

Supplementary Materials

Optimizing Fatigue Performance in Gradient Structural Steels by Manipulating Grain Size Gradient Rate

Meichen Pan, Xin Chen, Meiling He, Yi Kong, Yong Du, Alexander Hartmaier, Xiaoyu Zheng, and Yuling Liu

Table S1. Engineering stress-strain data for three-types of gradient rate models

Gradient number	1		2		3		
	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain
A (Convex type)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.003	690.000	0.003	690.892	0.003	692.505	0.003
	0.010	697.350	0.010	698.242	0.010	699.855	0.010
	0.020	711.810	0.020	712.702	0.020	714.315	0.020
	0.030	725.910	0.030	726.802	0.030	728.415	0.030
	0.050	733.340	0.050	734.232	0.050	735.845	0.050
	0.070	733.850	0.070	734.742	0.070	736.355	0.070
	0.090	734.450	0.090	735.342	0.090	736.955	0.090
	0.110	732.950	0.110	733.842	0.110	735.455	0.110
	0.130	706.230	0.130	707.122	0.130	708.735	0.130
	0.154	620.810	0.154	621.702	0.154	623.315	0.154
B (Linear type)	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.003	690.000	0.003	696.869	0.003	704.657	0.003
	0.010	697.350	0.010	704.219	0.010	712.007	0.010
	0.020	711.810	0.020	718.679	0.020	726.467	0.020
	0.030	725.910	0.030	732.779	0.030	740.567	0.030
	0.050	733.340	0.050	740.209	0.050	747.997	0.050
	0.070	733.850	0.070	740.719	0.070	748.507	0.070
	0.090	734.450	0.090	741.319	0.090	749.107	0.090
	0.110	732.950	0.110	739.819	0.110	747.607	0.110
	0.130	706.230	0.130	713.099	0.130	720.887	0.130
	0.154	620.810	0.154	627.679	0.154	635.467	0.154
C (Concave type)	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.003	690.000	0.003	707.089	0.004	731.153	0.004
	0.010	697.350	0.010	714.439	0.010	738.503	0.010
	0.020	711.810	0.020	728.899	0.020	752.963	0.020
	0.030	725.910	0.030	742.999	0.030	767.063	0.030
	0.050	733.340	0.050	750.429	0.050	774.493	0.050
	0.070	733.850	0.070	750.939	0.070	775.003	0.070
	0.090	734.450	0.090	751.539	0.090	775.603	0.090
	0.110	732.950	0.110	750.039	0.110	774.103	0.110
	0.130	706.230	0.130	723.319	0.130	747.383	0.130
	0.154	620.810	0.154	637.899	0.154	661.963	0.154

4		5		6		7	
Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
694.096	0.003	696.747	0.003	701.702	0.003	710.375	0.004
701.446	0.010	704.097	0.010	709.052	0.010	717.725	0.010
715.906	0.020	718.557	0.020	723.512	0.020	732.185	0.020
730.006	0.030	732.657	0.030	737.612	0.030	746.285	0.030
737.436	0.050	740.087	0.050	745.042	0.050	753.715	0.050
737.946	0.070	740.597	0.070	745.552	0.070	754.225	0.070
738.546	0.090	741.197	0.090	746.152	0.090	754.825	0.090
737.046	0.110	739.697	0.110	744.652	0.110	753.325	0.110
710.326	0.130	712.977	0.130	717.932	0.130	726.605	0.130
624.906	0.154	627.557	0.154	632.512	0.154	641.185	0.154
Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
713.874	0.004	724.942	0.004	738.069	0.004	755.303	0.004
721.224	0.010	732.292	0.010	745.419	0.010	762.653	0.010
735.684	0.020	746.752	0.020	759.879	0.020	777.113	0.020
749.784	0.030	760.852	0.030	773.979	0.030	791.213	0.030
757.214	0.050	768.282	0.050	781.409	0.050	798.643	0.050
757.724	0.070	768.792	0.070	781.919	0.070	799.153	0.070
758.324	0.090	769.392	0.090	782.519	0.090	799.753	0.090
756.824	0.110	767.892	0.110	781.019	0.110	798.253	0.110
730.104	0.130	741.172	0.130	754.299	0.130	771.533	0.130
644.684	0.154	655.752	0.154	668.879	0.154	686.113	0.154
Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
759.749	0.004	798.774	0.004	829.186	0.004	845.732	0.004
767.099	0.010	806.124	0.010	836.536	0.010	853.082	0.010
781.559	0.020	820.584	0.020	850.996	0.020	867.542	0.020
795.659	0.030	834.684	0.030	865.096	0.030	881.642	0.030
803.089	0.050	842.114	0.050	872.526	0.050	889.072	0.050
803.599	0.070	842.624	0.070	873.036	0.070	889.582	0.070
804.199	0.090	843.224	0.090	873.636	0.090	890.182	0.090
802.699	0.110	841.724	0.110	872.136	0.110	888.682	0.110
775.979	0.130	815.004	0.130	845.416	0.130	861.962	0.130
690.559	0.154	729.584	0.154	759.996	0.154	776.542	0.154

8		9		10	
Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
726.674	0.004	758.698	0.004	864.807	
734.024	0.010	766.048	0.010	872.157	
748.484	0.020	780.508	0.020	886.617	
762.584	0.030	794.608	0.030	900.717	
770.014	0.050	802.038	0.050	908.147	
770.524	0.070	802.548	0.070	908.657	
771.124	0.090	803.148	0.090	909.257	
769.624	0.110	801.648	0.110	907.757	
742.904	0.130	774.928	0.130	881.037	
657.484	0.154	689.508	0.154	795.617	
Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
778.297	0.004	809.844	0.004	864.807	
785.647	0.010	817.194	0.010	872.157	
800.107	0.020	831.654	0.020	886.617	
814.207	0.030	845.754	0.030	900.717	
821.637	0.050	853.184	0.050	908.147	
822.147	0.070	853.694	0.070	908.657	
822.747	0.090	854.294	0.090	909.257	
821.247	0.110	852.794	0.110	907.757	
794.527	0.130	826.074	0.130	881.037	
709.107	0.154	740.654	0.154	795.617	
Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
855.365	0.004	861.691	0.004	864.807	
862.715	0.010	869.041	0.010	872.157	
877.175	0.020	883.501	0.020	886.617	
891.275	0.030	897.601	0.030	900.717	
898.705	0.050	905.031	0.050	908.147	
899.215	0.070	905.541	0.070	908.657	
899.815	0.090	906.141	0.090	909.257	
898.315	0.110	904.641	0.110	907.757	
871.595	0.130	877.921	0.130	881.037	
786.175	0.154	792.501	0.154	795.617	

Table S2. True stress-strain data for three-types of gradient rate models

Gradient number	1		2		3	
	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)
A (Convex type)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.003	692.070	0.003	692.965	0.003	694.583
	0.010	704.324	0.010	705.224	0.010	706.854
	0.020	726.046	0.020	726.956	0.020	728.601
	0.030	747.687	0.030	748.606	0.030	750.267
	0.049	770.007	0.049	770.944	0.049	772.637
	0.068	785.220	0.068	786.174	0.068	787.900
	0.086	800.551	0.086	801.523	0.086	803.281
B (Linear type)	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.003	692.070	0.003	698.960	0.003	706.771
	0.010	704.324	0.010	711.261	0.010	719.127
	0.020	726.046	0.020	733.053	0.020	740.996
	0.030	747.687	0.030	754.762	0.030	762.784
	0.049	770.007	0.049	777.219	0.049	785.397
	0.068	785.220	0.068	792.569	0.068	800.902
C (Concave type)	0.086	800.551	0.086	808.038	0.086	816.527
	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.003	692.070	0.003	709.210	0.004	734.078
	0.010	704.324	0.010	721.583	0.010	745.888
	0.020	726.046	0.020	743.477	0.020	768.022
	0.030	747.687	0.030	765.289	0.030	790.075
	0.049	770.007	0.049	787.950	0.049	813.218
	0.068	785.220	0.068	803.505	0.068	829.253
	0.086	800.551	0.086	819.178	0.086	845.407

4		5		6		7	
Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.003	696.178	0.003	698.837	0.003	703.807	0.003	712.506
0.010	708.460	0.010	711.138	0.010	716.143	0.010	724.902
0.020	730.224	0.020	732.928	0.020	737.982	0.020	746.829
0.030	751.906	0.030	754.637	0.030	759.740	0.030	768.674
0.049	774.308	0.049	777.091	0.049	782.294	0.049	791.401
0.068	789.602	0.068	792.439	0.068	797.741	0.068	807.021
0.086	805.015	0.086	807.905	0.086	813.306	0.086	822.759
Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.003	716.016	0.004	727.842	0.004	741.021	0.004	758.324
0.010	728.436	0.010	739.615	0.010	752.873	0.010	770.280
0.020	750.398	0.020	761.687	0.020	775.077	0.020	792.655
0.030	772.278	0.030	783.678	0.030	797.198	0.030	814.949
0.049	795.075	0.049	806.696	0.049	820.479	0.049	838.575
0.068	810.765	0.068	822.607	0.068	836.653	0.068	855.094
0.086	826.573	0.086	838.637	0.086	852.946	0.086	871.731
Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.004	762.788	0.004	801.969	0.004	832.503	0.004	849.115
0.010	774.770	0.010	814.185	0.010	844.901	0.010	861.613
0.020	797.190	0.020	836.996	0.020	868.016	0.020	884.893
0.030	819.529	0.030	859.725	0.030	891.049	0.030	908.091
0.049	843.243	0.049	884.220	0.049	916.152	0.049	933.526
0.068	859.851	0.068	901.608	0.068	934.149	0.068	951.853
0.086	876.577	0.086	919.114	0.086	952.263	0.086	970.298

8		9		10	
Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.004	729.581	0.004	761.733	0.004	868.266
0.010	741.364	0.010	773.708	0.010	880.879
0.020	763.454	0.020	796.118	0.020	904.349
0.030	785.462	0.030	818.446	0.030	927.739
0.049	808.515	0.049	842.140	0.049	953.554
0.068	824.461	0.068	858.726	0.068	972.263
0.086	840.525	0.086	875.431	0.086	991.090
Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.004	781.410	0.004	813.083	0.004	868.266
0.010	793.503	0.010	825.366	0.010	880.879
0.020	816.109	0.020	848.287	0.020	904.349
0.030	838.633	0.030	871.127	0.030	927.739
0.049	862.719	0.049	895.843	0.049	953.554
0.068	879.697	0.068	913.453	0.068	972.263
0.086	896.794	0.086	931.180	0.086	991.090
Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)	Strain	Stress(MPa)
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.004	858.786	0.004	865.138	0.004	868.266
0.010	871.342	0.010	877.731	0.010	880.879
0.020	894.719	0.020	901.171	0.020	904.349
0.030	918.013	0.030	924.529	0.030	927.739
0.049	943.640	0.049	950.283	0.049	953.554
0.068	962.160	0.068	968.929	0.068	972.263
0.086	980.798	0.086	987.694	0.086	991.090

Table S3. The ductile damage parameters for three-types of gradient rate models

Gradient number		1	2	3	4	5
A (Convex type)	Fracture strain	0.0865	0.0864	0.0864	0.0864	0.0864
	Fracture energy (MPa)	23.1466	23.1767	23.2312	23.285	23.3745
B (Linear type)	Fracture strain	0.0865	0.0864	0.0864	0.0863	0.0863
	Fracture energy (MPa)	23.1466	23.3787	23.6419	23.9536	24.3282
C (Concave type)	Fracture strain	0.0865	0.0864	0.0863	0.0861	0.0859
	Fracture energy (MPa)	23.1466	23.7241	24.5386	25.5082	26.8346

6	7	8	9	10
0.0864	0.0864	0.0863	0.0861	0.0856
23.542	23.8353	24.3869	25.4725	29.0875
0.0862	0.0861	0.086	0.0859	0.0856
24.7729	25.3573	26.1382	27.2116	29.0875
0.0858	0.0857	0.0857	0.0856	0.0856
27.8709	28.4356	28.7647	28.9809	29.0875