластичном состоянии находится материал, тем резче проявляется анизотропия его прочности, прежде всего по сопротивлению отрыву.

Значение анизотропии механических свойств может быть показано на примерах работы штампового инструмента. Для отрезки цилиндрической заготовки и штамповки шариков применяется инструмент, изготовляемый из стали ШХ-15 закаленный и отпущен-

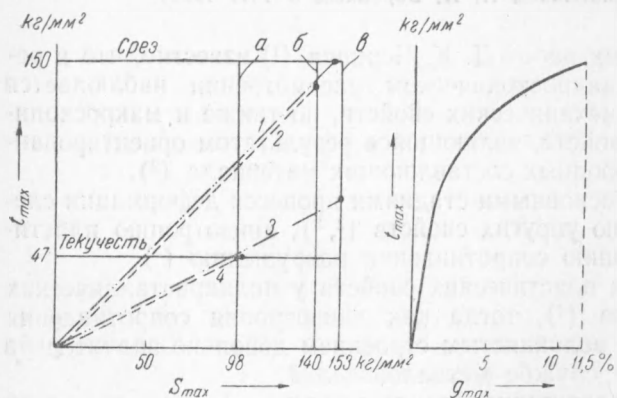


Рис. 1. Диаграмма механического состояния стали ШХ-15 (закалка 830° , отпуск 150°), построенная по результатам испытания микрообразцов, вырезанных вдоль (||) и поперек (⊥) волокон из прутка диаметром 16 мм. Отрыв по плоскости: а — параллельной волокну; б — наклоненной под 45° к волокну; в — перпендикулярной волокну. 1 — кручение ||; 2 — кручение ⊥; 3 — растяжение ||; 4 — растяжение ⊥

ный до твердости 59—62 RC. Пруток, выступающий из отрезной матрицы, отрезается ножом, затем заготовка подается в пространство между лунками штамповальных матриц и ударом подвижной матрицы формируется шарик (рис. 2). Разрушение матриц начинается с образования радиальных трещин, распространяющихся от края лунки у штамповальных матриц или от отверстия у отрезных матриц (рис. 2). Матрицы, вырезанные из прутка с направлением волокон вдоль оси матрицы (рис. 2 а), раскалывались настолько часто, что от их применения пришлось отказаться. Матрицы, откованные с получением ориентации волокон поперек оси матрицы, раскалываются гораздо реже, причем поверхность раскола проходит также вдоль волокон.

Разрушение ножа обычно начинается с образования продольной трещины вблизи середины цилиндрической выточки. Иногда возникают радиальные трещины по краям поверхности соприкосновения выточки ножа с заготовкой. Ножи с продольным расположением волокон (рис. 2 а) раскалываются чаще, чем ножи с поперечным расположением волокон (рис. 2 б).

Ножи для прорубки паза разрушаются путем откалывания края ножа параллельно его боковой плоскости (рис. 3). При расположении волокон параллельно боковой поверхности (рис. 3 а, б) откалывания наиболее часты, при поперечном же расположении волокон (рис. 3 в) раскалываний не наблюдалось.

Анализ поломок инструмента показал, что разрушение начинается в местах, где возникают наибольшие растягивающие напряжения и деформации, и происходит путем отрыва, без макроскопических признаков пластической деформации. Расположение волокон вдоль направления наибольших растягивающих напряжений и деформаций повышает прочность инструмента, сокращает число поломок.

Таким образом существовавшее ранее правило, согласно которому при горячей обработке металлов следует располагать волокна по «конфигурации деталей» (параллельно контуру изделия) (6), без должного учета способа нагружения в эксплуатации не во всех случаях оказывается справедливым. При осевом растяжении прямого бруса продольное направление волокон («по конфигурации»), несомненно, является наиболее благоприятным, тогда как при кручении наиболее благоприятным направлением будет направление по винтовой линии с касательной, образующей с осью бруса угол 45° , а для трубы под внутренним давлением — кольцевое расположение волокон (см. рис. 4).

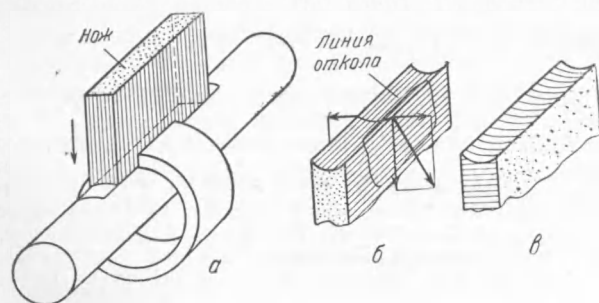


Рис. 3. Разрушение ножей для прорубки паза и расположение волокон в них. Расположение волокон: а и б — неправильное, в — правильное

ных видах нагружения деталей из анизотропных* материалов наиболее благоприятным будет направ-

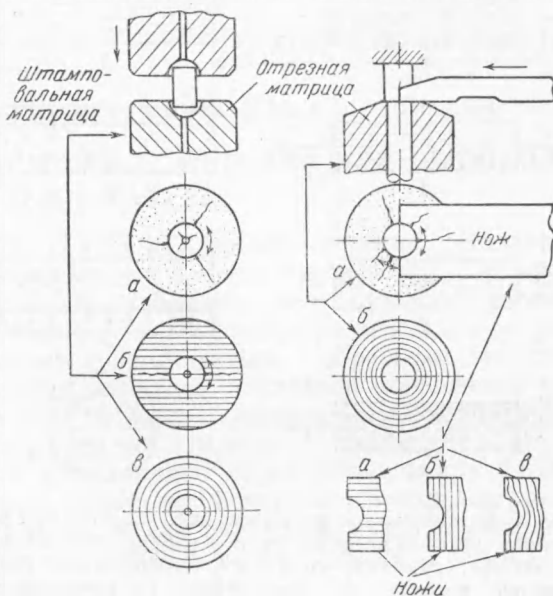


Рис. 2. Растяжение отрезных матриц, ножей и штамповальных матриц и расположение волокон в них. Расположение волокон: а — неправильное, б — более целесообразное, в — наиболее благоприятное

Необходимость учета ориентировки напряжений по отношению к направлению волокон отмечалась С. И. Губкиным и Н. И. Корнеевым (см. например, (7)).

Учтя все изложенное выше, можно сказать, что для достижения наибольшей прочности при различных

* Имеется в виду анизотропия по сопротивлению отрыву.

ление волокон вдоль траекторий максимальных растягивающих деформаций*.

Этот же принцип широко применяется при армировании железобетона⁽⁸⁾.

На рис. 4 показано наиболее целесообразное расположение волокон при различных способах нагружения. Для рассмотренного ранее штампованного инструмента благоприятное расположение волокна дано на рис. 2 в и 3 в.

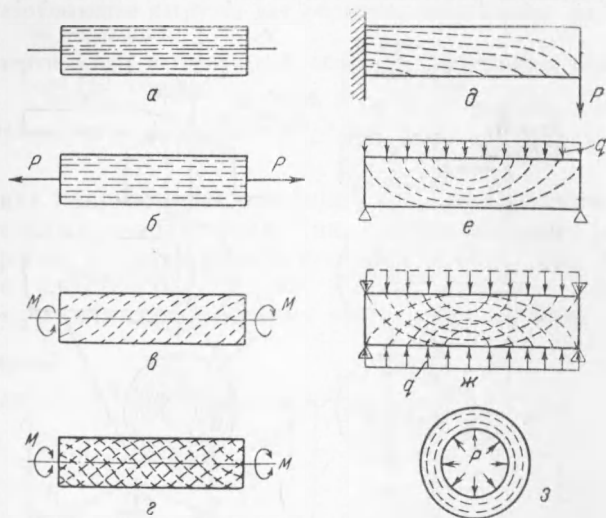


Рис. 4. Благоприятное расположение волокон при различных способах нагружения. *а* — направление волокон по «конфигурации» бруса; *б* — *з* — благоприятное расположение волокон: *б* — растяжение, *в* — кручение, *г* — кручение знакопеременным моментом, *д* — изгиб консольной балки, *е* — изгиб двухопорной балки, *ж* — изгиб двухопорной балки знакопеременной нагрузкой, *з* — труба под внутренним давлением (волокно показано пунктиром)

В сложных случаях, когда аналитическое определение направления траекторий максимальных растягивающих напряжений затруднительно или невозможно, следует принять экспериментальные методы, особенно метод лаков⁽⁹⁾.

Принцип ориентации волокна вдоль траекторий максимальных растягивающих напряжений может быть использован как при горячей обработке металлов давлением, так и при изготовлении механической обработки деталей и полуфабрикатов из анизотропных металлических и неме-

таллических материалов с волокнистой структурой.

Московский механический институт и
Второй государственный шарикоподшипниковый завод

Поступило
9 VII 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Сборники «Д. К. Чернов», Машгиз, 1950; Металлургиздат, 1950. ² А. В. Степанов, Изв. АН СССР, сер. физ., 14, № 1 (1950); Юбилейн. сборн., посвящ. 70-летию А. Ф. Иоффе, 1950. ³ С. Г. Лехницкий, Теория упругости анизотропного тела, 1950. ⁴ Я. В. Фридман, С. И. Ратнер, Зав. лаб., № 2—3 (1945). ⁵ Я. В. Фридман, Механические свойства металлов, изд. 2-е, 1952. ⁶ Н. А. Минкевич, Свойства, тепловая обработка и назначение стали и чугуна, 1932—1934. Курс термической обработки стали и чугуна, 1935. ⁷ С. И. Губкин, Машиностроение, Энцикл. справ., 6, 1947. ⁸ К. В. Сахновский, Железобетонные конструкции, 1951. ⁹ Н. И. Пригоровский, А. К. Прейсс, Машиностроение, Энциклопед. справ., 3, 1947.

* Окончательный выбор между теориями максимальных растягивающих напряжений и максимальных растягивающих деформаций в настоящее время не может быть сделан⁽⁵⁾.