## Supplementary Material

Химический состав материала исследований феррит/мартенситной стали ЭИ961Ш, приведен в Табл. S1.

**Табл. S1.** Химический состав, вес.%. **Table S1.** Chemical composition, wt.%.

С	Si	Mn	Ni	S	Р	Cr	Мо	W	V
0.14	0.31	0.32	1.63	0.009	0.02	11.53	0.45	1.66	0.18

Перед деформацией образцы были подвергнуты стандартной обработке путем выдержки при температуре 1050°С, 1 час с последующей закалкой в масло и отпуском при температуре 800°С, 1 час (в дальнейшем они именуются крупнозернистые (КЗ) образцы).

Прокатку проводили с использованием прокатного стана Hankook M Tech 6 High Rolling Mill. При проведении РКУП применяли 4 прохода при температуре 550°C на оснастке с углом пересечения каналов 120°, внутренним диаметром 40 мм при скорости прессования 0.25 мм/мин.

Соответствующие ФРО в сечениях  $\phi_2 = 0^\circ$  и  $\phi_2 = 45^\circ$  КЗ + закалка и РКУП стали в зависимости от степени обжатия представлены на Рис. S1.

Смоделированные текстуры стали после 30%, 60%, 80%, 90% и 95% обжатия, представленные в виде ФРО в различных сечениях  $\phi$ , показаны на Рис. S2.

Для детального сопоставления результатов моделирования и эксперимента, значения объемных долей компонент текстуры, рассчитанных в пределах  $\Delta \phi_1 = \Delta \phi_2 = \Delta \Phi = 10^\circ$ , представлены на Рис. S3.

Для установления анизотропии прочностных свойств вызванных прокаткой и впоследствии развитой кристаллографической текстурой рассчитали контуры текучести на основе текстурных данных при малых (30%) и больших степенях обжатия (95%). На Рис. S4 изображены контуры текучести, которых получили в результате моделирования анизотропии приведенного относительно предела текучести вдоль различных направлений плоской прокатки. Ось абсцисс  $\sigma_{\rm TD}/\tau_0$  направлена вдоль продольного направления TD прокатки, а ось ординат  $\sigma_{\rm RD}/\tau_0$  ориентирована вдоль направления прокатки RD.

В результате анализа контуров текучести установили, что исходные КК + tempering образцы стали при малых степенях обжатия 30% показывают относительно высокий уровень анизотропии предела текучести (Puc. S4a). Особенно высокий уровень анизотропии наблюдается под углом 45° по отношению к направлениям RD и TD прокатки. При этом вдоль RD ( $\sigma_{TD}/\tau_0=0$ ) и поперечного направления прокатки TD ( $\sigma_{RD}/\tau_0=0$ ) ( $\sigma_{TD}/\tau_0=0$ ) и поперечного направления прокатки TD ( $\sigma_{RD}/\tau_0=0$ ) ( $\sigma_{TD}/\tau_0=0$ ) уровень анизотропии примерно одинакова и минимальна (Puc. S4a). Такая же тенденция наблюдается при увеличении степени прокатки до 50%. В то же время высокие прочностные свойства вдоль диагонального направления по отношению к RD и TD сохраняются. Дальнейшее увеличение степени прокатки вплоть до 80% обжатия заметно не подавляет анизотропию предела текучести. Однако при прокатке на 90% обжатия уровень анизотропии прочностных свойств заметно подавляется вдоль диагонального направлений RD и TD незначительно понижается (Puc. S4a). Дальнейшая прокатка K3 стали на 95% обжатия не приводит к заметным изменениям в уровне анизотропии прочностных свойств.

При прокатке РКУП образцов стали наблюдали существенные изменения в уровне анизотропии прочностных свойств. В частности, анализ контуров текучести РКУП образцов при прокатке показал, что уже при 30% деформации наблюдается сильнейшая анизотропия (Рис. S4b). Если для направлений RD ( $\sigma_{TD}/\tau_0 = 0$ ) и TD ( $\sigma_{RD}/\tau_0 = 0$ ) наблюдается минимум, то в диагональном направлении по отношению к осям RDи TD уровень анизотропии имеет максимальное значение. При этом значение отношения максимального уровня анизотропии  $\sigma_{45^\circ}$  к минимальному значению о<sub>вр</sub>, равняется ≈1.45. Для КЗ состояния это значение было равным 1.14. Данный факт свидетельствует о том, что исходная кристаллографическая текстура, которая соответствует РКУП состоянию, при прокатке на 30% все еще стабильна как было продемонстрировано на Рис. S1 и S2. В пользу последнего также указывают относительно малые, по сравнению с КЗ состоянием, объемные доли ориентировок прокатки (Рис. S3). При увеличении степени обжатия до 50% резко уменьшается уровень анизотропии под углом 45° по отношению к осям RD (TD), при этом вдоль самого направления RD (TD) наблюдается небольшой прирост (Рис. S4b). Дальнейшее увеличение степени обжатия до 80% приводит к закономерному уменьшению уровня анизотропии. В то же время максимальный уровень анизотропии, наблюдаемый под углом 45°, смещается на ≈8° в сторону TD (Рис. S4b). Это, по-видимому, связано с резким увеличением TC {255}<511>, Y {112}<110> и Goss {001}<110> компонент, и частичным подавлением Brass {112}<110> компоненты. При дальнейшем увеличении степени обжатия до 95% уровень анизотропии вдоль различных направлений прокатки продолжает выравниваться (Рис. S4b). При этом в направлении RD и TD уровень анизотропии незначительно ниже, чем в диагональном направлении по отношению к осям RD и TD.

Еще одной мерой пластической анизотропии является коэффициент Ланкфорда (*r*-value), который представляет наибольший интерес при прокатке листовых заготовок. Коэффициент Ланкфорда определяется как отношение приращений компоненты деформации вдоль поперечного направления  $\varepsilon_{width}$  к компоненте деформации по толщине  $\varepsilon_{thickness}$  заготовки при данной степени плоской прокатки. Значения коэффициентов Ланкфорда также получили



**Рис. S1.** (Color online) Экспериментальные ФРО после прокатки: K3 + прокатка (a) – (f); УМЗ + прокатка (g) – (m). Сечение  $\varphi_2 = 0^{\circ}$  (a, b),  $\varphi_2 = 45^{\circ}$ .

**Fig. S1.** (Color online) Experimental OFD after rolling: CG + rolling (a) – (f); UFG + rolling (g) – (m). Section  $\phi_2 = 0^{\circ}$  (a, b),  $\phi_2 = 45^{\circ}$ .



**Рис. S2.** (Color online) Смоделированные ФРО для прокатанных образцов: K3 + прокатка (a) – (f); УМЗ + прокатка (g) – (m). Сечение  $\phi_2 = 0^{\circ}$  (a, b),  $\phi_2 = 45^{\circ}$ . **Fig. S2.** (Color online) Modeled ODF for rolled steel rolling: CG + rolling (a) – (f); UFG + rolling (g) – (m). Section  $\phi_2 = 0^{\circ}$  (a, b),  $\phi_2 = 45^{\circ}$ .





**Рис. S3.** (Color online) Объемные доли ориентировок при прокатке K3 (a) и РКУП (b) образцов. **Fig. S3.** (Color online) Volume fractions of orientations during rolling of CG (a) and ECAP (b) samples.

при моделировании текстур в рамках VPSC подхода. На Рис. S5 приведены их значения в плоскости RD-TD как функция угла а по отношению к оси RD.

Видно, что в K3 состоянии наибольшее значение г наблюдается для направления RD и TD, а минимальное значение под углом  $\approx$ 45° относительно оси RD (отношение  $r_{max}/r_{min}$ =1.5) (Рис. S5 а). При малых степенях обжатия (от 30% до 50%) значения коэффициента Ланкфорда для выбранного направления между собой близки. С увеличением степени прокатки значение *r* коэффициента вдоль направлений RD и TD не изменяется, а для промежуточных углов между 0° и 90° растет (Рис. S5 а). При этом наибольший прирост значения *r* соответствует углу ≈45°.



**Рис. 54.** (Color online) Смоделированные контуры предела текучести для различных обработок. КЗ + прокатка (a), РКУП + прокатка (b).  $\sigma_{\rm RD}$  — предел текучести вдоль направления RD,  $\sigma_{\rm TD}$  — предел текучести вдоль направления TD. **Fig. 54.** (Color online) Modeled yield contours for various treatments. CG + rolling (a), ECAP + rolling (b).  $\sigma_{\rm RD}$  — yield stress along the RD direction,  $\sigma_{\rm TD}$  — yield stress along the TD direction.

В случае прокатки РКУП образцов, также как и в случае прокатки КЗ образцов, максимальное значение коэффициента Ланкфорда находится под углами с равными 0°и 90°, а минимальное значение наблюдается под углом  $\approx$ 45° (Рис. S5b). При этом отношение  $r_{\rm max}/r_{\rm min}$  равное 2.4 свидетельствует о высокой анизотропии прочностных свойств. Однако при малых степенях обжатия при прокатке, анизотропия заметно уменьшается (Рис. S5b). Дальнейшее увеличение степени деформации вплоть до 95% приводит к выравниванию уровня анизотропии прочностных свойств. Таким образом, обнаруженные факты свидетельствует о том, что анизотропия становится намного меньше при больших степенях прокатки как РКУП так и КЗ образцов.



**Рис. S5.** (Color online) Значения коэффициентов Ланкфорда для различных степеней обжатия при прокатке K3 (a) и УМЗ (b) стали. Угол а показывает изменение от RD к TD.

**Fig. S5.** (Color online) Values of Lankford coefficients for various thickness reduction at rolling CG (a) and UFG (b) steel. The angle  $\alpha$  shows the change from RD to TD.